



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Producción de biohidrógeno a través de la fermentación oscura de residuos – Revisión crítica

Sergio Andrés Blanco Londoño I.C.

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2013

Producción de biohidrógeno a través de la fermentación oscura de residuos – Revisión crítica

Sergio Andrés Blanco Londoño I.C.

Trabajo final de maestría presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería - Recursos Hidráulicos

Director:

Carlos Julio Collazos Chávez, M. Sc

Línea de Investigación:

Saneamiento

Grupo de Investigación:

Resiliencia y Saneamiento, RESA

Universidad Nacional de Colombia

Facultad Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2013

*A Dios ser supremo por su amor al mundo
A mi Familia célula de la sociedad por su
amor y colaboración
A mi Universidad cuna de la sabiduría por su
aporte en mi preparación profesional*

Sergio Andrés

Agradecimientos

Agradezco especialmente a mis padres, Mario Blanco Vásquez y Rossmary del Socorro Londoño Restrepo, porque su amor y apoyo siempre me han acompañado y me han impulsado a lograr propósitos y sueños. A mi hermana, Marcela Blanco Londoño, de quién siempre he recibido compañía y alegría. A mis abuelos y familia. Me enorgullece decirles que este logro también es de ustedes y que siempre estaré agradecido con Dios por darme tan bella familia.

A mi director de trabajo de grado, el profesor Carlos Julio Collazos Chávez, por sus valiosos consejos, sus acertadas correcciones y por las fructíferas reuniones. Gracias por apoyar y fomentar mi interés en esta temática y acompañarme en cada paso en el desarrollo de este trabajo.

Resumen

El hidrógeno constituye hoy en día una fuente de energía muy atractiva debido a su alto contenido energético y combustión amigable. Entre los diferentes mecanismos existentes para la producción de hidrógeno, la fermentación oscura es uno de los más prometedores debido a que se aprovechan residuos como materia prima. Actualmente, la investigación en hidrógeno se encuentra en desarrollo, sin embargo, los resultados no han sido concluyentes, existiendo aún un vacío en los factores que se deben tener en cuenta y sobre todo no se ha llegado al nivel máximo de producción. En ese sentido, el presente trabajo, pretende por medio de una revisión crítica de estudios realizados en el periodo 1993-2012, mostrar los factores más estudiados y los principales resultados en este tema, para plantear retos y perspectivas en futuras investigaciones. Con base en esto, se encontró no sólo la necesidad de optimizar los factores que influyen en la producción, sino también la necesidad de incrementar la realización de estudios para su implementación.

Palabras clave: Biohidrógeno, energía renovable, fermentación oscura, residuos.

Abstract

Hydrogen is an attractive energy source due to its high energy content and friendly combustion. Among the various mechanisms for hydrogen production, dark fermentation is one of the most interesting, because it uses the wastes as feedstock. The research on hydrogen production is to date in study, but the results are not yet conclusive. In this sense, this document aims to do a critical review between 1993-2012 to show the most study factors and the main results on this topic to propose challenges and future research perspectives. Our findings showed the need, not only to optimize the factors that influence the production, but also to do more implementation studies.

Keywords: Biohydrogen, renewable energy, dark fermentation, waste.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras.....	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de símbolos y abreviaturas	XV
Introducción	1
1. Antecedentes del problema.....	3
1.1 Identificación del problema	3
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
2. Marco teórico.....	5
2.1 Digestión anaerobia.....	5
2.2 Microbiología de la digestión anaerobia.....	6
2.2.1 Hidrólisis	8
2.2.2 Acidogénesis.....	9
2.2.3 Acetogénesis	10
2.2.4 Metanogénesis.....	11
2.3 Producción de biohidrógeno	12
2.3.1 Procesos de producción de hidrógeno biológico	13
Biofotólisis	14
Fotofermentación	14
Fermentación oscura.....	15
2.3.2 Rutas de producción de hidrógeno fermentativo	17
2.3.3 Factores que afectan la producción de biohidrógeno	20
Inóculo	20
pH del cultivo.....	21
Sustrato	21
Temperatura.....	22
Nutrientes.....	22
3. Revisión de la producción de biohidrógeno	23
4. Retos y perspectivas.....	28

5. Conclusiones y recomendaciones	32
5.1 Conclusiones.....	32
5.2 Recomendaciones.....	33
A. Anexo: Glosario	35
B. Anexo: Base de datos de artículos de biohidrógeno	39
C. Anexo: Cuadro resumen de artículos en producción de biohidrógeno.....	87
Bibliografía	97

Lista de figuras

	Pág.
Figura 2-1: Esquema metabólico de la digestión anaerobia [10].....	8
Figura 2-2: Comparación de los diferentes procesos de producción de biohidrógeno....	13
Figura 2-3: Generación de hidrógeno con producción de acetato (a) butirato (b) a través de la ruta de la glucólisis. Adaptado de [35].....	19
Figura 2-4: Generación de hidrógeno con producción simultanea de acetato, etanol, lactato y formiato a través de la ruta de la glucólisis [35].....	20
Figura 4-1: Publicaciones en biohidrógeno entre el periodo 1978-2012.....	30
Figura 4-2: Publicaciones de biohidrógeno por países.....	31

Lista de tablas

Pág.

Tabla 2-1: Reacciones acidogénicas con sacarosa como sustrato y los correspondientes cambios de energía libre (ΔG°) a 25 °C [51].....	10
Tabla 2-2: Estequiometría y cambios de energía libre (ΔG°) para algunas reacciones acetogénicas, asumiendo un pH neutral, una temperatura de 25 °C y una presión de 1 atm [51].....	11
Tabla 2-3: Reacciones metanogénicas más importantes y correspondiente cambio de energía libre (ΔG°) [51].....	12
Tabla 3-1: Revistas consultadas y artículos publicados en biohidrógeno.....	24

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	m^2	$\iint dx dy$
c	Concentración de la cantidad de materia	$\frac{mol}{m^3}$	$\frac{n}{V}$
D	Diámetro	m	
g	Aceleración de la gravedad	$\frac{m}{s^2}$	$\frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$
H	Entalpía	J	$U + PV$
H_0	Poder calorífico superior	$\frac{MJ}{Kg}$	ver DIN 51857
h	Coeficiente de hidrógeno	1	$\frac{m_H}{m}$
L	Longitud	m	DF
Q	Calor	kJ	1. LT
T	Temperatura	K	DF
t	tiempo	s	DF
V	Volumen	m^3	$\int dr^3$
$\vec{u}$	Velocidad	$\frac{m}{s}$	$\frac{dr}{dt}, r \frac{dv}{dt}, \frac{dz}{dt}$

Abreviaturas

Abreviatura	Término
<i>ADN</i>	Ácido Desoxirribonucleico
<i>ADP</i>	Adenosintrifosfato
<i>AGV</i>	Ácido Graso Volátil
<i>ATP</i>	Adenosíntrifosfato
<i>CA</i>	Carbón Activado
<i>CSTR</i>	Continuous Stirred Tank Reactor
<i>DQO</i>	Demanda Química de Oxígeno
<i>EMP</i>	Emden Meyer Parnas
<i>IAHE</i>	International Association of Hydrogen Energy
<i>NADH</i>	Nicotinamida Adenina Dinucleótido
<i>PCR</i>	Polymerase Chain Reaction
<i>POR</i>	Potencial de Óxido Reducción
<i>PTAR</i>	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Abreviatura	Término
<i>RALF</i>	Reactor Anaerobio de Lecho Fluidificado
<i>SSV</i>	Sólidos Suspendidos Volátiles
<i>TPEH</i>	Tasa de Producción Efectiva de Hidrógeno
<i>TPH</i>	Tasa de Producción de Hidrógeno
<i>TRH</i>	Tiempo de Retención Hidráulica
<i>UASB</i>	Upflow Anaerobic Sludge Blanket

Introducción

El hidrógeno representa una alternativa prometedora para reemplazar los combustibles convencionales porque es renovable y limpio y produce durante su combustión tan solo vapor de agua y energía. Además, posee el mayor contenido energético por unidad de peso 122-142 kJ/g comparado con cualquier combustible conocido [2, 42]. Sin embargo, el H_2 no se encuentra disponible en forma natural como se encuentran los combustibles fósiles, por lo tanto el mayor desafío reside en la forma de producirlo y particularmente a partir de materiales renovables tales como la biomasa o el agua.

Actualmente, el 40% del gas hidrógeno se obtiene de oxidación catalítica de gases naturales, el 30% de metales pesados y nafta, el 18% de carbón, el 4% de la electrólisis y cerca del 1% de biomasa [42]. Entre las formas de obtención de hidrógeno anteriormente mencionadas la producción biológica a partir de biomasa presenta un mayor interés por ser potencialmente una forma de producción inagotable.

Los estudios en la producción de hidrógeno biológico se han enfocado principalmente en la biofotólisis de agua empleando algas y cianobacterias, la fotofermentación de compuestos orgánicos por bacterias fotosintéticas y la fermentación oscura de compuestos orgánicos ricos en carbohidratos mediante bacterias anaerobias [41].

La obtención de hidrógeno por procesos fermentativos o fermentación oscura podría ser la más favorable dado que se puede generar de forma continua y a altas tasas de producción en comparación con otros procesos biológicos [9, 15]. Adicionalmente, si se emplea materia orgánica de residuos es factible obtener un producto con valor agregado a partir del tratamiento de un desecho.

El estudio de la producción de hidrógeno por fermentación durante la digestión anaerobia es un proceso que ha sido evaluado por diversos autores en las últimas dos décadas a

nivel mundial. Sin embargo, los resultados no han sido concluyentes, existiendo aún dificultades en la optimización de los factores que afectan la producción, lo cual se evidencia en que aún no se ha obtenido la máxima producción teórica.

De acuerdo con lo anterior, en este proyecto se intenta realizar una revisión crítica de la producción de biohidrógeno para lo cual se contemplaron cuatro capítulos, conclusiones y recomendaciones y tres anexos, los cuales tratan lo siguiente:

Inicialmente se abordan los antecedentes del problema, para lo cual se hace una identificación del fenómeno y la problemática asociada explicando el porqué de la importancia de este trabajo y se presentan los objetivos a desarrollar.

Posteriormente, en el Marco teórico, se realiza una descripción de la digestión anaerobia, la microbiología de la digestión anaerobia y el proceso de producción de biohidrógeno, en el cual se incluyen las rutas metabólicas y los factores que afectan su producción.

En el capítulo de la Revisión de la producción de biohidrógeno, se realizó una revisión de los estudios publicados sobre este tema concentrándose en la discusión del estado del arte de la producción de biohidrógeno por fermentación oscura.

Más adelante, en el capítulo de Retos y perspectivas se plantean los desafíos que conducirán a visualizar la producción potencial de biohidrógeno por procesos fermentativos.

Finalmente, en las Conclusiones y recomendaciones, se presentan algunos conceptos orientados a dar respuesta a los objetivos propuestos y se dan sugerencias para emprender futuras investigaciones en esta temática.

Como Anexos, se elaboró un glosario de términos, una base de datos de los artículos en biohidrógeno que fueron consultados y un cuadro resumen de los documentos sobre producción de biohidrógeno que sintetiza las condiciones experimentales más utilizadas y los principales resultados obtenidos.

1. Antecedentes del problema

1.1 Identificación del problema

Actualmente, la investigación en biohidrógeno se encuentra en desarrollo lo cual ha permitido grandes avances en este conocimiento en las últimas dos décadas. Esto ha sido reportado en artículos científicos de diferentes revistas especializadas en recursos energéticos.

Sin embargo, los resultados de estas investigaciones no han sido concluyentes, existiendo diferencias paramétricas para la producción de biohidrógeno; más aún si se tiene en cuenta que el hidrógeno se puede obtener de diversas maneras en diferentes cantidades, una evidencia sustancial que demuestra que no se han obtenido valores óptimos es que en la producción de hidrógeno por procesos fermentativos no se ha conseguido llegar al máximo teórico.

Asimismo, es importante resaltar la escasa investigación desarrollada en los países de América Latina en el aprovechamiento de residuos para la generación energía. Por lo tanto, se espera para el futuro un mayor interés en la región en el tema de producción de biohidrógeno dada la dependencia actual de combustibles fósiles, el costo de ellos y la poca oferta de fuentes energéticas alternativas lo cual podría ser un factor determinante en el crecimiento económico de la misma.

Por lo anterior se plantea la siguiente pregunta o hipótesis: ¿En qué estado se encuentra el tema de producción de biohidrógeno a partir de residuos mediante fermentación oscura?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Efectuar una revisión crítica al tema de producción de biohidrógeno por procesos fermentativos mediante la revisión de estudios publicados en las últimas dos décadas en esta temática para plantear retos y perspectivas de implementación real.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar una recopilación bibliográfica de la digestión anaerobia y la producción de biohidrógeno a partir de fermentación oscura.
- Efectuar una revisión de los artículos publicados en las últimas dos décadas en revistas de alto impacto, especializadas en recursos energéticos, en el tema de producción de biohidrógeno por procesos fermentativos.
- Sintetizar en una base de datos las condiciones experimentales empleadas y los principales resultados presentados en los artículos.
- A partir de la información recopilada realizar una discusión del estado del arte de la producción de biohidrógeno por fermentación oscura.
- Plantear retos y perspectivas futuras que permitan establecer posibilidades reales de aplicación.

2. Marco teórico

2.1 Digestión anaerobia

El proceso de fermentación en el cual la materia orgánica es degradada y produce biogás (compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono), es conocido como digestión anaerobia. Los procesos de digestión anaerobia ocurren en diferentes lugares donde se dispone de materia orgánica y el potencial redox es bajo (oxígeno cero). Es el caso típico del estómago de rumiantes, pantanos, sedimentos de lagos, rellenos sanitarios, o incluso alcantarillados municipales [51].

Los procesos anaerobios por si mismos son muy eficientes en la remoción de compuestos orgánicos biodegradables, permitiendo mineralizar compuestos como NH_4^+ , PO_4^{3-} , S^{2-} en solución. [25] y [51], mencionan que el tratamiento anaerobio es en la mayoría de veces ideal para el tratamiento de aguas residuales y es casi seguro el incremento de su uso en el futuro y que comparado con los métodos de tratamiento aerobios convencionales este ofrece los siguientes beneficios:

- Puede ser empleado a muy bajo costo porque es simple técnicamente y el uso de los reactores es relativamente económico.
- En vez de consumir energía, la energía es producida en forma de biogás.
- Puede ser aplicado en prácticamente cualquier lugar y a cualquier escala.
- Se pueden aplicar altas tasas de carga dado que los requerimientos de espacio del sistema son relativamente pequeños.
- El volumen de lodos de exceso producidos es generalmente bajo comparado con los sistemas aerobios, la cantidad absoluta en kilogramos de materia orgánica es baja y la capacidad de deshidratación es muy alta.
- Los lodos de exceso generalmente son estabilizados.
- Se requiere muy poco uso de químicos.
- Los lodos de exceso tienen un valor comercial.

- Los organismos anaerobios pueden ser preservados sin alimentación por largos periodos de tiempo (superior a un año) sin un serio deterioro de su actividad mientras otras características importantes de los lodos anaerobios permanecen casi inafectadas, e. g. la decantación de los lodos.
- Puede ser combinado con métodos de post-tratamiento mediante el cual productos útiles como el amonio o sulfuro pueden ser recuperados.

De acuerdo con [25], la digestión anaerobia también puede no realizar un tratamiento completo y generar inconvenientes si no se resuelven los siguientes problemas:

- La relativa susceptibilidad de las bacterias acetogénicas o metanogénicas a una variedad de compuestos xenobióticos.
- La presumible baja estabilidad del tratamiento anaerobio. Múltiples problemas de los sistemas de digestión anaerobia pueden ser atribuidos a la falta de conocimiento de los principios básicos del proceso. En realidad los procesos de digestión anaerobia son altamente estables, siempre que el sistema este operado de manera apropiada.
- No se puede realizar más de una puesta en marcha. Se sabe un poco más de las condiciones de crecimiento de los organismos anaerobios, y se disponen de más cantidades de lodos anaerobios activos, por lo tanto la puesta en marcha de instalaciones completas pueden ser realizadas en unas semanas, algunos incluso en pocos días.
- Los inconvenientes relacionados con los malos olores en tratamiento anaerobio pueden ser solucionados empleando mecanismos relativamente sencillos, e. g. métodos fisicoquímicos o microaerófilos.

2.2 Microbiología de la digestión anaerobia

El proceso de degradación de la materia orgánica es un proceso de múltiples reacciones en serie y paralelo y se da en cuatro etapas sucesivas: hidrólisis, acidogénesis, y metanogénesis.

La digestión anaerobia representa un sistema ecológico delicadamente balanceado, e involucra procesos metabólicos complejos, que dependen de actividades de no mínimo tres grupos fisiológicos de microorganismos: bacterias fermentativas (o acidogénicas),

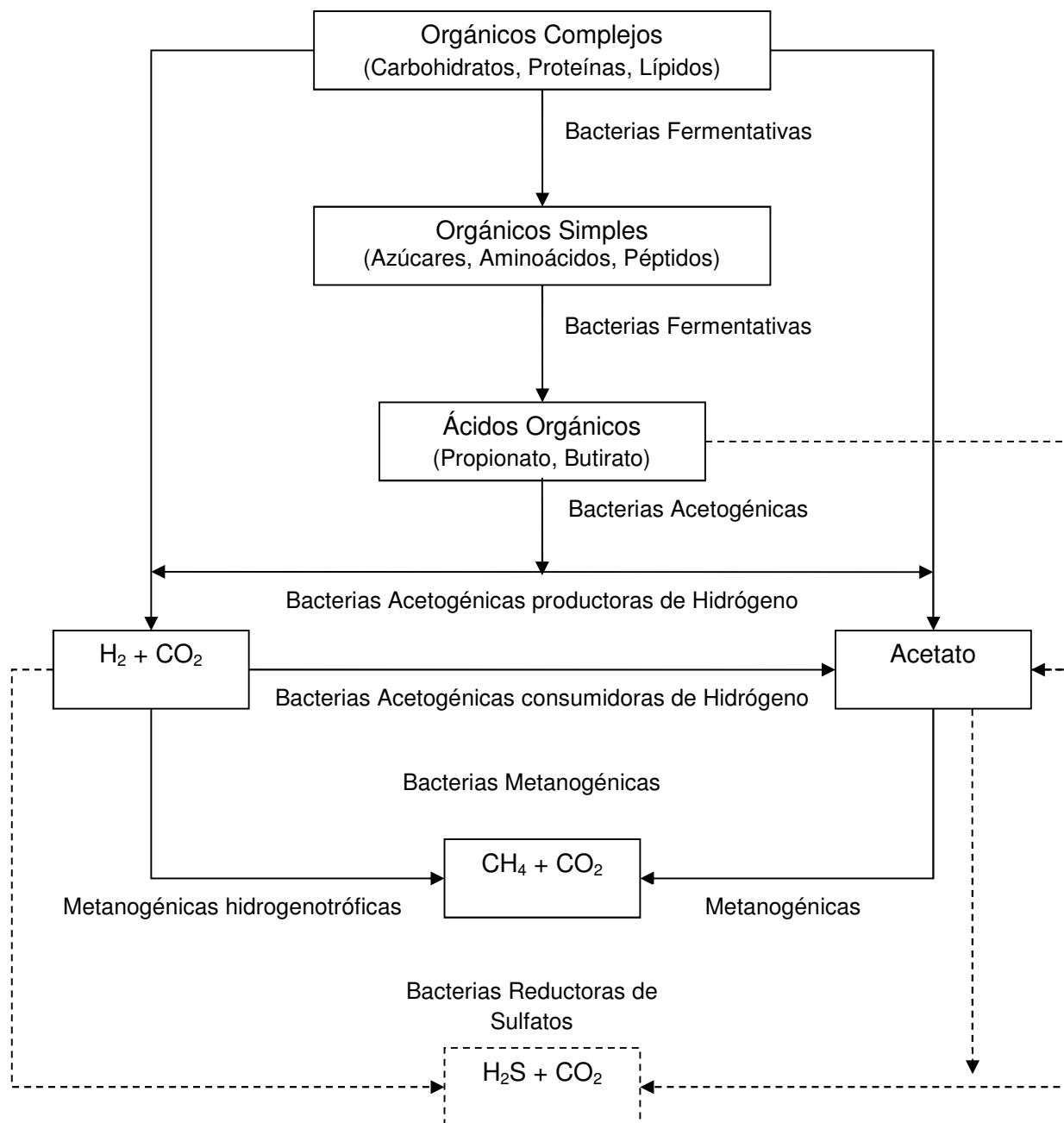
bacterias sintróficas (o acetogénicas), y microorganismos metanogénicos. El consorcio microbiano involucrado convierte la materia orgánica compleja y finalmente la mineraliza en metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), amonio (NH_3), ácido sulfhídrico (H_2S) y agua (H_2O).

El proceso se desarrolla de la siguiente manera, primero las bacterias fermentativas acidogénicas convierten por hidrólisis y fermentación los compuestos orgánicos complejos (carbohidratos, proteínas y lípidos) en otros compuestos más simples, principalmente ácidos orgánicos a la vez de hidrógeno y dióxido de carbono. Los organismos sintróficos acetogénicos convierten los compuestos orgánicos como propionato y butirato, en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono. Después, el acetato y el hidrógeno producidos en las etapas anteriores son convertidos en metano y dióxido de carbono. Esta conversión es efectuada por un grupo especial de microorganismos, denominados arqueas metanogénicas, las cuales son procariotas estrictamente anaerobias. Los organismos metanogénicos dependen del sustrato proporcionado por las bacterias formadoras de ácidos, configurando por lo tanto una interacción sintrófica.

Estas reacciones son presentadas en la Figura 2-1, en la cual se muestra la degradación unidireccional de la materia orgánica hasta los productos finales CH_4 y CO_2 . El proceso homoacetogénico ilustra la conversión de acetato, el mayor precursor de CH_4 e H_2/CO_2 . También, se pueden producir reacciones posteriores, e. g. la formación de elevados Ácidos Volátiles Grasos AVG o alcoholes fuera del acetato y el propionato. Estas reacciones son de particular importancia en el caso de mal funcionamiento o perturbación del proceso anaerobio o cuando se desea una reacción deliberadamente [51].

Bajo condiciones normales, e. g. en reactores estables bajo condiciones mesofílicas, el acetato es el mayor precursor de CH_4 (cerca del 70% del flujo de Demanda Química de Oxígeno DQO). De acuerdo con [51] es interesante observar que solo hay conversión de DQO y no destrucción. La remoción de DQO tiene lugar debido a que el producto final de la reacción en cadena, CH_4 , es gaseoso y altamente insoluble en agua.

En el caso de la presencia de aceptores de electrones como NO_3^- y SO_4^{2-} , se presentará otro grupo de bacterias en el proceso anaerobio, así como desnitrificadores y reductores de sulfatos.

Figura 2-1: Esquema metabólico de la digestión anaerobia [10]

2.2.1 Hidrólisis

Dado que los microorganismos no son capaces de asimilar la materia orgánica particulada, la primera fase del proceso de degradación anaerobia consiste en la hidrólisis de materiales particulados complejos (polímeros) en materiales disueltos más

simples (moléculas menores) las cuales pueden a travesar las paredes celulares de las bacterias fermentativas. Esta conversión de materiales particulados en materiales disueltos es conseguida a través de la adición de enzimas excretadas por las bacterias fermentativas hidrolíticas [10].

Durante el proceso de hidrólisis enzimático, las proteínas son hidrolizadas a aminoácidos, los polisacáridos a azúcares simples y los lípidos a ácidos grasos de cadena larga. La hidrólisis es considerada un limitante de la velocidad del proceso durante la digestión anaerobia de sustratos complejos.

De acuerdo con [10] se destacan las siguientes bacterias con capacidad hidrolítica en el proceso de digestión anaerobia:

- *Clostridium*, *Micrococcus* y *Staphylococcus*, que son géneros productores de lipasas, que degradan los lípidos a ácidos grasos.
- *Bacteroides*, *Butyvirio*, *Clostridium*, *Fusobacterium*, *Selenomonas*, *Streptococcus*, *Proteus*, *Peptococcus* y *Bacillus*, que son géneros productores de proteasas, para la degradación de proteínas y aminoácidos.
- *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Acetivirio*, *Eubacterium*, que son géneros productores de amilasas, para la degradación de azúcares menores.

2.2.2 Acidogénesis

Durante la acidogénesis, los productos de la hidrólisis (amino ácidos, azúcares simples, ácidos grasos), los cuales son compuestos pequeños solubles, penetran las células bacterianas a través de la membrana celular y subsecuentemente son fermentadas u oxidadas anaerobiamente.

La acidogénesis es una reacción muy común y es desarrollada por un gran grupo de microorganismos hidrolíticos y no hidrolíticos. Los productos de la acidificación consisten en una variedad de pequeños compuestos orgánicos, principalmente AVGs, e. g. acetato y ácidos orgánicos tales como propionato y butirato, así como H_2 , CO_2 , algunos ácidos lácticos, etanol y amonio (Figura 2-1).

Característicamente, componentes neutrales tales como azúcares y proteínas son convertidas a AGVs y ácido carbónico, siendo los principales productos finales. Por lo tanto, los organismos fermentativos son usualmente designados como microorganismos acidogénicos. De acuerdo con [51], el tipo de productos finales depende de las condiciones del medio las cuales presentan en la Tabla 2-1 las diferentes reacciones acidogénicas comenzando por la sacarosa y generando diferentes cantidades de AVGs, HCO_3^- , H_2 , H^+ .

De la Tabla 2-1, se observa que la energía libre ΔG° de las reacciones acidogénicas de menor energía con sacarosa como sustrato, dependen fuertemente de la concentración de H_2 . Si el H_2 es removido por bacterias metanogénicas, el acetato sería el principal producto final. Sin embargo, si la metanogénesis es retardada y se acumula H_2 , es probable que aparezcan más productos reducidos tales como propionato y butirato e incluso compuestos más reducidos como lactato y alcoholes. Por lo tanto, de reactores anaerobios sobrecargados o perturbados (o reactores diseñados como reactores acidogénicos en procesos anaerobios de dos pasos) a menudo contienen estos productos intermedios más reducidos.

Tabla 2-1: Reacciones acidogénicas con sacarosa como sustrato y los correspondientes cambios de energía libre (ΔG°) a 25 °C [51]

Reacciones	ΔG° (kJ/mol)
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + 9\text{H}_2\text{O} > 4\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{HCO}_3^- + 8\text{H}^+ + 8\text{H}_2$	-457.5
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + 5\text{H}_2\text{O} > 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO}^- + 4\text{HCO}_3^- + 6\text{H}^+ + 4\text{H}_2$	-554.1
$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + 3\text{H}_2\text{O} > 2\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO}^- + 2\text{HCO}_3^- + 6\text{H}^+ + 2\text{H}_2$	-610.5

2.2.3 Acetogénesis

Las bacterias sintróficas acetogénicas son las responsables de la oxidación de compuestos orgánicos intermediarios (AGVs), como propionato y butirato en un sustrato apropiado para los microorganismos metanogénicos (acetato, hidrógeno y dióxido de carbono) [10, 51].

Los sustratos acetogénicos más importantes son propionato y butirato, pero también el lactato, etanol, metanol, e incluso H_2 y CO_2 son (homo)acetogénicamente convertidos a acetato como se muestra en la Figura 2-1 y en la Tabla 2-2. Los AGV de cadena larga son convertidos siguiendo la oxidación- β en la cual fracciones de acetato son separadas

de la cadena alifática (Tabla 2-2). Los AVG de cadena larga no saturados como el oleato y el linoleato son primero saturados mediante adición de H_2 antes de la oxidación-b [51].

Tabla 2-2: Estequiometría y cambios de energía libre (ΔG°) para algunas reacciones acetogénicas, asumiendo un pH neutral, una temperatura de 25 °C y una presión de 1 atm [51]

Compuesto	Reacción	ΔG° (kJ/mol)
Lactato	$CH_3CHOHCOO^- + 2H_2O > CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 2H_2$	-4.2
Etanol	$CH_3CH_2OH + H_2O > CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$	+9.6
Butirato	$CH_3CH_2CH_2COO^- + 2H_2O > 2CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$	+48.1
Propionato	$CH_3CH_2COO^- + 3H_2O > CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 3H_2$	+76.1
Metanol	$4CH_3OH + 2CO_2 > 3CH_3COOH + 2H_2O$	-2.9
Hidrógeno- CO_2	$2HCO_3^- + 4H_2 + H^+ > CH_3COO^- + 4H_2O$	-70.3
Palmitato	$CH_3-(CH_2)_{14}-COO^- + 14H_2O > 8CH_3COO^- + 7H^+ + 14H_2$	+345.6

De la Tabla 2-2 se observa que las reacciones para etanol, butirato, propionato y el palmitato ocurren bajo condiciones termodinámicas desfavorables, indicado por la energía positiva ΔG° , y por lo tanto la producción de energía bacteriana es negativa.

2.2.4 Metanogénesis

La etapa final del proceso de conversión anaerobia de compuestos orgánicos en metano y dióxido de carbono es la metanogénesis. Durante esta cuarta y última etapa un grupo de arqueas metanogénicas reducen a dióxido de carbono la materia orgánica empleando el hidrógeno como donador de electrones y descarboxilan el acetato para formar CH_4 (Figura 2-1).

Las bacterias metanogénicas se clasifican en dos grandes grupos: las que convierten el acetato o metanogénicas acetoclásticas y las que utilizan hidrógeno o acetogénicas hidrogenotróficas (Tabla 2-3). De acuerdo con [51] cerca del 70% del metano producido proviene del acetato, el resto proviene del H_2 y el CO_2 . La tasa de crecimiento de las bacterias metanogénicas acetoclasticas es muy baja, el bajo crecimiento explica por qué los reactores anaerobios requieren de un largo periodo de puesta en marcha cuando se emplean inóculos no adaptados y por qué se requieren concentraciones altas de lodos.

Las bacterias hidrogenotróficas tienen una tasa de crecimiento mucho mayor que las bacterias acetoclásticas.

Tabla 2-3: Reacciones metanogénicas más importantes y correspondiente cambio de energía libre (ΔG°) [51]

Etapa funcional	Reacción	ΔG° (kJ/mol)
Metanogénesis acetotrófica	$\text{CH}_3\text{-COO}^- + \text{H}_2\text{O} > \text{CH}_4 + \text{HCO}_3^-$	-31
Metanogénesis hidrogenotrófica	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 > \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	-131

La metanogénesis acetotrófica es desarrollada por dos clases de bacterias *Methanosarcinaspp.*, y *Methanosaetaspp.*, las primeras son bacterias de formas cocoides, aparecen en pequeños racimos, y pueden convertir acetato, H_2/CO_2 , metilaminas, metanol, y formiato, estas bacterias tienen una relativa alta tasa de crecimiento y una relativa baja afinidad a los sustratos [51]. Las bacterias *Methanosaetaspp.*, son filamentosas de forma de espaguetis, pueden solo convertir acetato y se caracterizan cinéticamente por una baja tasa de crecimiento y una muy alta afinidad a los sustratos.

2.3 Producción de biohidrógeno

Los estudios en producción de biohidrógeno se han enfocado en biofotólisis de agua empleando algas y *ciabobacterias*, la fotofermentación de compuestos orgánicos por bacterias fotosintéticas, y la fermentación oscura de compuestos orgánicos por bacterias anaerobias [41]. De estos procesos, la fermentación oscura parecer ser la más favorable dado que el hidrógeno se puede obtener a altas tasas. Además, los procesos se pueden llevar a cabo en diferentes residuos orgánicos y aguas residuales enriquecidas con carbohidratos, de este modo se logra producir biohidrógeno sostenible a bajo costo con el beneficio del tratamiento de residuos.

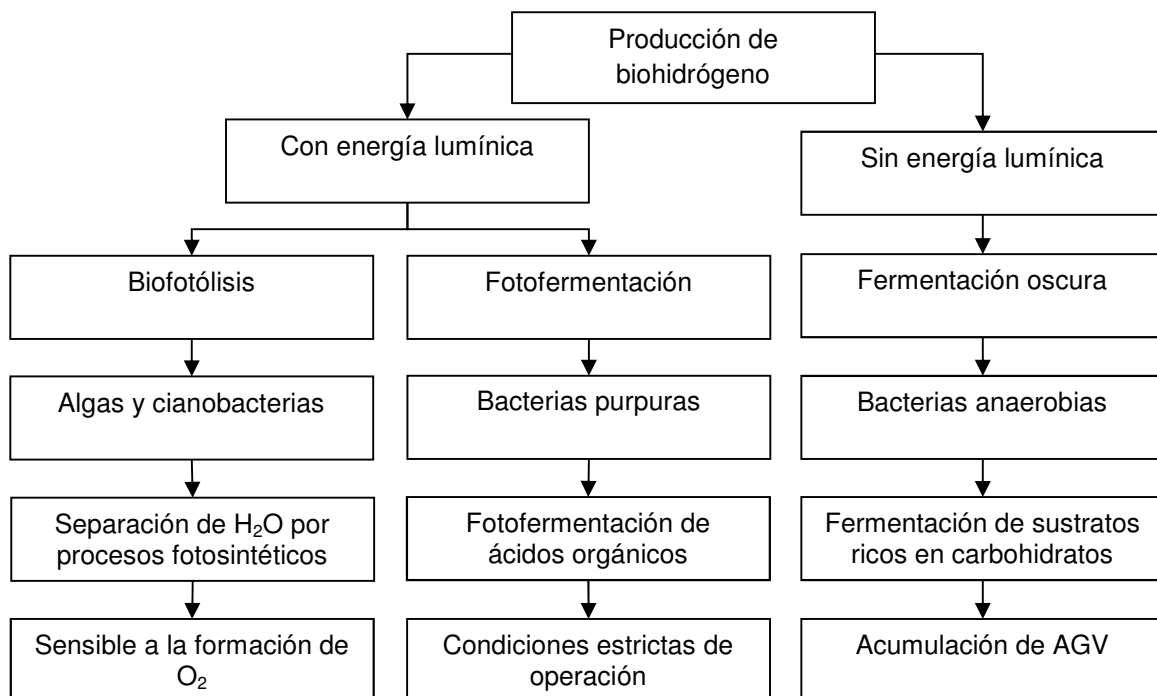
Aunque se han demostrado los beneficios de la producción de biohidrógeno en diferentes estudios, la tecnología aún compite con los procesos de producción de combustibles fósiles en términos de costos, eficiencia y confiabilidad [23]. Por lo tanto, mejorar la eficiencia en la producción de hidrógeno es un reto para la mayoría de investigadores.

2.3.1 Procesos de producción de hidrógeno biológico

El biohidrógeno se puede producir por diferentes procesos los cuales pueden ser en general categorizados en dos grupos distintos, los procesos dependientes de luz y la fermentación oscura. Los procesos que dependen de la luz incluyen la biofotólisis y la foto-fermentación, mientras la fermentación oscura es el principal proceso independiente de luz.

Todas tecnologías de producción de biohidrógeno dependen de la hidrogenasa o nitrogenasa para la producción de hidrógeno y generación de energía directamente de la energía lumínica o indirectamente por el consumo de compuestos de carbono fotosintéticamente. Una comparación de los tres principales tipos de tecnologías de producción de H_2 se presentan en la Figura 2-2. Cada enfoque tiene aspectos positivos o negativos y cada uno tiene barreras técnicas que necesitan ser superadas antes de ponerse en práctica.

Figura 2-2: Comparación de los diferentes procesos de producción de biohidrógeno



Biofotólisis

El hidrógeno puede ser producido directamente mediante el proceso de división del agua a través de la capacidad fotosintética de algas y cianobacterias. La producción de biohidrógeno ocurre a través de la absorción directa de la luz y la transferencia de electrones a las enzimas hidrogenasa y/o nitrogenasa. Bajo condiciones anaerobias o de excesiva energía, los excesos de electrones son liberados por los microorganismos empleando la enzima hidrogenasa la cual convierte los iones hidrógeno a gas hidrógeno [41]. Los protones y electrones extraídos mediante las reacciones de división del agua son recombinadas por cloroplastos hidrogenasa para formar el gas hidrógeno molecular [16].

En el proceso de división del agua, se produce también oxígeno. Para prevenir la acumulación de oxígeno, se ha investigado en la identificación de algas y bacterias menos sensibles al oxígeno, en la separación de la secuencia del hidrógeno al oxígeno, o en el cambio de la relación de procesos de fotosíntesis en respiración. Se ha encontrado que el sulfato es efectivo en la supresión de la generación de oxígeno, pero la producción de hidrógeno también es inhibida [41].

Se ha reportado que las algas verdes deficientes de azufre cuya energía se obtiene de la luz bajo condiciones anaerobias, podrían inducir reacciones en la hidrogenasa para producir hidrógeno fotosintéticamente. La producción de H_2 por biofotólisis se considera factible si la eficiencia en la conversión de fotones se mejora mediante bioreactores de algas a gran escala [21].

Fotofermentación

A diferencia de los procesos en los cuales el H_2 es producido por cianobacterias y/o algas verdes o indirectamente del agua, las bacterias purpuras fotosintéticas son capaces de generar H_2 de sustratos orgánicos a través de la fotofermentación.

En contraste con las algas verdes, las bacterias purpuras fotosintéticas son incapaces de dividir el agua por su simple estructura fotosintética. Sin embargo, las bacterias son capaces de utilizar ácidos orgánicos simples o incluso hidrógenosulfato como donador de electrones derivado de los sustratos orgánicos bajo condiciones anaerobias [1].

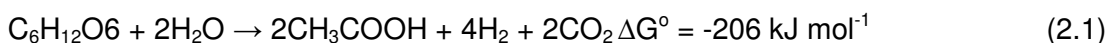
Los electrones obtenidos de los microorganismos son transportados por medio de los transportadores de electrones, durante el cual los protones son conducidos a través de la membrana. Allí se desarrolla un gradiente electroquímico y el ATP sintasa es sintetizado por el adenosíntrifosfato (ATP) del adenosíndifosfato (ADP) mediante el uso de la energía generada del movimiento de los protones hacia abajo del gradiente. El excedente de energía ATP puede ser empleado para transportar los electrones adicionales hasta el transportador de electrones ferredoxína en los cloroplastos. Cuando el nitrógeno molecular es deficiente, el ATP sintasa puede, de nuevo con energía extra ATP, reducir los protones en gas hidrógeno empleando los electrones derivados del ferredoxín [1]. De esta manera, los ácidos orgánicos obtenidos de los sustratos pueden ser finalmente transformados en hidrógeno y dióxido de carbono.

Fermentación oscura

La producción de hidrógeno fermentativo de residuos se refiere a la obtención de este gas a través de microorganismos los cuales son capaces de convertir la materia orgánica a ácidos y alcoholes con una liberación simultanea de hidrógeno molecular.

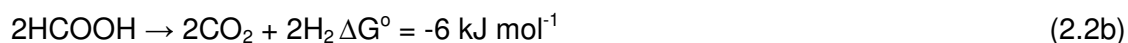
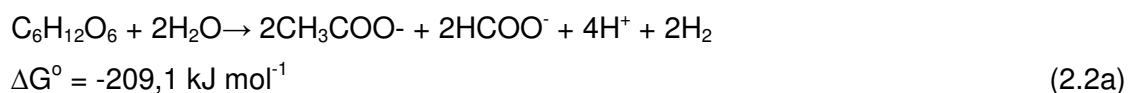
La generación de biohidrógeno a través de la fermentación oscura se logra principalmente por bacterias estrictamente anaerobias o anaerobias facultativas bajo condiciones anaerobias. En general son especies del género *Clostridium* formadoras de esporas, facultativas *Enterobacter* sp y *Bacilos* sp [9, 17, 28, 30, 40], algunas bacterias termofílicas [4, 40, 56] y acidogénicas anaerobias provenientes de lodos [57].

Usualmente, los monosacáridos son la principal fuente de carbono donde se destaca particularmente la glucosa seguido de la xilosa, el almidón, la celulosa y otras fuentes que pueden ser generadas a partir de la hidrólisis de polisacáridos, proteínas y lípidos, por esta razón la reacción de biotransformación de la glucosa a ácido acético, H₂ y CO₂ (Ecuación 2.1), es la ecuación ampliamente aceptada como referencia para la estimación de la producción teórica del hidrógeno fermentativo [35].



De acuerdo con esta reacción la producción máxima teórica de biohidrógeno a partir de la fermentación de la glucosa es de 4 moles de H_2 por mol de glucosa consumida cuando el ácido acético es el único Ácido Graso Volátil (AGV) producido. En cuanto a la energía libre de Gibbs el valor negativo indica que en la reacción se forman productos espontáneamente sin necesidad de requerimientos energéticos externos.

La máxima producción teórica de hidrógeno también se puede lograr en un proceso de dos etapas mediante la fermentación de la glucosa a acetato y formiato de acuerdo con las reacciones 2.2a y 2.2b [50].



Sin embargo, en la práctica se obtienen bajas producciones de H_2 debido a que parte de la glucosa es empleada por los microorganismos para su sustento y crecimiento microbiano. Adicionalmente, cuando la transformación genera como subproducto ácido butírico se producen 2 moles de H_2 por mol de glucosa y si se genera ácido propiónico se produce un consumo de 1 mol de H_2 por mol de ácido propiónico generado [2]. La fermentación de ácido láctico y etanol no genera consumo ni producción de H_2 . Si se produce ácido acético y butírico al mismo tiempo como subproducto en la fermentación se genera 2,5 moles de H_2 por mol de glucosa.

La presencia de consumidoras de H_2 tales como las bacterias homoacetogénicas, metanogénicas [50], y reductoras de nitratos y sulfatos son otro factor que reduce la producción de hidrógeno. Otros factores importantes que afectan el desempeño de la fermentación oscura están relacionados con las condiciones de operación tales como pH, tiempo de retención hidráulico, nutrientes, temperatura, concentración del sustrato, inóculo y tipo de sustrato.

La cantidad de hidrógeno obtenido por procesos fermentativos se puede cuantificar en términos de rendimiento y tasa. El rendimiento se define como la cantidad de H_2 producido por cantidad de sustrato consumido y se expresa en unidades de mol H_2 /mol de glucosa. La Tasa de Producción de Hidrógeno (TPH) se define como la cantidad de

H₂ (ml) producido por unidad de tiempo y por unidad de volumen de reactor (tasa volumétrica) o por unidad de biomasa (tasa específica) [2].

Es importante mencionar que es posible ajustar matemáticamente la producción de hidrógeno por fermentación oscura mediante la ecuación modificada de Gompertz (Ecuación 2.3), la cual es un modelo adaptado para describir el progreso acumulativo de producción de H₂ en un experimento batch.

$$H = H_{m\acute{a}x} \exp \left\{ -\exp \left[\frac{R_{m\acute{a}x} \times e}{H_{m\acute{a}x}(\lambda - t)} \right] + 1 \right\} \quad (2.3)$$

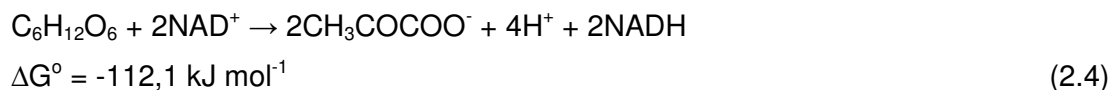
donde H corresponde a la producción acumulada de H₂ (ml), H_{máx} a la producción acumulada máxima de H₂ en (ml), R_{máx} la tasa de producción máxima de H₂ en (ml/h), t el tiempo del cultivo en (h), y λ el tiempo de retardo en (h) requerido para comenzar la evolución del H₂. Esta ecuación ha sido empleada por diferentes autores [8, 13, 22, 58] con muy buenos ajustes $r^2 > 0,90$, donde se ha querido correlacionar resultados experimentales con un modelo matemático de tipo predictivo.

2.3.2 Rutas de producción de hidrógeno fermentativo

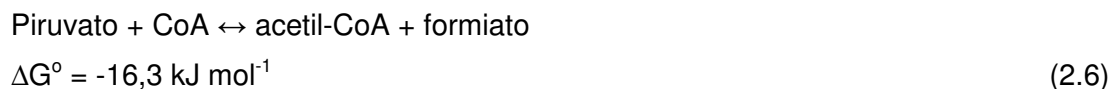
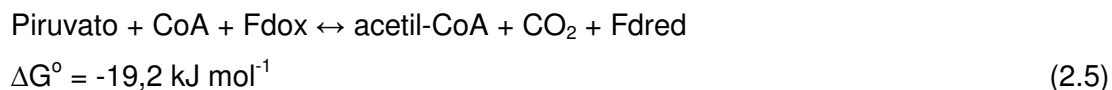
En ambientes anóxicos, los protones pueden actuar como un aceptor de electrones en presencia de la enzima hidrogenasa la cual es clave en el proceso de catalización para la producción de H₂ [2, 42]. En estas condiciones las bacterias anaerobias sin requerimientos de energía lumínica fermentan sustratos ricos en carbohidratos. En este proceso interactúan diversas clases de microorganismos las cuales convierten la materia orgánica en otros compuestos, incluido el hidrógeno, y en nuevas células bacterianas. El proceso se divide en varias rutas metabólicas con la participación de diferentes grupos microbianos cada uno con un comportamiento fisiológico diferente.

La formación de hidrógeno comienza con la hidrólisis de materiales particulados complejos en materiales disueltos más simples, entre ellos la glucosa, por bacterias fermentativas hidrolíticas. En este punto se desarrolla una serie de reacciones enzimáticas donde la glucosa es convertida a través de la vía metabólica de la glucólisis también conocida como vía Embden-Meyer-Parnas (EMP) al ácido pirúvico Ecuación 2.4,

a través de la cual 2 moles de hidrógeno pueden ser generados durante la regeneración del NADH ($\text{NADH} + \text{H}^+ \rightarrow \text{NAD}^+ + \text{H}_2$) [18, 35].

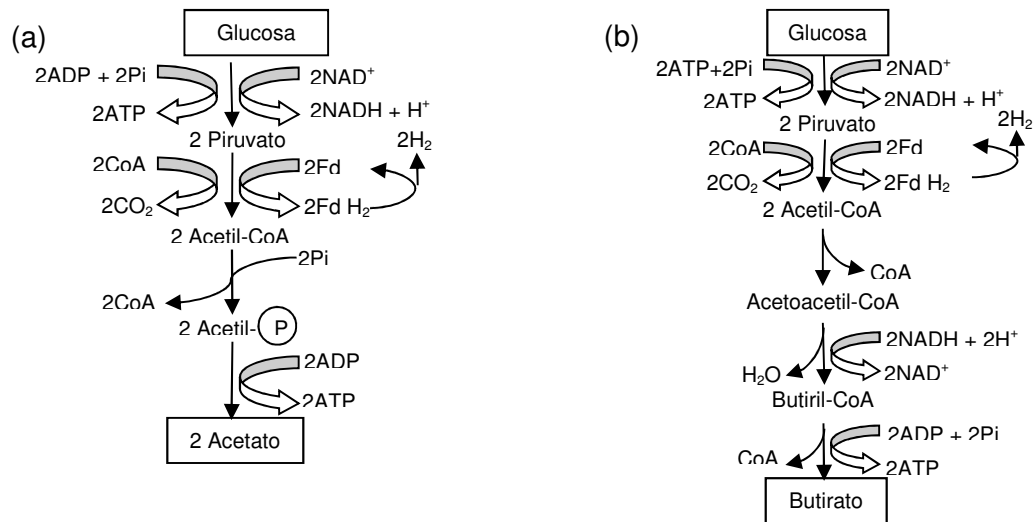


A continuación, el ácido pirúvico sufre un proceso de descarboxilación oxidativa por la coenzima acetil-CoA que dependiendo del sistema enzimático que tengan los microorganismos puede ser metabolizada en acetato, butirato o formiato de los cuales se generan entre 2 o 4 moles de H_2 /mol de glucosa consumida [50]. De esta manera el acetil-CoA se puede generar a través de dos reacciones Ecuación 2.5 o 2.6.



La reacción de la Ecuación 2.5 es catalizada mediante la enzima piruvato-ferredoxínoxidoreductasa, donde el ferredoxín es la coenzima que actúa como receptor de electrones [49]. El acetil-CoA puede además ser metabolizado a acetato (Figura 2-3a), o a butirato (Figura 2-3b), y en los dos casos de la re-oxidación de cada mol de ferredoxín se genera un mol de H_2 con la ayuda de la enzima hidrogenasa.

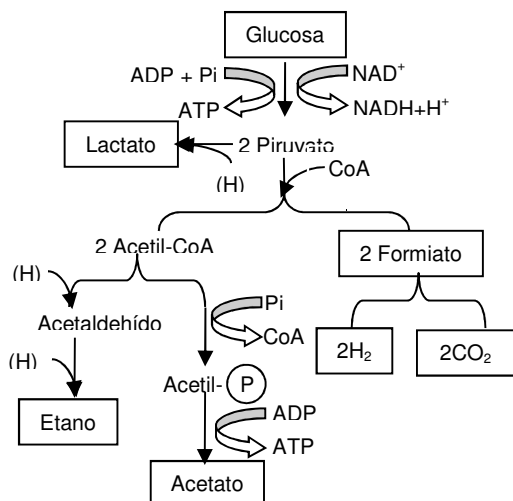
Figura 2-3: Generación de hidrógeno con producción de acetato (a) butirato (b) a través de la ruta de la glucólisis. Adaptado de [35]



Si el acetato es el producto final, se genera un mol extra de H_2 de la reducción de cada mol de NADH a NAD^+ generando de esta manera una producción de H_2 total de 4 moles/mol de glucosa consumida. Si el butirato es el producto final, el NADH es empleado para la oxidación del acetil-CoA a butirato, por lo tanto la producción de H_2 será de 2 moles/mol de glucosa consumida. Dependiendo de las condiciones de cultivo así como del tipo de microorganismos, se puede generar simultáneamente acetato y butirato produciendo entre 2 y 4 moles de H_2 .

La otra manera de generación de acetil-CoA, es como se muestra en la reacción de la Ecuación 2.6, la cual conduce a la formación de formiato [35], la reacción que se presenta en la Figura 2-4 es catalizada por la enzima piruvato formiato liasa, donde se obtienen 2 moles de H_2 por mol de glucosa consumida.

Figura 2-4: Generación de hidrógeno con producción simultánea de acetato, etanol, lactato y formiato a través de la ruta de la glucólisis [35]



2.3.3 Factores que afectan la producción de biohidrógeno

La producción de hidrógeno depende de varios factores los cuales están asociados con condiciones ambientales, operacionales y químicas. Estos factores han sido evaluados por diferentes investigadores con el objetivo de obtener la máxima producción de 4 moles de H_2 por mol de glucosa. En esta sección se tratará cada uno de ellos explicando cómo afectan la producción de biohidrógeno.

Inóculo

Para la obtención de H_2 se han empleado bacterias en cultivos puros y mixtos como inóculos que para el primer caso en su mayoría corresponden a especies del género *Clostridium* y *Enterobacter* [41, 55]. Las especies del género *Clostridium* son bacilos gram-positivos, estrictamente anaerobios y formadoras de esporas, mientras las *Enterobacter* son bacterias bacilos gram-negativas, y anaerobias facultativas [55]. La mayoría de estudios para la obtención de H_2 se han realizado con cultivos puros, en régimen batch y empleando glucosa como sustrato [42, 55].

Actualmente, los cultivos mixtos de bacterias de lodos anaerobios, lodos de plantas de tratamiento, compost y el suelo se han empleado como inóculo para la producción de H_2 [26] porque estos son más fáciles de operar y controlar, existe una amplia fuente de alimentos que los contienen en relación con los cultivos puros y son potencialmente más

resistentes a cambios en las condiciones ambientales. Sin embargo, en la producción de H_2 empleando cultivos mixtos, el H_2 producido puede ser consumido. Por esta razón, para proteger las bacterias productoras de H_2 , los cultivos son pretratados empleando métodos como choque térmico, acidificación, alcalinidad, congelación y descongelación, aireación y adición de cloroformo los cuales inactivan la actividad bacteriana de las consumidoras de H_2 tanto como sea posible mientras se mantiene la actividad de las productoras de H_2 [53].

pH del cultivo

El pH es un factor importante que influye en la actividad de las bacterias productoras de H_2 , porque afecta la actividad de la hidrogenasa así como las rutas metabólicas [41,42, 55]. Estudios comparativos con respecto al efecto del pH en la producción de H_2 han mostrado que el rango de pH óptimo para lograr la máxima producción de H_2 está entre 4.5 y 6.0 [41].

Sustrato

Para la producción de H_2 se han empleado diferentes clases de sustratos. La glucosa, sacarosa y el almidón son los que más se han empleado como sustrato [55]. En muy pocos estudios se ha utilizado residuos orgánicos como sustrato para la producción de H_2 .

Para la producción de H_2 no es ideal emplear sustratos con estructuras moleculares complejas debido a que estos son difíciles de asimilar por los microorganismos, sin embargo después de emplear un pretratamiento con algunos métodos, estos sustratos pueden ser fácilmente asimilados por las bacterias productoras de H_2 [55].

Los pretratamientos más conocidos son la ultrasonificación, acidificación, el congelamiento y descongelamiento, esterilización y las microondas, de los cuales se destacan por su eficiencia en la inactivación de bacterias consumidoras el congelamiento y descongelamiento y la esterilización, aunque la selección del método más apropiado dependerá del inóculo empleado para la producción de H_2 .

Temperatura

La temperatura es un factor que influye en la actividad de las bacterias productoras de H_2 y en la producción de H_2 fermentativo siendo un parámetro de tipo selectivo pues afecta la tasa de crecimiento y la ruta metabólica de los microorganismos. Las bacterias son capaces de producir H_2 en rangos de temperatura que van desde 15 hasta 85 °C, pudiendo ser operadas a temperaturas mesofílicas (25–30 °C), termofílicas (40–65 °C) y hipertermofílicas (>80 °C).

Nutrientes

En los procesos fermentativos para producción de H_2 el nitrógeno, los fosfatos y algunos iones metálicos son muy importantes para el crecimiento celular de las bacterias productoras de H_2 .

El nitrógeno es un componente de las proteínas, ácidos nucleicos y enzimas, por lo tanto una concentración de nitrógeno apropiada favorece el crecimiento de las bacterias productoras de hidrógeno y la producción de H_2 fermentativo [3].

En relación con los fosfatos estos son necesarios para la producción de H_2 debido a su valor nutricional, así como a su capacidad de tamponamiento. [3] y [55] mencionan que en un rango apropiado, aumentar la concentración de fosfatos incrementa la capacidad de las bacterias productoras de H_2 de producir H_2 fermentativo.

[27] comentan que los iones metálicos más importantes en la producción de H_2 fermentativo son el Mg^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} y Fe^{2+} , dado que estos elementos son necesarios para los cofactores enzimáticos, los procesos de transporte y las deshidrogenasas. De estos iones el Fe^{2+} es el que más se ha investigado al ser un componente clave en la actividad enzimática de la hidrogenasa [54]. Los metales pesados han sido reportados como tóxicos por [26] para la producción de H_2 fermentativo de acuerdo con el siguiente orden de toxicidad: $Cu > Ni > Zn > Cr > Cd > Pb$.

3. Revisión de la producción de biohidrógeno

En el proyecto se realizó una revisión detallada de artículos científicos relacionados con la producción de biohidrógeno que abarcan un largo periodo de tiempo de 1993-2012. Con ellos se elaboró una base de datos agrupando un total de 62 revistas especializadas en recursos energéticos y 670 publicaciones. Esta base de datos se presenta en el Anexo A. Las revistas consultadas y el número de artículos publicados en cada una de ellas se presentan en la Tabla 3.1.

Tabla 3-1: Revistas consultadas y artículos publicados en biohidrógeno

No.	Revista	No. Artículos
1	A Journal of the Human Environment	1
2	Advances in Environmental Research	1
3	Anaerobe	1
4	Antonie van Leeuwenhoek	1
5	Applied Microbiology Biotechnology	3
6	Archives of Microbiology	1
7	Biochemical Engineering Journal	1
8	Biochemical Society Transactions	1
9	Bioresource Technology	24
10	Biotechnology Advances	1
11	Biotechnology and Bioengineering	3
12	Biotechnology for Biofuels	2
13	Biotechnology Letters	1
14	Biotechnology Progress	2
15	BMC Biotechnology	1
16	Catalysis Today	1
17	Chemical Engineering Science	1
18	Chemosphere	1
19	Current Trends in Biotechnology & Pharmacy	1
20	Energy	2
21	Energy Conversion and Management	1
22	Energy for Sustainable Development	1
23	Energy Policy	3
24	Energy Procedia	3
25	Engeneria Sanitaria Ambiental	1

No.	Revista	No. Artículos
26	Environmental Impact Assessment Review	1
27	Environmental Science and Bio/Technology	1
28	Environmental Science and Technology	3
29	Enzyme and Microbial Technology	1
30	Food Microbiology	1
31	International Journal of Hydrogen Energy	531
32	Journal of Alloys and Compounds	1
33	Journal of Biological Engineering	1
34	Journal of Biotechnology	6
35	Journal of Cleaner Production	1
36	Journal of Energy Engineering	1
37	Journal of Environmental Management	3
38	Journal of Fermentation and Bioengineering	2
39	Journal of Materials Processing Technology	1
40	Journal of Power Sources	4
41	Journal of the Air & Waste Management Association	1
42	Microbial Cell Factories	2
43	Nature	2
44	Nature Biotechnology	3
45	Parcerias Estratégicas	1
46	Procedia Engineering	1
47	Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC	1
48	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	1
49	Process Biochemistry	4
50	Progress in Energy and Combustion Science	1
51	Progress in Lipid Research	1
52	Renewable and Sustainable Energy Reviews	3
53	Renewable Energy	2
54	Reviews in Environmental Science Biotechnology	1
55	Science	1
56	Technology in society	2
57	The Journal of Biological Chemistry	1
58	The Society for Biotechnology	1
59	Trends in Biotechnology	3
60	Waste Biomass Valor	1
61	Water Research	13
62	Water Science and Technology	7
	Total	670

Es importante destacar el gran número de artículos publicados en la revista International Journal of Hydrogen Energy, siendo esta revista la más relevante en el tema pues es la revista oficial de la Asociación Internacional para Energía de Hidrógeno (IAHE) por sus siglas en inglés. El énfasis de los tópicos está centrado en investigaciones originales,

tanto analíticas como experimentales, las cuales son de interés permanente para ingenieros y científicos, cubriendo todos los aspectos del hidrógeno, incluyendo la producción, almacenamiento, transmisión, utilización, así como aspectos económicos, ambientales e internacionales.

De la base de datos se tomaron 28 artículos relevantes para condensar en un cuadro resumen las condiciones experimentales con las cuales se operaron los diferentes reactores. Las condiciones observadas incluyeron el tipo de reactor, la clase de inóculo y sustrato empleado, la cantidad y tipo de nutrientes, la temperatura, el pH y el tiempo de retención hidráulico. Igualmente, en el cuadro se consignaron los principales resultados en términos de producción de hidrógeno, generación de ácidos grasos volátiles y otros resultados importantes obtenidos por los autores, el cuadro resumen se presenta en el Anexo B del documento.

La revisión de la base de datos (Anexo A) y de los artículos relevantes (Anexo B), evidencia que la mayoría de estudios se han efectuado en reactores tipo batch y son pocos los experimentos realizados en régimen continuo, esto se debe, en parte a la facilidad en la operación y control de los primeros. Los volúmenes de los reactores en batch y la cantidad de botellas utilizadas fue muy variable empleado frascos de vidrio con capacidad de 70 hasta 4.000 ml y desde 1 hasta 12 botellas. Esto se debe a la cantidad de inóculo y sustrato a ser empleado así como a las diferentes replicas que hace cada autor para justificar sus resultados.

En la mayoría de experimentos se empleó como inóculo lodos anaerobios provenientes de PTAR seguido de lodos provenientes de reactores CSTR, RALF y UASB. Estos inóculos fueron pretratados principalmente mediante choque térmico, y se utilizaron cultivos mixtos de bacterias. Los estudios que emplearon cultivos puros de bacterias se realizaron en régimen batch y empleando glucosa como sustrato. En varios estudios se utilizaron compuestos orgánicos especiales como estiércol de elefante, compost y residuos industriales, entre otros.

La mayoría de los estudios han utilizado glucosa, sacarosa y almidón respectivamente como sustratos, en concentraciones que van desde 300 hasta 11.700 mg/l para la glucosa; en los estudios que se empleó sacarosa las concentraciones fueron de 20.000

mg/l y para el almidón de 200 mg/l. Otros sustratos empleados son celulosa en polvo, peptonas, xilosa y lactato, los cuales se probaron a diferentes concentraciones.

Los nutrientes empleados contenían una fuente de fosfatos que se obtenían de la adición de KH_2PO_4 en concentraciones que varían desde 125 mg/l hasta 250 g/l. Una fuente de nitrógeno obtenida de la adición de NH_4Cl principalmente en concentraciones desde 17,3 mg/l hasta 12,5 g/l ó NH_4HCO_3 en concentraciones de 2 g/l hasta 200 g/l y iones metálicos Mg^{2+} , Na^+ , Zn^{2+} y Fe^{2+} obtenidos de diferentes sales con distintas concentraciones.

Los autores reportan diferentes condiciones de operación de temperatura, pH y TRH. La mayoría de estudios se realizaron en un rango de temperatura mesofílico desde 26 hasta 37°C y algunas en rango termofílico con variaciones entre 55 hasta 65 °C, ninguno en rango hipertermofílico >80 °C. El pH inicial utilizado por los autores se desarrolló en un rango entre 4,0-7,5, empleándose en la mayoría de estudios pH ácidos leves entre 6,0-7,0. Los TRH utilizados variaron entre 0,5-13,3 h, empleándose principalmente TRH en un rango entre 6,0-8,0 h.

Los reactores han generado cantidades de H_2 muy variables que no resultan comparativas en la mayoría de los casos puesto que la cantidad de H_2 se ha cuantificado en términos de rendimiento, TPH, TPEH y en términos de biomasa, las cuales no son unidades homólogas entre sí. Teniendo en cuenta lo anterior, las producciones de H_2 en los estudios variaron en términos de rendimiento entre 0,85 hasta 2,48 mol H_2 /mol de glucosa, TPH entre 4,56 ml H_2 /l.h hasta 1,32 l H_2 /l.h, TPEH entre 3,73 hasta 17 mmol H_2 /g SSV y en términos de biomasa 15,20-24 ml/g SSV/h.

En aquellos estudios donde se realizó un análisis de la producción de AGV se generaron ácidos grasos de acuerdo con el siguiente orden: acético, butírico y propiónico, lo cual indica que se favoreció la ruta de producción donde se genera como subproducto acetato principalmente, siendo esta la ruta que produce más H_2 fermentativo. La producción de los otros ácidos no es tan favorable para la generación de H_2 por tanto su presencia es un indicativo de que el proceso no ha sido completamente controlado.

Se evidencia en los estudios que no se ha obtenido aún la máxima producción teórica de H_2 fermentativo, lo cual demuestra que es posible mejorar las condiciones que promueven la producción de biohidrógeno.

4. Retos y perspectivas

La fermentación oscura, las rutas de producción de H_2 y los factores que afectan la producción de H_2 anteriormente mencionados han sido estudiados en numerosas investigaciones en todo el mundo en los últimos años. Los estudios realizados han pretendido obtener la mayor producción factible de H_2 fermentativo. Estos a su vez se han basado en la selección de algunos factores que se varían de manera controlada para evaluar sus efectos sobre la producción de H_2 . Dado que el proceso de producción de H_2 fermentativo está regulado por múltiples factores, es lógico que se recurra a un estudio experimental para evaluar el efecto de los mismos en dicho proceso, lo cual contribuye a la comprensión de este fenómeno [42].

De acuerdo con lo anterior y la revisión de la literatura realizada los parámetros todavía no han sido optimizados para la producción de H_2 . Esto si se tiene en cuenta que el H_2 se puede obtener de diversas maneras en diferentes cantidades. Una evidencia sustancial que muestra que no se han obtenido valores óptimos es que en la producción de H_2 por procesos fermentativos no se ha conseguido llegar al máximo teórico de 4 mol/mol de glucosa.

Se espera en el futuro obtener una mayor cantidad de H_2 a partir de la optimización de los parámetros que influyen en la producción. Autores como [41-42], plantean que los esfuerzos para mejorar la producción de hidrógeno se han enfocado principalmente en una dirección, ingeniería e identificación de hidrogenasas tolerantes al oxígeno, mejoramiento en la producción molecular de hidrógeno y desarrollo de técnicas eficientes de separación de hidrógeno. El reto principal plantea la siguiente pregunta: ¿Es posible mediante un proceso biológico obtener todo el hidrógeno de un sustrato (glucosa) para producir 12 H_2 /glucosa?

Las restricciones termodinámicas y metabólicas sugieren que sería imposible encontrar un organismo capaz de completar la conversión de sustratos a hidrógeno por fermentación y que la intervención humana es necesaria para resolver este problema.

La ingeniería genética, en especial la metabólica la cual se ocupa de la manipulación del ADN en la cual se varían las rutas metabólicas, puede mejorar la producción de hidrógeno fermentativo, pero más allá de la investigación y el desarrollo se requiere que el proceso sea económico para facilitar su implementación.

Sin embargo, existen otras preguntas por ejemplo: ¿Se pueden introducir nuevas rutas metabólicas para la completa extracción de protones del sustrato y su reducción a hidrógeno?

Para esto [35], plantea que una posible solución podría ser combinar la producción de hidrógeno fermentativo con una segunda etapa, en la cual los subproductos pueden emplearse para energía extra y/o recuperación de materiales ya sea a través de hidrógeno, biogás u otros productos de valor.

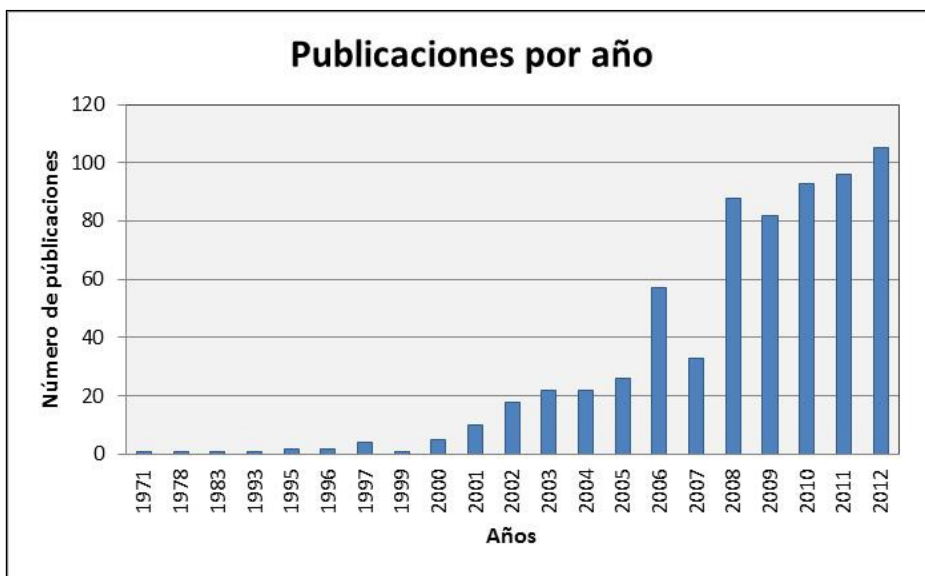
El futuro para una mayor eficiencia en la producción de hidrógeno fermentativo dependerá de realizar esfuerzos en: (a) identificar sustratos que sean más adecuados, (b) desarrollar métodos de pretratamiento más eficientes para la eliminación de bacterias homoacetogénicas consumidoras de H_2 , (c) aislar y/o desarrollar a través de alta ingeniería genética cepas productoras de hidrógeno, (d) identificar nuevas rutas metabólicas a través de la ingeniería genética en la cuales se produzca principalmente ácido acético y butírico, y no ácido láctico, propiónico y alcohol, (e) desarrollar una configuración de reactores optima, y (f) desarrollar estrategias de optimización de operación en relación con las condiciones ambientales (T, pH, TRH) de los reactores mediante la modelación.

La última pregunta que se debe plantear con el fin determinar la implementación de tecnologías de producción de hidrógeno fermentativo a gran escala debe ser: ¿Es económicamente factible la producción de hidrógeno fermentativo y su implementación es posible en el futuro?

Autores como [41], plantean que las bacterias productoras de hidrógeno en la fermentación oscura producen pequeñas cantidades de hidrógeno, generalmente menos del 30% de lo estimado estequiométricamente, por lo tanto a este nivel actualmente la producción de hidrógeno no es factible económicamente. Por lo tanto, resolver el problema de aumentar la producción de hidrógeno permitiría potencializar el uso de este combustible. Pero con los avances tecnológicos, la producción de biohidrógeno puede ser más económica, práctica y comercial haciendo de esta tecnología viable su implementación en el futuro.

Adicionalmente, al consultar 670 publicaciones en revistas especializadas en recursos energéticos se observa, en la última década, un especial interés por parte de la comunidad científica hacia el tema de producción de biohidrógeno como se observa en la Figura 4-1, y se espera que esta tendencia se mantenga dada las desventajas ambientales que ofrece el uso de los combustibles fósiles.

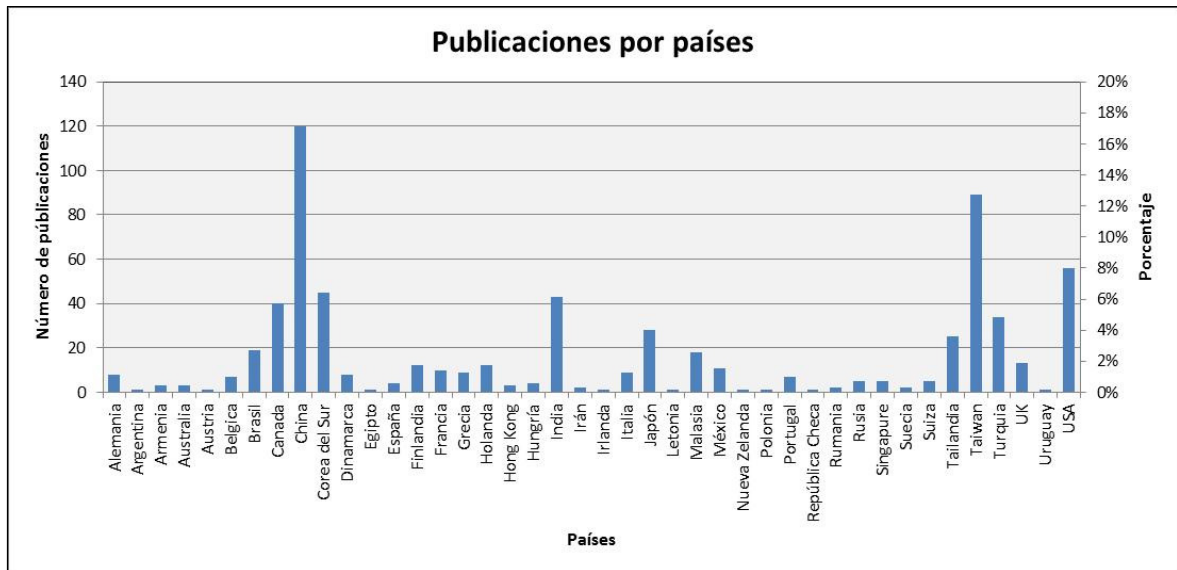
Figura 4-1: Publicaciones en biohidrógeno entre el periodo 1978-2012



Es interesante observar que el mayor interés en la investigación sobre producción de biohidrógeno se ha enfocado en China y Taiwán. En estos países se han realizado más del 30 por ciento de las publicaciones sobre este tema, tal como se muestra en la Figura 4-2. Asimismo es importante resaltar la escasa investigación desarrollada en los países de América Latina, donde prácticamente la totalidad se concentra en Brasil. Se espera

para el futuro un mayor interés en la región alrededor del tema de producción de biohidrógeno dada la dependencia actual de combustibles fósiles, el alto costo de los mismos y la poca oferta de fuentes energéticas alternativas lo cual podría ser un factor determinante en el crecimiento económico de la región.

Figura 4-2: Publicaciones de biohidrógeno por países



5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

A pesar de que la producción de biohidrógeno por fermentación oscura de residuos ha sido ampliamente investigada en los últimos años, aún quedan muchos aspectos por estudiar. En este documento se ha revisado una gran información sobre el proceso de producción, los factores que la afectan y se han planteado retos y perspectivas para su desarrollo futuro. En ese sentido se ha podido establecer, a manera de conclusiones, lo siguiente:

- Dado que los combustibles fósiles son altamente contaminantes y resulta indiscutible su eventual agotamiento, se cree que la energía del futuro podría estar ligada con el hidrógeno, debido a que es un combustible limpio y eficiente, con cero emisiones cuando se quema. Por esa razón la obtención de hidrógeno por procesos fermentativos es prometedora y su implementación dependerá de las mejoras que se realicen en la producción.
- Los registros revisados en las bases de datos de las revistas especializadas muestran un crecimiento continuo (48% anual promedio) en el número de artículos publicados sobre esta materia, lo cual refleja el interés existente en muchos países del mundo.
- Como no se ha obtenido aún la máxima producción teórica de hidrógeno se requiere efectuar nuevos estudios que incluyan la optimización de los parámetros asociados, el escalamiento de los reactores -preferiblemente con producción continua-, profundización en los estudios de la biología molecular y una mejor caracterización de las especies productoras.
- De acuerdo con las publicaciones encontradas, los países que están destinando mayores recursos humanos y técnicos para la investigación en la producción de hidrógeno son, en su orden: China, Taiwán, USA, Corea del Sur, India y Canadá.

Como era de esperarse, a nivel Latinoamericano solo Brasil y México están realizando algunos experimentos en este campo.

5.2 Recomendaciones

Con base en la información obtenida sobre el tema de producción de biohidrógeno, a través de la fermentación oscura de residuos, se presentan a continuación una serie de sugerencias que podrían contribuir a la formulación y desarrollo de investigaciones, a nivel del país, en esta temática:

- Se sugiere consultar el resumen de publicaciones revisadas que se presenta ordenada, cronológicamente, en el Anexo B, para quienes estén interesados en adelantar estudios o investigaciones sobre producción de hidrógeno por vía fermentativa.
- Es importante que en América Latina se promueva más investigación en energías renovables para así generar una diversidad de fuentes energéticas e independencia de los combustibles fósiles.
- Realizar experimentos en régimen batch en el cual se evalúe la producción de hidrógeno variando los diferentes factores (inóculo, pH, sustrato, temperatura, nutrientes) que la afectan, para obtener diferentes concentraciones del gas.
- Optimizar la producción de hidrógeno fermentativo empleando los resultados de la operación en régimen batch, es recomendable dada la complejidad de los procesos biológicos aplicar técnicas de modelamiento matemático avanzadas e. g. redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos o metodologías de búsqueda en superficie que permitan evaluar cómo interactúan todos estos factores en la producción de H_2 .
- Implementar un sistema piloto en régimen continuo y operar el sistema con los valores óptimos de producción que se obtengan de la modelación matemática para comprobar la eficiencia y factibilidad económica de la producción de hidrógeno.
- Elaborar propuestas para promover la financiación de proyectos de investigación en procesos biológicos de este tipo para la obtención de energías renovables y diversificar las fuentes convencionales actualmente en uso.

A. Anexo: Glosario

Acetato: Sal o éster del ácido etanoico o ácido acético. Las sales se forman por reacción del ácido acético con una base, generalmente un hidróxido metálico y los ésteres, por reacción del ácido acético con el alcohol.

Acetil-CoA: Compuesto esencial en numerosas transformaciones metabólicas. Participa en el ciclo cítrico, biosíntesis y degradación de ácidos grasos, biosíntesis de esteroides.

Acetogénesis: Proceso a través del cual bacterias anaerobias producen acetato a partir de diversas fuentes de energía e. g. hidrógeno y de carbono e. g. dióxido de carbono.

Ácido Butírico: Ácido monocarboxílico, saturado de cadena abierta con cuatro átomos de carbono.

ADP: Abreviatura de difosfato de adenosina.

Aerobio: Proceso bioquímico que requiere oxígeno libre. Se refiere a los microorganismos que requieren oxígeno libre en el medio ambiente para subsistir, en contraposición a los anaerobios que no lo necesitan en su metabolismo.

Amilasa: Enzima que hidroliza los enlaces 1,4 del almidón y del glucógeno originando azúcares. Son básicos en el metabolismo de los vegetales.

Aminoácido: Cada uno de los componentes que forman las estructuras moleculares de las proteínas. Químicamente son grupos orgánicos con uno o varios grupos amina (NH_2)

Anaerobio: Proceso bioquímico que no requiere oxígeno libre. Se refiere al organismo que vive solamente en ausencia de oxígeno.

Anóxico: Ambiente con muy poco nivel de oxígeno libre, o carente del mismo.

ATP: Adenosín Trifosfato, o Trifosfato de Adenosina, compuesto orgánico que actúa como portador de energía química en los sistemas biológicos, como la contracción muscular y para la síntesis de los compuestos orgánicos en plantas y animales.

Biohidrógeno: Hidrógeno obtenido a través de procesos biológicos e. g. biofotólisis, fermentación oscura y fotofermentación.

Carbohidrato: Compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno. Las principales clases son los almidones, azúcares y celulosa. Los almidones se descomponen, en los intestinos, en azúcares simples y estos últimos en glucosa, que es el azúcar típico que circula en la sangre y genera energía, según y cuando se requieren, por medio de su desintegración.

Coenzima: Molécula orgánica compleja que forma parte y es fundamental para la función de algunas enzimas.

DQO: Demanda Química de Oxígeno. Cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente la materia orgánica e inorgánica.

Electrólisis: Proceso en virtud del cual se descompone un compuesto en estado soluble, o derretido, haciendo pasar por él una corriente eléctrica.

Enzima: Macromolécula de naturaleza proteica que cataliza de forma específica reacciones bioquímicas muy variadas.

Fermentación: Cambios químicos en las sustancias orgánicas producidos por la acción de las enzimas. Conversión biológica anaerobia de las moléculas orgánicas, generalmente hidratos de carbono, en alcohol, ácido láctico y gases, mediante la acción de ciertas enzimas que actúan directamente o como componentes de ciertas bacterias.

Ferredoxina: Cada una de las proteínas, con uno o varios centros Fe-S, que participan en los procesos de transferencia de electrones.

Formiato: Cada una de las sales o esteres del ácido fórmico.

Glucosa: Glúcido simple de seis átomos de carbono, muy extendido en la naturaleza, que constituye la fuente principal de energía para los tejidos del organismo y tiene una función fundamental en el metabolismo de los animales.

Hidrogenaza: Proteína perteneciente al grupo de las enzimas que catalizan reacciones originalmente en los sistemas biológicos, en particular esta enzima favorece la degradación reversible del dihidrógeno transformándolo en dos átomos de hidrógeno separados cargados positivamente de tal manera que éste se encuentra listo para reaccionar con cualquier otro elemento con afinidad que se le presente.

Hidrógeno: Elemento químico presente en la naturaleza, especialmente formando el agua con el oxígeno. Es un gas inflamable, puede obtenerse por electrólisis del agua o por procesos biológicos biofotólisis, fotofermentación o fermentación oscura.

Hidrogenosulfuro: Anión ácido derivado del ácido sulfhídrico.

Hidrólisis: La causa de esta reacción es la presencia de iones de hidrógeno e iones de oxidrilo en el agua, y no una reacción química normal. Es un proceso mediante el cual se rompen los enlaces moleculares de los residuos agregando reactivos que pueden ser ácidos, bases o enzimas.

Hipertermofílico: Se dice de organismos unicelulares que viven a temperaturas superiores a los 100 °C.

Homoacetogénesis: Proceso anaerobio en el que el dióxido de carbono es el aceptor de electrones y que conserva la energía mediante fosforilación a nivel de sustrato y generación de fuerza motriz de iones.

Inóculo: Material utilizado para la inoculación de un medio, cultivo o animal; por lo general, está basado en una pequeña cantidad de microorganismos viables.

Lactato: Cada una de las sales o esteres del ácido láctico.

Lipasa: Enzimas que hidrolizan grasas a glicerina y ácidos grasos. Abundan en el páncreas.

Lípido: Grasa o sustancia similar relativamente insoluble en agua, pero soluble en los disolventes de las grasas como benceno, cloroformo, acetona.

Materia orgánica: Sustancia constituyente o procedente de los seres vivos

Mesófilo: Microorganismo que vive y se reproduce a temperaturas moderadas, comprendidas entre 25 y 40 °C.

Metanogénesis: Biosíntesis de metano por bacterias metanogénicas.

Oleato: Cada una de las sales o esteres del ácido oleico.

Peptona: Producto de degradación enzimática de los proteidos.

Piruvato: Producto de la glucólisis, la deshidrogenación del lactato y la ruptura de ciertos aminoácidos glucogénicos.

Polisacárido: Polímero compuesto por muchas unidades de monosacáridos unidas en una larga cadena, como el glucógeno, el almidón y la celulosa.

Proteasa: Enzima que hidroliza las uniones peptídicas, dando péptidos y proteínas.

Proteína: Alto polímero complejo que contiene carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre, formado por cadenas de aminoácidos unidas por enlaces peptídicos.

Sacarosa: Azúcar muy común en las plantas, especialmente en la caña de azúcar y en la remolacha. Su molécula está formada por la unión de dos azúcares simples, la glucosa y la fructosa.

Sintrófico: Colaboración de varias especies para realizar una acción química que, de otra forma, sería desfavorable energéticamente.

Sustrato: Medio de soporte de una biocenosis.

Termófilo: Se refiere a los microorganismos cuya temperatura óptima es superior a los 45 °C.

Xenobiótico: Término empleado para las sustancias hechas por el hombre, que no ocurren naturalmente y que se encuentran en el medio ambiente.

Xilosa: Peptona resultante tras la hidrólisis ácida de la madera.

Tomado de [37-38]

B. Anexo: Base de datos de artículos de biohidrógeno

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
01	Pyruvate-Ferredoxin Oxidoreductase	Uyeda K.	The Journal of Biological Chemistry	246	3120-3125	1971	USA
02	Microbial degradation of the water-soluble fraction of gas oil-I	Kappeler T.	Water Research	12	327-333	1978	Suiza
03	Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment	Speece R.	Environmental Science and Technology	17	416-427	1983	USA
04	Fundamental studies on hydrogen production in the acid-forming phase and its bacteria in anaerobic treatment processes - the effects of solids retention times	Nakamura M.	Water Science and Technology	28	81-88	1993	Japón
05	Anaerobic digestion and wastewater treatment systems	Lettinga G.	Antonie van Leeuwenhoek	67	3-28	1995	Holanda
06	Biological production of hydrogen from cellulose by natural anaerobic microflora	Ueno Y.	Journal of Fermentation and Bioengineering	79	395-397	1995	Japón
07	Modification of biochemical pathways in industrial yeasts	Hansen J.	Journal of Biotechnology	49	1-12	1996	Dinamarca
08	Hydrogen production from industrial wastewater by anaerobic microflora in chemostat culture	Ueno Y.	Journal of Fermentation and Bioengineering	82	194-197	1996	Japón
09	Hydrogen production from inhibited anaerobic composters	Sparling R.	International Journal of Hydrogen Energy	22	563-566	1997	Canadá
10	Hydrogen production in a high rate fluidised bed anaerobic digester	Guwy A.	Water Research	31	1291-1298	1997	Italia
11	Hydrogen gas production from glucose and its microbial kinetics in anaerobic systems	Majizat A.	Water Science and Technology	36	279-286	1997	Japón
12	Studies on hydrogen production by continuous culture system of hydrogen-producing anaerobic bacteria	Kataoka N.	Water Science and Technology	36	41-47	1997	Japón
13	Feasibility of biological hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste	Lay J.	Water Research	33	2579-2586	1999	Japón
14	Hydrogen production by methanogens under low-hydrogen conditions	Valentine D.	Archives of Microbiology	174	415-421	2000	USA
15	Enhancement of hydrogen production from glucose by nitrogen gas sparging	Mizuno O.	Bioresource Technology	73	59-65	2000	UK
16	Enzymatic production of biohydrogen	Woodward J.	Nature	405	1014-1015	2000	USA
17	Biological hydrogen potential of materials characteristic of the organic fraction of municipal solid wastes	Okamoto M.	Water Science and Technology	41	25-32	2000	Japón
18	Characteristics of hydrogen production from bean curd	Mizuno O.	Water Science and	42	345-	2000	Japón

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	manufacturing waste by anaerobic microflora		Technology		350		
19	Microbial community in anaerobic hydrogen-producing microflora enriched from sludge compost	Ueno Y.	Appl Microbiol Biotechnol	57	555-562	2001	Japón
20	Kinetics of hydrogen production with continuous anaerobic cultures utilizing sucrose as the limiting substrate	Chen C.	Appl Microbiol Biotechnol	57	56-64	2001	China
21	Effect of iron concentration on hydrogen fermentation	Joon Y.	Bioresource Technology	80	227-231	2001	Corea del Sur
22	Hydrogen production by four cultures with participation by anoxygenic phototrophic bacterium and anaerobic bacterium in the presence of NH ₄ ⁺	Zhu H.	International Journal of Hydrogen Energy	26	1149-1154	2001	China
23	Hydrogen production by biological processes: a survey of literature	Das D.	International Journal of Hydrogen Energy	26	13-28	2001	India
24	Long-term environmental and socio-economic impact of hydrogen energy program in Brazil	Carmo L.	International Journal of Hydrogen Energy	26	39-45	2001	Brasil
25	Hydrogen production from organic waste	Nielsen A.	International Journal of Hydrogen Energy	26	547-550	2001	Suecia
26	Hydrogen engine-specific properties	Verhelst S.	International Journal of Hydrogen Energy	26	987-990	2001	Bélgica
27	Renewable energy systems based on hydrogen for remote applications	Agbossou K.	Journal of Power Sources	96	168-172	2001	Canadá
28	Hydrogen production in anaerobic reactors during shock loads-influence of formate production and H ₂ kinetics	Voolapalli R.	Water Research	35	1831-1841	2001	UK
29	Effect of pH on hydrogen production from glucose by a mixed culture	Fang H.	Bioresource Technology	82	87-93	2002	Hong Kong
30	Biological hydrogen production measured in batch anaerobic respirometers	Logan B.	Environmental Science and Technology	36	2530-2535	2002	Corea del Sur
31	Pathways to a more sustainable production of energy: sustainable hydrogen-a research objective for Shell	Gosselink J.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1125-1129	2002	Holanda
32	Energy aspects of biological hydrogen production in high rate bioreactors operated in the thermophilic temperature range	Groenestijn J.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1141-1147	2002	Holanda
33	Lab-scale bioreactor integrated with active membrane system for hydrogen production: experience and prospects	Tepliyakov V.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1149-1155	2002	Rusia
34	Biohydrogen production with fixed-bed bioreactors	Chang J.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1167-1174	2002	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
35	Biological hydrogen production: fundamentals and limiting processes	Hallenbeck P.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1185-1193	2002	Canadá
36	Photobiological hydrogen production: photochemical efficiency and bioreactor desing	Akkerman I.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1195-1208	2002	Holanda
37	Aspects of the metabolism of hydrogen production by Rhodobacter sphaeroides	Koku H.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1315-1329	2002	Turquía
38	Sustainable fermentative hydrogen production: challenges for process optimisation	Hawkes F.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1339-1347	2002	UK
39	Hydrogen production as a novel process of wastewater treatment-studies on tofu wastewater with entrapped R. sphaeroides and mutagenesis	Zhu H.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1349-1357	2002	China
40	Hydrogen production from rice winery wastewater in an upflow anaerobic reactor by using mixed anaerobic cultures	Yu H.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1359-1365	2002	China
41	How bacteria get energy from hydrogen: a genetic analysis of periplasmic hydrogen oxiditation in Escherichia coli	Dubini A.	International Journal of Hydrogen Energy	27	1413-1420	2002	UK
42	Production, storage and transportation of liquid hydrogen. Experience of infrastructure development and operation	Domashenko A.	International Journal of Hydrogen Energy	27	753-755	2002	Rusia
43	Future prospects for production of methanol and hydrogen from biomass	Hamelinck C.	Journal of Power Sources	111	1-22	2002	Holanda
44	Harnessing microbially generated power on the seafloor	Tender L.	Nature Biotechnology	20	821-825	2002	USA
45	Current satus of hydrogen energy	Momirlan M.	Renewable and Sustainable Energy Reviews	6	141-179	2002	Rumania
46	Hydrogen production from wastewater by acidogenic granular sludge	Liu H.	Water Sciencie and Techology	47	153-158	2002	Hong Kong
47	Using sucrose as a substrate in an anaerobic hydrogen-producing reactor	Chen C.	Advances in Enviromental Research	7	695-699	2003	Taiwán
48	H ₂ production with anaerobic sludge using activated-carbon supported packed-bed bioreactors	Lee K.	Biotechnology Letters	25	133-138	2003	Taiwán
49	Mycrobial hydrogen production with immobilized sewage sluge	Wu S.	Biotechnology Progress	18	921-926	2003	China
50	Hydrogen production with immobilized sewage sluge in three-phase fluidized-bed bioreactors	Wu S.	Biotechnology Progress	19	828-832	2003	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
51	The relative effectiveness of pH control and heat treatment for enhancing biohydrogen gas production	Oh S.	Environmental Science and Technology	37	5186-5190	2003	USA
52	Fermentative biohydrogen production by a new chemoheterotrophic bacterium <i>Citrobacter</i> sp. Y19	Oh Y.	International Journal of Hydrogen Energy	28	1353-1359	2003	Corea del Sur
53	Influence of chemical nature of organic wastes on their conversion to hydrogen by heat-shock digested sludge	Lay J.	International Journal of Hydrogen Energy	28	1361-1367	2003	Taiwán
54	An experimental study of controlling strategies and drive forces for hydrogen fuel cell hybrid vehicles	Seok Hyun	International Journal of Hydrogen Energy	28	215-222	2003	Corea del Sur
55	Hydrogen production from glucose used as a model compound of biomass gasified in supercritical water	Hao X.	International Journal of Hydrogen Energy	28	55-64	2003	China
56	Full fuel cycles and market potenciales of future passenger car propulsion systems	Linssen J.	International Journal of Hydrogen Energy	28	735-741	2003	Alemania
57	Potencial in New Zealand for use of hydrogen as a transportation fuel	Kruger P.	International Journal of Hydrogen Energy	28	795-802	2003	Nueva Zelanda
58	A consideration of the economic efficiency of hydrogen production from biomass	Iwasaki W.	International Journal of Hydrogen Energy	28	939-944	2003	Japón
59	Biohydrogen production from starch in wastewater under thermophilic condition	Zhang T.	Journal of Environmental Management	69	149-156	2003	China
60	Bacterial batteries	Scholz F.	Nature Biotechnology	21	1151-1152	2003	Alemania
61	Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediatorless microbial fuel cells	Chaudhuri S.	Nature Biotechnology	21	1229-1232	2003	USA
62	A simple energy-conserving system: proton reduction coupled to proton translocation	Sapra R.	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	100	7545-7550	2003	Armenia
63	Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies	MacLean H.	Progress in Energy and Combustion Science	29	1-69	2003	Canadá
64	Potencial environmental impact of a hydrogen economy on the stratosphere	Tromp T.	Science	300	1740-1742	2003	USA
65	The hydrogen economy, fuel cells, and electric cars	Shinnar R.	Technology in society	25	455-476	2003	USA
66	Mining genomic databases to identify novel hydrogen producers	Kalia V.	Trends in Biotechnology	21	152-156	2003	India
67	Using filtrate of waste biosolids to effectively produce biohydrogen by anaerobic fermentation	Wang C.	Water Research	37	2789-2793	2003	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
68	High-rate anaerobic hydrolysis and acidogenesis of sewage sludge in a modified upflow reactor	Yu H.	Water Science and Technology	48	69-75	2003	China
69	Optimization of initial substrate and pH levels for germination of sporing hydrogen-producing anaerobes in cow dung compost	Fan Y.	Bioresource Technology	91	189-193	2004	China
70	Performance and characteristics of an anaerobic baffled reactor	Wang J.	Bioresource Technology	93	205-208	2004	China
71	Study on hydrogen production with hysteresis in UASB	Huang G.	Chemosphere	54	815-821	2004	Taiwán
72	Biological hydrogen production: effects of pH and intermediate products	Kumar S.	International Journal of Hydrogen Energy	29	1123-1131	2004	USA
73	Effect of low pH on the activity of hydrogen utilizing methanogen in bio-hydrogen process	Kim I.	International Journal of Hydrogen Energy	29	1133-1140	2004	Corea del Sur
74	A hydrogen utopia?	Cherry R.	International Journal of Hydrogen Energy	29	125-129	2004	USA
75	Sustainability assessment of hydrogen energy systems	Afgan N.	International Journal of Hydrogen Energy	29	1327-1342	2004	Portugal
76	Hydrogen production from food waste in anaerobic mesophilic and thermophilic acidogenesis	Shin H.	International Journal of Hydrogen Energy	29	1355-1363	2004	Corea del Sur
77	Life cycle assessment of hydrogen fuel production processes	Koroneos C.	International Journal of Hydrogen Energy	29	1443-1450	2004	Grecia
78	Hydrogen production by <i>Clostridium thermolacticum</i> during continuous fermentation of lactose	Collet C.	International Journal of Hydrogen Energy	29	1479-1485	2004	Suiza
79	Feasibility of biohydrogen production by anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge	Kim S.	International Journal of Hydrogen Energy	29	1607-1616	2004	Corea del Sur
80	Biohydrogen production: prospects and limitations to practical application	Levin D.	International Journal of Hydrogen Energy	29	173-185	2004	Canadá
81	Effects of carbonate and phosphate concentrations on hydrogen production using anaerobic sewage sludge microflora	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	29	275-281	2004	Taiwán
82	Enhanced hydrogen production from indirectly heated, gasified biomass, and removal of carbon gas emissions using a novel biological gas reformer	Mérida W.	International Journal of Hydrogen Energy	29	283-290	2004	Canadá
83	Biohydrogen production using an up-flow anaerobic sludge blanket reactor	Chang F.	International Journal of Hydrogen Energy	29	33-39	2004	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
84	Carbon/nitrogen-ratio effect on fermentative hydrogen production by mixed microflora	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	29	41-45	2004	Taiwán
85	Biohydrogen production by anaerobic fermentation of food waste	Han S.	International Journal of Hydrogen Energy	29	569-577	2004	Corea del Sur
86	Fundamental design of a continuous biomass gasification process using a supercritical water fluidized bed	Matsumura Y.	International Journal of Hydrogen Energy	29	701-707	2004	Japón
87	Biological production of hydrogen from glucose by natural anaerobic microflora	Morimoto M.	International Journal of Hydrogen Energy	29	709-713	2004	Malasia
88	Fermentative hydrogen production at ambient temperature	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	29	715-720	2004	Taiwán
89	Anaerobic bio-hydrogen production from ethanol fermentation: the rol of pH	Hwang M.	Journal of Biotechnology	111	297-309	2004	Corea del Sur
90	Performance of an Innovative Two-Stage Process Converting Food Waste to Hydrogen and Methane	Han S.	Journal of the Air & Waste Management Association	54	242-249	2004	Corea del Sur
91	Eukaryotic Fe-hydrogenases – old eukaryotic heritage or adaptive acquisitions?	Hackstein J.	Biochemical Society Transactions	33	47-50	2005	Holanda
92	Hydrogen generation via anaerobic fermentation of paper mill wastes	Valdez I.	Bioresource Technology	96	1907-1913	2005	México
93	A hydrogen economy: opportunities and challenges	Tseng P.	Energy	30	2703-2720	2005	USA
94	Acúmulo de ácidos graxos valáteis (AVGs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle	De Aquino S.	Engeneria Sanitaria Ambiental	10	152-161	2005	Brasil
95	Fermentative hydrogen production with Clostridium butyricum CGS5 isolated from anaerobicsewage sludge	Chen W.	International Journal of Hydrogen Energy	30	1063-1070	2005	Taiwán
96	Electricity, hydrogen-competitors, partners?	Winter C.	International Journal of Hydrogen Energy	30	1371-1374	2005	Alemania
97	Biohydrogen production with anaerobic sludge immobilized by ethylene-vinyl acetate copolymer	Wu S.	International Journal of Hydrogen Energy	30	1375-1381	2005	Taiwán
98	Semi-continuous solid substrate anaerobic reactors for H ₂ production from organic waste: Mesophilic versus thermophilic regime	Valdez I.	International Journal of Hydrogen Energy	30	1383-1391	2005	México
99	Fed batch production of hydrogen from palm oil mill effluent using anaerobic microflora	Atif A.	International Journal of Hydrogen Energy	30	1393-1397	2005	Malasia
100	Biohydrogen gas production from food processing and domestic wastewaters	Van S.	International Journal of Hydrogen Energy	30	1535-1542	2005	USA

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
101	A nutrient formulation for fermentative hydrogen production using anaerobic sewage sludge microflora	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	30	285-292	2005	Taiwán
102	Continuous fermentative hydrogen production from sucrose and sugarbeet	Hussy I.	International Journal of Hydrogen Energy	30	471-483	2005	UK
103	Hydrogen as fuel: a critical technology?	Baykara S.	International Journal of Hydrogen Energy	30	545-553	2005	Turquía
104	Phototrophic hydrogen production from acetate and butyrate in wastewater	Fang H.	International Journal of Hydrogen Energy	30	785-793	2005	China
105	Hydrogen production in batch culture of mixed bacteria with sucrose under different iron concentrations	Zhang J.	International Journal of Hydrogen Energy	30	855-860	2005	China
106	Towards a viable hydrogen storage system for transportation application	Luo W.	Journal of Alloys and Compounds	406	392-395	2005	USA
107	Influence of initial pH on hydrogen production from cheese whey	Ferchichi M.	Journal of Biotechnology	120	402-409	2005	Canadá
108	Inhibitory effects of butyrate on biological hydrogen production with mixed anaerobic cultures	Zheng X.	Journal of Enviromental Management	74	65-70	2005	China
109	An overview of advanced materials of hydrogen storage	David E.	Journal of Materials Processing Technology	162	169-177	2005	Rumania
110	An anaerobic mitochondrion that produces hydrogen	Boxma B.	Nature	434	74-79	2005	Holanda
111	Estruturacao da economia do hidrogenio no Brasil	Silva M.	Parcerias Estratégicas	20	755-780	2005	Brasil
112	Comparison of the performance of three different reactors for biohydrogen production via dark anaerobic fermentations	Camilli M.	Proceedings International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC			2005	Italia
113	Progress and problems in hydrogen storage methods	Zhou L.	Renewable and Sustainable Energy Reviews	9	395-408	2005	China
114	Safety of compressed hydrogen fuel tanks: leakage from stationary vehicles	Utgikar V.	Technology in society	27	315-320	2005	USA
115	Effect of inoculum conditioning on hydrogen fermentation and pH effect on bacterial community relevant to hydrogen production	Kawagoshi Y.	The Society for Biotechnology	100	524-530	2005	Japón
116	Increased biological hydrogen production with reduced organic loading	Van S.	Water Research	39	3819-3826	2005	USA

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
117	Enhanced hydrogen production from glucose using ldh- and frd-inactivated Escherichia coli strains	Yoshida A.	Appl Microbiol Biotechnol	73	67-72	2006	Japón
118	The effects of operational and environmental variations on anaerobic wastewater treatment systems: A review	Carrhá R.	Bioresource Technology	97	1105-1118	2006	Brasil
119	Biohydrogen production in granular up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors with mixed cultures under hyper-thermophilic temperature (70°C)	Kotsopoulos T.	Biotechnology and Bioengineering	94	296-302	2006	Dinamarca
120	CO ₂ capture from air and co-production of H ₂ via the Ca(OH) ₂ -CaCO ₃ cycle using concentrated solar power-Thermodynamic analysis	Nikulshina V.	Energy	31	1379-1389	2006	Suiza
121	Forecasts, scenarios, visions, backcasts and roadmaps to the hydrogen economy: A review of the hydrogen futures literature	McDowall W.	Energy Policy	34	1236-1250	2006	UK
122	The car and fuel of the future	Romm J.	Energy Policy	34	2609-2614	2006	USA
123	Outlook for advanced biofuels	Hamelinck C.	Energy Policy	34	3268-3283	2006	Holanda
124	Penetration of hydrogen-based energy system and its potential for causing global environmental change: scoping risk analysis based on life cycle thinking	Kikuchi R.	Environmental Impact Assessment Review	26	206-218	2006	Portugal
125	The microbiology and biochemistry of anaerobic bioreactors with relevance to domestic sewage treatment	O'Flaherty V.	Environmental Science and Bio/Technology	5	39-55	2006	Irlanda
126	Butyric acid and hydrogen production by Clostridium tyrobutyricum ATCC 25755 and mutants	Liu X.	Enzyme and Microbial Technology	38	521-528	2006	USA
127	Biological hydrogen production in suspended and attached growth anaerobic reactor systems	Gavala H.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1164-1175	2006	Dinamarca
128	Biohydrogen generation from palm oil mill effluent using anaerobic contact filter	Vijayaragha van K.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1284-1291	2006	Malasia
129	Continuous bio-hydrogen production from citric acidwastewater via facultative anaerobic bacteria	Yang H.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1306-1313	2006	China
130	Hydrogen production and transcriptional analysis of nifD, nifK and hupS genes in Rhodobacter sphaeroides O.U.001 grown in media with different concentrations of molybdenum and iron	Kars G.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1356-1544	2006	Turquía
131	Monitoring bioactivity in hydrogen fermentation by an amperometric method with polyviologen modified working	Bai M.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1357-1364	2006	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	electrode						
132	Hyperthermostable and oxygen resistant hydrogenases from a hyperthermophilic bacterium <i>Aquifex aeolicus</i> : Physicochemical properties	Guiral M.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1424-1431	2006	Francia
133	Biological hydrogen activation is cooperative: One H ₂ activates the dinuclear center and a second H ₂ is oxidized	Haaster D.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1432-1438	2006	Holanda
134	The bidirectional hydrogenase in the cyanobacterium <i>Synechocystis</i> sp. strain PCC 6803	Antal T.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1439-1444	2006	Suecia
135	Metal dependence and intracellular regulation of the bidirectional NiFe-hydrogenase in <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	Gutekunst K.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1452-1459	2006	Alemania
136	A novel approach for biohydrogen production	Kovács K.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1460-1468	2006	Hungría
137	Genes involved in the maturation of hydrogenase(s) in the nonheterocystous cyanobacterium <i>Lyngbya majuscula</i> CCAP1446/4	Leitão E.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1469-1477	2006	Portugal
138	Increasing biohydrogen production by metabolic engineering	Vignais P.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1478-1483	2006	Francia
139	Integration of biohydrogen fermentation and gas separation processes to recover and enrich hydrogen	Bélafi-Bakó K.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1490-1495	2006	Hungría
140	Hydrogen production by <i>Clostridium thermocellum</i> 27405 from cellulosic biomass substrates	Levin D.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1496-1503	2006	Canadá
141	The effect of nutrient limitation on hydrogen production by batch cultures of <i>Escherichia coli</i>	Bisaillon A.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1504-1508	2006	Canadá
142	A two-stage, two-organism process for biohydrogen from glucose	Redwood M.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1514-1521	2006	UK
143	Biological hydrogen production from olive millwastewater with two-stage processes	Eroglu E.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1527-1535	2006	Turquía
144	Integrated biological hydrogen production	Melis A.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1563-1573	2006	USA
145	Continuous production of hydrogen from mixed volatile fatty acids with <i>Rhodospseudomonas capsulata</i>	Shi X.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1641-1647	2006	China
146	Improving biohydrogen production in a carrier-induced granular sludge bed by altering physical configuration and agitation pattern of the bioreactor	Lee K.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1648-1657	2006	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
147	Evaluation of alternative methods of preparing hydrogen producing seeds from digested wastewater sludge	Zhu H.	International Journal of Hydrogen Energy	31	1980-1988	2006	Canadá
148	Effect of ferrous iron concentration on anaerobic bio-hydrogen production from soluble starch	Yang H.	International Journal of Hydrogen Energy	31	2137-2146	2006	China
149	Biohydrogen production from molasses by anaerobic fermentation with a pilot-scale bioreactor system	Ren N.	International Journal of Hydrogen Energy	31	2147-2157	2006	China
150	Biohydrogen production from molasses by anaerobic fermentation with a pilot-scale bioreactor system	Ren N.	International Journal of Hydrogen Energy	31	2147-2157	2006	China
151	Effect of gas sparging on continuous fermentative hydrogen production	Kim D.	International Journal of Hydrogen Energy	31	2158-2169	2006	Corea del Sur
152	Kinetic study of biological hydrogen production by anaerobic fermentation	Chen W.	International Journal of Hydrogen Energy	31	2170-2178	2006	USA
153	Fermentative hydrogen production with a draft tube fluidized bed reactor containing silicone-gel-immobilized anaerobic sludge	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	31	2200-2210	2006	Taiwán
154	Phototrophic hydrogen production from glucose by pure and co-cultures of <i>Clostridium butyricum</i> and <i>Rhodobacter sphaeroides</i>	Fang H.	International Journal of Hydrogen Energy	31	2223-2230	2006	China
155	Effect of temperature and iron concentration on the growth and hydrogen production of mixed bacteria	Zhang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	31	441-446	2006	China
156	Temperature effects on biohydrogen production in a granular sludge bed induced by activated carbon carriers	Lee K.	International Journal of Hydrogen Energy	31	465-472	2006	Taiwán
157	Stoichiometric analysis of biological hydrogen production by fermentative bacteria	Chen X.	International Journal of Hydrogen Energy	31	539-549	2006	China
158	Biohydrogen generation from jackfruit peel using anaerobic contact filter	Vijayaragha van K.	International Journal of Hydrogen Energy	31	569-579	2006	Malasia
159	Acidophilic biohydrogen production from rice slurry	Fang H.	International Journal of Hydrogen Energy	31	683-692	2006	China
160	Isolation of hydrogen generating microflora from cowdung for seeding anaerobic digester	Vijayaragha van K.	International Journal of Hydrogen Energy	31	708-720	2006	Malasia
161	Biological hydrogen production by anaerobic sludge at various temperatures	Mu Y.	International Journal of Hydrogen Energy	31	780-785	2006	USA
162	Hydrogen production from <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> biomass using a two-step conversion process: Anaerobic conversion and photosynthetic fermentation	Kim M.	International Journal of Hydrogen Energy	31	812-816	2006	Corea del Sur
163	Fermentative hydrogen production from xylose using	Lin C.	International Journal of	31	832-	2006	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	anaerobic mixed microflora		Hydrogen Energy		840		
164	Sulfate effect on fermentative hydrogen production using anaerobic mixed microflora	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	31	953-960	2006	Taiwán
165	Economic and enviromental comparison of conventional, hybrid, electric and hydrogen fuel cell vehicles	Granovskii M.	Journal of Power Sources	159	1186-1193	2006	Canadá
166	Designing a gradual transition to a hydrogen economy in Spain	Brey J.	Journal of Power Sources	159	1231-1240	2006	España
167	Fermentative conversion of sucrose and pineapple waste into hydrogen gas in phosphate-buffered culture seeded with municipal sewage sludge	Wang C.	Process Biochemistry	41	1353-1358	2006	Taiwán
168	Effects of initial cultivation pH on fermentative hydrogen production from xylose using natural mixed cultures	Lin C.	Process Biochemistry	41	1383-1390	2006	Taiwán
169	Acidogenesis characteristics of natural, mixed anaerobes converting carbohydrate-rich synthetic wastewater to hydrogen	Cheong D.	Process Biochemistry	41	1736-1745	2006	USA
170	Biohydrogen production from sucrose using base-enriched anaerobic mixed microflora	Lin C.	Process Biochemistry	41	915-919	2006	Taiwán
171	Functions and metabolism of sphingolipids in <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Dickson R.	Progress in Lipid Research	45	447-465	2006	USA
172	Hydrogen and methane production from household solid waste in the two-stage fermentation process	Liu D.	Water Research	40	2230-2236	2006	Dinamarca
173	Biological hydrogen production by <i>Clostridium acetobutylicum</i> in an unsaturated flow reactor	Zhang H.	Water Research	40	728-734	2006	USA
174	Assessing optimal fermentation type for bio-hydrogen production in continuous-flow acidogenic reactors	Ren N.	Bioresource Technology	98	1774-1780	2007	China
175	Production of hydrogen and methane from organic solid wastes by phase-separation of anaerobic process	Ueno Y.	Bioresource Technology	98	1861-1865	2007	Japón
176	Production of bio-hydrogen by mesophilic anaerobic fermentation in an acid-phase sequencing batch reactor	Cheong D.	Biotechnology and Bioengineering	96	421-432	2007	USA
177	The effect of citric acid and pH on growth and metabolism of anaerobic <i>Saccharomyces cerevisiae</i> and <i>Zygosaccharomyces bailii</i> cultures	Nielsen M.	Food Microbiology	24	101-105	2007	Dinamarca
178	Comparative performance of two upflow anaerobic biohydrogen-producing reactors seeded with different sludges	Wang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	32	1086-1094	2007	China

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
179	Continuous dark fermentative hydrogen production by mesophilic microflora: Principles and progress	Hawkes F.	International Journal of Hydrogen Energy	32	172-184	2007	UK
180	Enhancement effect of gold nanoparticles on biohydrogen production from artificial wastewater	Zhang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	32	17-23	2007	China
181	Biological hydrogen production of the genus <i>Clostridium</i> : metabolic study and mathematical model simulation	Lin P.	International Journal of Hydrogen Energy	32	1728-1735	2007	Taiwán
182	Biological hydrogen production of the genus <i>Clostridium</i> : Metabolic study and mathematical model simulation	Lin P.	International Journal of Hydrogen Energy	32	1728-1735	2007	Taiwán
183	Experimental verification of various methods for biological hydrogen production	Ust'ak S.	International Journal of Hydrogen Energy	32	1736-1741	2007	República Checa
184	Biological hydrogen production from steam-exploded straw by simultaneous saccharification and fermentation	Li D.	International Journal of Hydrogen Energy	32	1742-1748	2007	China
185	Biohydrogen production in a granular activated carbon anaerobic fluidized bed reactor	Zhang Z.	International Journal of Hydrogen Energy	32	185-191	2007	Singapore
186	Fermentative hydrogen production by the newly isolated <i>Enterobacter asburiae</i> SNU-1	Shin H.	International Journal of Hydrogen Energy	32	192-199	2007	Corea del Sur
187	High hydrogen yield from a two-step process of dark- and photo-fermentation of sucrose	Tao Y.	International Journal of Hydrogen Energy	32	200-206	2007	China
188	Biohydrogen production from chemical wastewater as substrate by selectively enriched anaerobic mixed consortia: Influence of fermentation pH and substrate composition	Venkana S.	International Journal of Hydrogen Energy	32	2286-2295	2007	India
189	Production of hydrogen from domestic wastewater using a bioelectrochemically assisted microbial reactor (BEAMR)	Ditzig J.	International Journal of Hydrogen Energy	32	2296-2304	2007	USA
190	Comparison of two anaerobic systems for hydrogen production from the organic fraction of municipal solidwaste and synthetic wastewater	Alzate L.	International Journal of Hydrogen Energy	32	3141-3146	2007	México
191	Pretreatment of methanogenic granules for immobilized hydrogen fermentation	Hu B.	International Journal of Hydrogen Energy	32	3266-3273	2007	USA
192	Hydrogen production from diluted molasses by anaerobic hydrogen producing bacteria in an anaerobic baffled reactor (ABR)	Li J.	International Journal of Hydrogen Energy	32	3274-3283	2007	China
193	Enhancing biohydrogen production from chemical wastewater treatment in anaerobic sequencing batch biofilm reactor (AnSBBR) by bioaugmenting with selectively enriched kanamycin resistant anaerobic mixed	Venkana S.	International Journal of Hydrogen Energy	32	3284-3292	2007	India

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	consortia						
194	Simulation of biological hydrogen production in aUASB reactor using neural network and genetic algorithm	Mu Y.	International Journal of Hydrogen Energy	32	3308-3314	2007	China
195	Feasibility study on fermentative conversion of rawand hydrolyzed starch to hydrogen using anaerobic mixed microflora	Wang C.	International Journal of Hydrogen Energy	32	3849-3859	2007	Taiwán
196	Production of hydrogen in a granular sludge-based anaerobic continuous stirred tank reactor	Show K.	International Journal of Hydrogen Energy	32	4744-4753	2007	Malasia
197	Biohydrogen production from cheese processing wastewater by anaerobic fermentation using mixed microbial communities	Yang P.	International Journal of Hydrogen Energy	32	4761-4771	2007	USA
198	Hydrogen production from waste activated sludge by using separation membrane acid fermentation reactor and photosynthetic reactor	Jeong T.	International Journal of Hydrogen Energy	32	525-530	2007	Corea del Sur
199	Production of hydrogen and methane from wastewater sludge using anaerobic fermentation	Ting C.	International Journal of Hydrogen Energy	32	677-682	2007	Taiwán
200	Hydrogen and electrical energy from organic waste treatment	Duerr M.	International Journal of Hydrogen Energy	32	705-709	2007	UK
201	Ecological mechanism of fermentative hydrogen production by bacteria	Li Y.	International Journal of Hydrogen Energy	32	755-760	2007	China
202	Ecological mechanism of fermentative hydrogen production by bacteria	Feng Y.	International Journal of Hydrogen Energy	32	755-760	2007	China
203	Integration of fermentative hydrogen process and fuel cell for on-line electricity generation	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	32	802-808	2007	Taiwán
204	Hydrogen production from the fermentation of corn stover biomass pretreated with a steam-explosion process	Datar R.	International Journal of Hydrogen Energy	32	932-939	2007	USA
205	Continuous hydrogen production by anaerobic mixed microflora using a hollow-fiber microfiltration membrane bioreactor	Lee K.	International Journal of Hydrogen Energy	32	950-957	2007	Taiwán
206	Sludge characteristics in anaerobic SBR system producing hydrogen gas	Arooj M.	Water Research	41	1177-1184	2007	Corea del Sur
207	Biohydrogen production from glucose in upflow biofilm reactors with plastic carriers under extreme thermophilic conditions (70°C)	Zheng H.	Biotechnology and Bioengineering	100	1034-1038	2008	China
208	Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and	Demirbas A.	Energy Conversion and	49	2106-	2008	Turquía

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	global biofuel projections		Management		2116		
209	Hydrogen production from sugars and sweet sorghum biomass using <i>Ruminococcus albus</i>	Ntaikou I.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1153-1163	2008	Grecia
210	Biohydrogen production with mixed anaerobic cultures in the presence of high-concentration acetate	Wang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1164-1171	2008	China
211	Kinetics of two-stage fermentation process for the production of hydrogen	Nath K.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1195-1203	2008	India
212	Thermophilic fermentative hydrogen production by the newly isolated <i>Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum</i> PSU-2	O-Thong S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1204-1214	2008	Dinamarca
213	Effect of Fe ²⁺ concentration on fermentative hydrogen production by mixed cultures	Wang J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1215-1220	2008	China
214	Optimization of simultaneous thermophilic fermentative hydrogen production and COD reduction from palm oil mill effluent by <i>Thermoanaerobacterium</i> -rich sludge	O-Thong S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1221-1231	2008	Tailandia
215	Hydrogen production by continuous cultures of <i>Escherichia coli</i> under different nutrient regimes	Turcot J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1465-1470	2008	Canadá
216	Optimization of hydrogen production by hyperthermophilic eubacteria, <i>Thermotoga maritima</i> and <i>Thermotoga neapolitana</i> in batch fermentation	Nguyen T.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1483-1488	2008	Corea del Sur
217	Process performance evaluation of intermittent–continuous stirred tank reactor for anaerobic hydrogen fermentation with kitchen waste	Li S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1522-1531	2008	Taiwán
218	Start-up strategy for continuous fermentative hydrogen production: Early switchover from batch to continuous operation	Kim D.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1532-1541	2008	Corea del Sur
219	HRT-dependent hydrogen production and bacterial community structure of mixed anaerobic microflora in suspended, granular and immobilized sludge systems using glucose as the carbon substrate	Wu S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1542-1549	2008	Taiwán
220	Pilot study of the influence of stirring and pH on anaerobes converting high-solid organic wastes to hydrogen	Chou C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1550-1558	2008	Taiwán
221	Biohydrogen production with anaerobic fluidized bed reactors—A comparison of biofilm-based and granule-based systems	Zhang Z.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1559-1564	2008	Singapore
222	Exploring optimal environmental factors for fermentative	Lee K.	International Journal of	33	1565-	2008	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	hydrogen production from starch using mixed anaerobic microflora		Hydrogen Energy		1572		
223	Fermentative hydrogen production at high sulfate concentration	Chen C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1573-1578	2008	Taiwán
224	Molecular monitoring of microbes in a continuous hydrogen-producing system with different hydraulic retention time	Chang J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1579-1584	2008	Taiwán
225	Application of Clostridium-specific PCR primers on the analysis of dark fermentation hydrogen-producing bacterial community	Hung C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1586-1592	2008	Taiwán
226	Batch and continuous biohydrogen production from starch hydrolysate by Clostridium species	Chen S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1803-1812	2008	Taiwán
227	Biohydrogen production by dark fermentation of wheat powder solution: Effects of C/N and C/P ratio on hydrogen yield and formation rate	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	33	1813-1819	2008	Turquía
228	Fermentative hydrogen production from starch using natural mixed cultures	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	2445-2453	2008	Taiwán
229	Optimization of hydrogen production in a granule-based UASB reactor	Zhao Y.	International Journal of Hydrogen Energy	33	2454-2461	2008	China
230	Biohydrogen as a renewable energy resource—Prospects and potentials	Kotay S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	258-263	2008	India
231	Comparison of different pretreatment methods for enriching hydrogen-producing bacteria from digested sludge	Wang J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	2934-2941	2008	China
232	Continuous biohydrogen production in a CSTR using starch as a substrate	Farhan M.	International Journal of Hydrogen Energy	33	3289-3294	2008	Corea del Sur
233	Use of waste fermenting liquor to produce bioflocculants with isolated strains	Yuo Y.	International Journal of Hydrogen Energy	33	3295-3301	2008	China
234	Biohydrogen production by anaerobic co-digestion of municipal food waste and sewage sludges	Zhu H.	International Journal of Hydrogen Energy	33	3651-3659	2008	Canadá
235	Enhancement of fermentative hydrogen/ethanol production from cellulose using mixed anaerobic cultures	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	3660-3667	2008	Taiwán
236	The effect of heat pretreatment temperature on fermentative hydrogen production using mixed cultures	Baghchehsaraee B.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4064-4073	2008	Canadá
237	Optimization of media composition for hydrogen gas production from hydrolyzed wheat starch by dark	Oztekin R.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4083-4090	2008	Turquía

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	fermentation						
238	Effect of temperature on anaerobic fermentative hydrogen gas production from feedlot cattle manure using mixed microflora	Gilroyed B.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4301-4308	2008	Canadá
239	Fermentative hydrogen production by microbial consortium	Maintinguer S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4309-4317	2008	Brasil
240	Effects of different pretreatment methods on fermentation types and dominant bacteria for hydrogen production	Ren N.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4318-4324	2008	China
241	Temperature effects on fermentative hydrogen production from xylose using mixed anaerobic cultures	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	43-50	2008	Taiwán
242	Effect of arabinose concentration on dark fermentation hydrogen production using different mixed cultures	Danko A.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4527-4532	2008	Portugal
243	Bio-electrochemical evaluation of fermentative hydrogen production process with the function of feeding pH	Venkana S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4533-4546	2008	India
244	Monitoring dark hydrogen fermentation performance of indigenous <i>Clostridium butyricum</i> by hydrogenase gene expression using RT-PCR and qPCR	Wang M.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4730-4738	2008	Taiwán
245	A pH- and temperature-phased two-stage process for hydrogen and methane production from food waste	Chu C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4739-4746	2008	China
246	Bio-hydrogen production of anaerobic bacteria in reverse micellar media	Zhi X.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4747-4754	2008	China
247	Bio-hydrogen production of anaerobic bacteria in reverse micellar media	Zhi X.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4747-4754	2008	China
248	Biohydrogen production using sequential two-stage dark and photo fermentation processes	Chen C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4755-4762	2008	Taiwán
249	Biohydrogen production from ethanol-type fermentation of molasses in an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor	Guo W.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4981-4988	2008	China
250	Fermentative hydrogen production in batch experiments using lactose, cheese whey and glucose: Influence of initial substrate concentration and pH	Davila G.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4989-4997	2008	México
251	Impact of carbon and nitrogen sources on hydrogen production by a newly isolated <i>Clostridium butyricum</i> W5	Wang X.	International Journal of Hydrogen Energy	33	4998-5005	2008	Australia
252	Cogeneration of hydrogen and methane from glucose to improve energy conversion efficiency	Xie B.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5006-5011	2008	China

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
253	Improving fermentative biomass-derived H ₂ -production by engineering microbial metabolism	Jones P.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5122-5130	2008	Japón
254	Hydrogen evolution under photoheterotrophic and dark fermentative conditions by recombinant <i>Rhodobacter sphaeroides</i> containing the genes for fermentative pyruvate metabolism of <i>Rhodospirillum rubrum</i>	Kim E.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5131-5136	2008	Corea del Sur
255	The role of acid incubation in rapid immobilization of hydrogen-producing culture in anaerobic upflow column reactors	Zhang Z.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5151-5160	2008	Singapore
256	Combining enzymatic hydrolysis and dark-photo fermentation processes for hydrogen production from starch feedstock: A feasibility study	Lo Y.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5224-5233	2008	Taiwán
257	Dark fermentative H ₂ production from xylose and lactosa Effects of online pH control	Calli B.	International Journal of Hydrogen Energy	33	522-530	2008	Bélgica
258	Effect of pH in fermentation of vegetable kitchen wastes on hydrogen production under a thermophilic condition	Lee Z.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5234-5241	2008	Taiwán
259	Microbial community structure of a starch-feeding fermentative hydrogen production reactor operated under different incubation conditions	Cheng C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5242-5249	2008	Taiwán
260	Bio-hydrogen production from the fermentation of sugarcane bagasse hydrolysate by <i>Clostridium butyricum</i>	Pattra S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5256-5265	2008	Tailandia
261	Effects of base-pretreatment on continuous enriched culture for hydrogen production from food waste	Kim S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5266-5274	2008	USA
262	Fermentative hydrogen production by the newly isolated <i>Clostridium beijerinckii</i> Fanp3	Pan C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5383-5391	2008	China
263	Effect of temperature on fermentative hydrogen production by mixed cultures	Wang J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5392-5397	2008	China
264	Direct hydrogen production from cellulosic waste materials with a single-step dark fermentation process	Magnusson L.	International Journal of Hydrogen Energy	33	5398-5403	2008	Canadá
265	Simultaneous biohydrogen production and wastewater treatment in biofilm configured anaerobic periodic discontinuous batch reactor using distillery wastewater	Venkana S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	550-558	2008	India
266	Application of an anaerobic packed-bed bioreactor for the production of hydrogen and organic acids	Leite J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	579-586	2008	Brasil
267	Application of an anaerobic packed-bed bioreactor for the production of hydrogen and organic acids	Leite J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	579-586	2008	Brasil

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
268	Heavy metal effects on fermentative hydrogen production using natural mixed microflora	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	33	587-593	2008	Taiwán
269	Batch dark fermentative hydrogen production from grass silage: The effect of inoculum, pH, temperature and VS ratio	Pakarinen O.	International Journal of Hydrogen Energy	33	594-601	2008	Finlandia
270	Optimization of media nutrient composition for increased photofermentative hydrogen production by <i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	Burrows F.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6092-6099	2008	USA
271	Improved hydrogen production by coupled systems of hydrogenase negative photosynthetic bacteria and fermentative bacteria in reverse micelles	Singh S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6100-6108	2008	India
272	Batch dark fermentation of powdered wheat starch to hydrogen gas: Effects of the initial substrate and biomass concentrations	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6109-6115	2008	Turquía
273	Fermentative hydrogen production by the new marine <i>Pantoea agglomerans</i> isolated from the mangrove sludge	Zhu D.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6116-6123	2008	China
274	Dark fermentation of xylose and glucose mix using isolated <i>Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum</i> W16	Ren N.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6124-6132	2008	China
275	Self-immobilization of acidogenic mixed consortia on mesoporous material (SBA-15) and activated carbon to enhance fermentative hydrogen production	Venkana S.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6133-6142	2008	India
276	Enhancement effect of L-cysteine on dark fermentative hydrogen production	Yuan Z.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6535-6540	2008	China
277	Effects of seed sludge on fermentative characteristics and microbial community structures in thermophilic hydrogen fermentation of starch	Akutsu Y.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6541-6548	2008	Japón
278	Enhancing hydrogen production of <i>Clostridium butyricum</i> using a column reactor with square-structured ceramic fittings	Fritsch M.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6549-6557	2008	Alemania
279	Optimisation and design of nitrogen-sparged fermentative hydrogen production bioreactors	Kraemer J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6558-6565	2008	Canadá
280	Organic loading rates affect composition of soil-derived bacterial communities during continuous, fermentative biohydrogen production	Luo Y.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6566-6576	2008	USA
281	Effect of food to microorganism ratio on biohydrogen production from food waste via anaerobic fermentation	Pan J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6968-6975	2008	China

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
282	Optimization of fermentative hydrogen production process by response surface methodology	Wang J.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6976-6984	2008	China
283	Biohydrogen production from household solid waste (HSW) at extreme-thermophilic temperature (70-80°C) – Influence of pH and acetate concentration	Liu D.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6985-6992	2008	Dinamarca
284	Responses of the methanogenic reactor to different effluent fractions of fermentative hydrogen production in a phase-separated anaerobic digestion system	Ding H.	International Journal of Hydrogen Energy	33	6993-7005	2008	Singapore
285	Hydrogen production and end-product synthesis patterns by <i>Clostridium termitidis</i> strain CT1112 in batch fermentation cultures with cellobiose or α-cellulose	Ramachandran U.	International Journal of Hydrogen Energy	33	7006-7012	2008	Canadá
286	Inhibitory effect of ethanol, acetic acid, propionic acid and butyric acid on fermentative hydrogen production	Wang B.	International Journal of Hydrogen Energy	33	7013-7019	2008	China
287	Towards the integration of dark and photo fermentative waste treatment. 1. Hydrogen photoproduction by purple bacterium <i>Rhodobacter capsulatus</i> using potential products of starch fermentation	Laurinavichene T.	International Journal of Hydrogen Energy	33	7020-7026	2008	Rusia
288	Hydrogen production using <i>Clostridium saccharoperbutylacetonicum</i> N1-4 (ATCC 13564)	Alalayah W.	International Journal of Hydrogen Energy	33	7392-7396	2008	Malasia
289	Simultaneous biohydrogen production and starch wastewater treatment in an acidogenic expanded granular sludge bed reactor by mixed culture for long-term operation	Guo W.	International Journal of Hydrogen Energy	33	7397-7404	2008	China
290	Light fermentation of dark fermentation effluent for biohydrogen production by different <i>Rhodobacter</i> species at different initial volatile fatty acid (VFA) concentrations	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	33	7405-7412	2008	Turquía
291	Effects of pH value and substrate concentration on hydrogen production from the anaerobic fermentation of glucose	Li Z.	International Journal of Hydrogen Energy	33	7413-7418	2008	China
292	Effects of temperature, hydraulic retention time and hydrogen extraction rate on hydrogen production from the fermentation of food industry residues and manure	Karlsson A.	International Journal of Hydrogen Energy	33	953-962	2008	Suiza
293	Fermentative biohydrogen production: trends and perspectives	Davila G.	Rev Environ Sci Biotechnol	7	27-45	2008	México
294	ADM1 can be applied to continuous bio-hydrogen production using a variable stoichiometry approach	Penumathsa B.	Water Research	42	4379-4385	2008	UK

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
295	Bioconversion of lignocellulosic biomass to hydrogen: potential and challenges	Ren N.	Biotechnology Advances	27	1051-1060	2009	China
296	An overview of hydrogen production technologies	Holladay J.	Catalysis Today	139	244-260	2009	USA
297	Improving hydrogen production from cassava starch by combination of dark and photo fermentation	Su H.	International Journal of Hydrogen Energy	34	1780-1786	2009	China
298	Optimization and evaluation of fermentative hydrogen production and wastewater treatment processes using data enveloping analysis (DEA) and Taguchi design of experimental (DOE) methodology	Venkata S.	International Journal of Hydrogen Energy	34	216-226	2009	India
299	Microbial culture selection for bio-hydrogen production from waste ground wheat by dark fermentation	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	34	2195-2200	2009	Turquía
300	Bio-hydrogen production from acid hydrolyzed wheat starch by photo-fermentation using different Rhodobacter sp	Kapdan I.	International Journal of Hydrogen Energy	34	2210-2207	2009	Turquía
301	Biological hydrogen production in an anaerobic sequencing batch reactor: pH and cyclic duration effects	Chen W.	International Journal of Hydrogen Energy	34	227-234	2009	Taiwán
302	Experimental design methods for fermentative hydrogen production: A review	Wang J.	International Journal of Hydrogen Energy	34	235-244	2009	China
303	A bench scale study of fermentative hydrogen and methane production from food waste in integrated two-stage process	Wang X.	International Journal of Hydrogen Energy	34	245-254	2009	China
304	Optimization of fermentative hydrogen production process using genetic algorithm based on neural network and response surface methodology	Wang J.	International Journal of Hydrogen Energy	34	255-261	2009	China
305	Effects of temperature and substrate concentration on biological hydrogen production from starch	Akutsu Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	2558-2566	2009	Japón
306	Effect of extrinsic lactic acid on fermentative hydrogen production	Baghchehsa-raee B.	International Journal of Hydrogen Energy	34	2573-2579	2009	Canadá
307	Dark fermentation of ground wheat starch for bio-hydrogen production by fed-batch operation	Kargi F.	International Journal of Hydrogen Energy	34	2940-2946	2009	Turquía
308	Biohydrogen production from biomass and industrial wastes by dark fermentation	Chong M.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3277-3287	2009	Malasia
309	Biohydrogen production from biomass and industrial wastes by dark fermentation	Chong M.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3277-3287	2009	Malasia
310	Biohydrogen production from wastewater by Clostridium	Skonieczny	International Journal of	34	3288-	2009	Canadá

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	beijerinckii: Effect of pH and substrate concentration	M.	Hydrogen Energy		3294		
311	Sodium inhibition of fermentative hydrogen production	Kim D.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3295-3304	2009	Corea del Sur
312	Influence of reactor configuration on fermentative hydrogen production during wastewater treatment	Lalit V.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3305-3312	2009	India
313	Kinetic models for fermentative hydrogen production: A review	Wang J.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3313-3323	2009	China
314	Towards the integration of dark- and photo-fermentative waste treatment. 2. Optimization of starch-dependent fermentative hydrogen production	Belokopytov B.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3324-3332	2009	Rusia
315	Alkalinity and high total solids affecting H ₂ production from organic solid waste by anaerobic consortia	Valdez I.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3639-3646	2009	México
316	Hydrogen production from glucose by co-culture of <i>Clostridium Butyricum</i> and immobilized <i>Rhodopseudomonas faecalis</i> RLD-53	Ding J.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3647-3652	2009	China
317	Hydrogen generation from glycerol in batch fermentation process	Seifert K.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3671-3678	2009	Polonia
318	Long-term stability of hydrogen and organic acids production in an anaerobic fluidized-bed reactor using heat treated anaerobic sludge inoculum	Shida G.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3679-3688	2009	Brasil
319	Long-term stability of hydrogen and organic acids production in an anaerobic fluidized-bed reactor using heat treated anaerobic sludge inoculum	Momoe G.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3679-3688	2009	Brasil
320	Effect of organic loading rate on fermentative hydrogen production from continuous stirred tank and membrane bioreactors	Shen L.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3689-3696	2009	Canadá
321	Modeling of fermentative hydrogen production from the bacterium <i>Ruminococcus albus</i> : Definition of metabolism and kinetics during growth on glucose	Ntaikou I.	International Journal of Hydrogen Energy	34	3697-3709	2009	Grecia
322	Nutrients related to spore germination improve H ₂ production from heat-shock-treated consortia	Valdez I.	International Journal of Hydrogen Energy	34	4291-4295	2009	México
323	Continuous biohydrogen production using cheese whey Improving the hydrogen production rate	Davila G.	International Journal of Hydrogen Energy	34	4296-4304	2009	México
324	Hydrogen production by combined dark and light fermentation of ground wheat solution	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	34	4305-4311	2009	Turquía

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
325	Biohydrogen production by dark fermentation Experiences of continuous operation in large lab scale	Krupp M.	International Journal of Hydrogen Energy	34	4509-4516	2009	Alemania
326	Thermophilic fermentative hydrogen production from starch-wastewater with bio-granules	Akutsu Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	5061-5071	2009	Japón
327	Hydrogen production potentials and fermentative characteristics of various substrates with different heat-pretreated natural microflora	Akutsu Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	5365-5372	2009	Japón
328	High yield simultaneous hydrogen and ethanol production under extreme-thermophilic (70 8C) mixed culture environment	Zhao Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	5657-5665	2009	China
329	Feasibility of biohydrogen production from cheese whey using a UASB reactor: Links between microbial community and reactor performance	Castelló E.	International Journal of Hydrogen Energy	34	5674-5682	2009	Uruguay
330	Harnessing of biohydrogen by acidogenic fermentation of Citrus limetta peelings: Effect of extraction procedure and pretreatment of biocatalyst	Venkana S.	International Journal of Hydrogen Energy	34	6149-6156	2009	India
331	Optimizing hydrogen production from organic wastewater treatment in batch reactors through experimental and kinetic analysis	Sharma Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	6171-6180	2009	USA
332	Effects of the substrate and cell concentration on bio-hydrogen production from ground wheat by combined dark and photo-fermentation	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	34	6181-6188	2009	Turquía
333	Fermentative hydrogen production from hydrolyzed cellulosic feedstock prepared with a thermophilic anaerobic bacterial isolate	Chung Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	6189-6200	2009	Taiwán
334	Hydrogen production from cellulose in a two-stage process combining fermentation and electrohydrogenesis	Lalurette E.	International Journal of Hydrogen Energy	34	6201-6210	2009	USA
335	Continuous biohydrogen production from liquid swine manure supplemented with glucose using an anaerobic sequencing batch reactor	Wu S.	International Journal of Hydrogen Energy	34	6636-6645	2009	USA
336	Clostridium strain co-cultures for biohydrogen production enhancement from condensed molasses fermentation solubles	Hsiao C.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7173-7181	2009	Taiwán
337	Acid hydrolysis of corn stover for biohydrogen production using Thermoanaerobacterium thermosaccharolyticum W16	Cao G.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7182-7188	2009	China

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
338	Fermentative hydrogen production by two novel strains of <i>Enterobacter aerogenes</i> HGN-2 and HT 34 isolated from sea buried crude oil pipelines	Jayasinghe rachchi H.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7197-7207	2009	India
339	Advances in biohydrogen production processes: an approach towards commercialization	Das D.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7349-7357	2009	India
340	Advances in biohydrogen production processes: An approach towards commercialization	Das D.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7349-7357	2009	India
341	Fermentative hydrogen production: Principles, progress, and prognosis	Hallenbeck P.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7379-7389	2009	Canadá
342	Anaerobic fluidized bed reactor with expanded clay as support for hydrogen production through dark fermentation of glucose	Cavalcante E.	International Journal of Hydrogen Energy	34	738-790	2009	Brasil
343	Challenges for biohydrogen production via direct lignocellulose fermentation	Levin D.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7390-7403	2009	Canadá
344	Metabolic pathway engineering for enhanced biohydrogen production	Mathews J.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7404-7416	2009	USA
345	Biohydrogen from complex carbohydrate wastes as feedstocksCellulose degraders from a unique series enrichment	Blackburn J.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7428-7434	2009	USA
346	Starch hydrolysis characteristics of hydrogen producing sludge in thermophilic hydrogen fermentor fed with kitchen waste	Wang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7435-7440	2009	Taiwán
347	Continuous fermentative hydrogen production from cheese whey wastewater under thermophilic anaerobic conditions	Azbar N.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7441-7447	2009	Turquía
348	Optimization and microbial community analysis for production of biohydrogen from palm oil mill effluent by thermophilic fermentative process	Prasertsan P.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7448-7459	2009	Tailandia
349	Harnessing of biohydrogen from wastewater treatment using mixed fermentative consortia: Process evaluation towards optimization	Mohan S.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7460-7474	2009	India
350	Optimization of biohydrogen production by <i>Clostridium butyricum</i> EB6 from palm oil mill effluent using response surface methodology	Chong M.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7475-7482	2009	Malasia
351	Novel dark fermentation involving bioaugmentation with constructed bacterial consortium for enhanced biohydrogen production from pretreated sewage sludge	Meher S.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7489-7496	2009	India

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
352	Effect of light intensity and initial pH during hydrogen production by an integrated dark and photofermentation process	Nath K.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7497-7501	2009	India
353	Comparative assessment of decoupling of biomass and hydraulic retention times in hydrogen production bioreactors	Hafez H.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7603-7611	2009	Canadá
354	Production of biohydrogen from hydrolyzed bagasse with thermally preheated sludge	Chairattana manokorn P.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7616-7617	2009	Tailandia
355	Anaerobic fluidized bed reactor with expanded clay as support for hydrogen production through dark fermentation of glucose	Cavalcante E.	International Journal of Hydrogen Energy	34	783-790	2009	Brasil
356	Biochemical kinetics of fermentative hydrogen production by <i>Clostridium butyricum</i> W5	Wang X.	International Journal of Hydrogen Energy	34	791-798	2009	Australia
357	Determining optimum conditions for hydrogen production from glucose by an anaerobic culture using response surface methodology (RSM)	Mu Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7959-7963	2009	China
358	Optimization of biohydrogen production from beer lees using anaerobic mixed bacteria	Cui M.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7971-7978	2009	China
359	Fermentative hydrogen yields from different sugars by batch cultures of metabolically engineered <i>Escherichia coli</i> DJT135	Ghosh D.	International Journal of Hydrogen Energy	34	7979-7982	2009	Canadá
360	Factors influencing fermentative hydrogen production: A review	Wang J.	International Journal of Hydrogen Energy	34	799-811	2009	China
361	Hydrogen production characteristics of the organic fraction of municipal solid wastes by anaerobic mixed culture fermentation	Dong L.	International Journal of Hydrogen Energy	34	812-820	2009	China
362	Hydrogen production characteristics of the organic fraction of municipal solid wastes by anaerobic mixed culture fermentation	Dong L.	International Journal of Hydrogen Energy	34	812-820	2009	China
363	Dark and acidic conditions for fermentative hydrogen production	Gadhamshe tty V.	International Journal of Hydrogen Energy	34	821-826	2009	USA
364	Effects of sludge pre-treatment method on bio-hydrogen production by dark fermentation of waste ground wheat	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	34	8543-8548	2009	Turquía
365	Sequencing batch reactor enhances bacterial hydrolysis of starch promoting continuous bio-hydrogen production from starch feedstock	Chen S.	International Journal of Hydrogen Energy	34	8549-8557	2009	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
366	Biomass-based hydrogen production: A review and analysis	Kalinci Y.	International Journal of Hydrogen Energy	34	8799-8817	2009	Turquía
367	Combination of dark- and photo-fermentation to enhance hydrogen production and energy conversion efficiency	Su H.	International Journal of Hydrogen Energy	34	8846-8853	2009	China
368	Bio hydrogen generation from kitchen waste in an inclined plug flow reactor	Jayalakshmi S.	International Journal of Hydrogen Energy	34	8854-8858	2009	India
369	Effects of pH, glucose and iron sulfate concentration on the yield of biohydrogen by <i>Clostridium butyricum</i> EB6	Chong M.	International Journal of Hydrogen Energy	34	8859-8865	2009	India
370	Effects of pH, glucose and iron sulfate concentration on the yield of biohydrogen by <i>Clostridium butyricum</i> EB6	Chong M.	International Journal of Hydrogen Energy	34	8859-8865	2009	Malasia
371	Fermentative biohydrogen production by mixed anaerobic consortia: Impact of glucose to xylose ratio	Prakasham R.S.	International Journal of Hydrogen Energy	34	9354-9361	2009	India
372	CFD simulation of an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor for biohydrogen production	Wang X.	International Journal of Hydrogen Energy	34	9686-9695	2009	China
373	Effect of pH and sulfate concentration on hydrogen production using anaerobic mixed microflora	Hwang J.	International Journal of Hydrogen Energy	34	9702-9720	2009	Corea del Sur
374	Advances in fermentative biohydrogen production: the way forward?	Hallenbeck P.	Trends in Biotechnology	27	287-297	2009	Canadá
375	Biohydrogen production from xylose at extreme thermophilic temperatures (70°C) by mixed culture fermentation	Kongjan P.	Water Research	43	1414-1424	2009	Dinamarca
376	Effect of COD/SO ₄ ²⁻ ratio and Fe(II) under the variable hydraulic retention time (HRT) on fermentative hydrogen production	Hwang J.	Water Research	43	3525-3533	2009	Corea del Sur
377	CFD optimization of continuous stirred-tank (CSTR) reactor for biohydrogen production	Ding J.	Bioresource Technology	101	7005-7013	2010	China
378	Potential to produce biohydrogen from various wastewaters	Soares B.	Energy for Sustainable Development	14	143-148	2010	Brasil
379	Energy balance of dark anaerobic fermentation as a tool for sustainability analysis	Ruggeri B.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10202-10211	2010	Italia
380	Biohydrogen production from cellobiose in phenol and cresol-containing medium using <i>Clostridium</i> sp. R1	Ho K.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10239-10244	2010	Italia
381	Direction of glucose fermentation towards hydrogen or ethanol production through on-line pH control	Karadag D.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10245-10251	2010	Finlandia
382	High biohydrogen yielding <i>Clostridium</i> sp. DMHC-10 isolated from sludge of distillery waste treatment plant	Kamalaskar L.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10639-10644	2010	India

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
383	Dark fermentative biohydrogen production by mesophilic bacterial consortia isolated from riverbed sediments	Singh S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10645-10652	2010	India
384	Microbial hydrogen production from sewage sludge bioaugmented with a constructed microbial consortium	Kotay S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10653-10659	2010	India
385	Hydrogen production from agricultural waste by dark fermentation: A review	Guo X.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10660-10673	2010	Francia
386	Dark fermentative hydrogen production by defined mixed microbial cultures immobilized on ligno-cellulosic waste materials	Patel S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10674-10681	2010	India
387	Metabolic shift and electron discharge pattern of anaerobic consortia as a function of pretreatment method applied during fermentative hydrogen production	Srikanth S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10693-10700	2010	India
388	Regulatory influence of CO ₂ supplementation on fermentative hydrogen production process	Devi M.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10701-10709	2010	India
389	Optimal control of hydrogen production in a continuous anaerobic fermentation bioreactor	Aceves-Lara C.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10710-10718	2010	Francia
390	Dark hydrogen production in nitrogen atmosphere e An approach for sustainability by marine cyanobacterium <i>Leptolyngbya valderiana</i> BDU 20041	Prabaharan D.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10725-10730	2010	India
391	Optimization of culture conditions for biological hydrogen production by <i>Citrobacter freundii</i> CWBI952 in batch, sequenced-batch and semicontinuous operating mode	Hamilton C.	International Journal of Hydrogen Energy	35	1089-1098	2010	Bélgica
392	Modeling and monitoring of the acclimatization of conventional activated sludge to a biohydrogen producing culture by biokinetic control	Fernández-Morales F.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10927-10933	2010	España
393	Sequential darkphoto fermentation and autotrophic microalgal growth for high-yield and CO ₂ -free biohydrogen production	Lo Y.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10944-10953	2010	Taiwán
394	Effect of changing temperature on anaerobic hydrogen production and microbial community composition in an open-mixed culture bioreactor	Karadag D.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10954-10959	2010	Finlandia
395	Scale-up and optimization of biohydrogen production reactor from laboratory-scale to industrial-scale on the basis of computational fluid dynamics simulation	Wang X.	International Journal of Hydrogen Energy	35	10960-10966	2010	China
396	Biohydrogen production from specified risk materials co-digested with cattle manure	Gilroyed B.	International Journal of Hydrogen Energy	35	1099-1105	2010	Canadá

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
397	Effects of starch loading rate on performance of combined fed-batch fermentation of ground wheat for bio-hydrogen production	Ozmihci S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	1106-1111	2010	Turquía
398	Bacterial hydrogen production in recombinant <i>Escherichia coli</i> harboring a HupSL hydrogenase isolated from <i>Rhodobacter sphaeroides</i> under anaerobic dark culture	Lee S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	1112-1116	2010	Corea del Sur
399	Anaerobic treatment of cassava stillage for hydrogen and methane production in continuously stirred tank reactor (CSTR) under high organic loading rate (OLR)	Luo G.	International Journal of Hydrogen Energy	35	11733-11737	2010	China
400	Bioproduction of hydrogen from food waste by pilot-scale combined hydrogen/methane fermentation	Lee Y.	International Journal of Hydrogen Energy	35	11746-11755	2010	Corea del Sur
401	Growth characteristics and hydrogen production by <i>Rhodobacter sphaeroides</i> using various amino acids as nitrogen sources and their combinations with carbon sources	Gabrielyan L.	International Journal of Hydrogen Energy	35	12201-12207	2010	Armenia
402	Microbial diversity analysis of long term operated biofilm configured anaerobic reactor producing biohydrogen from wastewater under diverse conditions	Mohan S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	12208-12215	2010	India
403	Fermentative biohydrogen production: Evaluation of net energy gain	Perera K.	International Journal of Hydrogen Energy	35	12224-12233	2010	USA
404	A study of the process control and hydrolytic characteristics in a thermophilic hydrogen fermentor fed with starch-rich kitchen waste by using molecular-biological methods and amylase assay	Wang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13004-13012	2010	Taiwán
405	Enhancement of fermentative hydrogen production from green algal biomass of <i>Thermotoga neapolitana</i> by various pretreatment methods	Nguyen T.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13035-13040	2010	Corea del Sur
406	Development and application of a functional CE-SSCP fingerprinting method based on [FeFe]-hydrogenase genes for monitoring hydrogen-producing <i>Clostridium</i> in mixed cultures	Quéméneur M.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13158-13167	2010	Francia
407	The effects of the dimethylether bridging moiety in the H-cluster of the <i>Clostridium pasteurianum</i> hydrogenase on the mechanism of H ₂ production: A quantum mechanics/molecular mechanics study	Trohalaki S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13179-13185	2010	USA

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
408	Estimation of hydrogen production in genetically modified <i>E. coli</i> fermentations using an artificial neural network	Rosales-Colunga L.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13186-13192	2010	México
409	Hydrogen production from carrot pulp by the extreme thermophiles <i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i> and <i>Thermotoga neapolitana</i>	Vrije T.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13206-13213	2010	Holanda
410	Comparison of bio-hydrogen production from hydrolyzed wheat starch by mesophilic and thermophilic dark fermentation	Cakir A.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13214-13218	2010	Turquía
411	Biological hydrogen production from phenol-containing wastewater using <i>Clostridium butyricum</i>	Tai J.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13345-13349	2010	Taiwán
412	Critical assessment of anaerobic processes for continuous biohydrogen production from organic wastewater	Show K.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13350-13355	2010	Malasia
413	Biohydrogen production by isolated halotolerant photosynthetic bacteria using long-wavelength light-emitting diode (LW-LED)	Kawagoshi Y.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13365-13369	2010	Japón
414	Continuous fermentative hydrogen production from coffee drink manufacturing wastewater by applying UASB reactor	Jung K.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13370-13378	2010	Corea del Sur
415	Thermophilic hydrogen fermentation from Korean rice straw by <i>Thermotoga neapolitana</i>	Nguyen T.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13392-13398	2010	Corea del Sur
416	Establishment of rumen-mimic bacterial consortia: A functional union for bio-hydrogen production from cellulosic bioresource	Chang J.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13399-13406	2010	Taiwán
417	Accelerated startup of biological hydrogen production by addition of <i>Ethanoligenens harbinense</i> B49 in a biofilm-based process column reactor	Guo W.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13407-13412	2010	China
418	Enrichment strategy to select functional consortium from mixed cultures: Consortium from rumen liquor for simultaneous cellulose degradation and hydrogen production	Wang A.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13413-13418	2010	China
419	Biohydrogen production from dual digestion pretreatment of poultry slaughterhouse sludge by anaerobic self-fermentation	Sttijunda S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13427-13434	2010	Tailandia
420	Optimization of biohydrogen production from sweet sorghum syrup using statistical methods	Saraphirom P.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13435-13444	2010	Tailandia
421	Biohydrogen production from soluble condensed molasses fermentation using anaerobic fermentation	Lay C.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13445-13451	2010	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
422	Pilot-scale hydrogen fermentation system start-up performance	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13452-13457	2010	Taiwán
423	Thermophilic bio-energy process study on hydrogen fermentation with vegetable kitchen waste	Lee Z.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13458-13466	2010	Taiwán
424	Cell growth and hydrogen production on the mixture of xylose and glucose using a novel strain of <i>Clostridium</i> sp. HR-1 isolated from cow dung compost	Xu J.	International Journal of Hydrogen Energy	35	13467-13474	2010	China
425	Experience of a pilot-scale hydrogen-producing anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) treating food waste	Kim D.	International Journal of Hydrogen Energy	35	1590-1594	2010	Canadá
426	Influence of pH on fermentative hydrogen production from sweet sorghum extract	Antonopoulou G.	International Journal of Hydrogen Energy	35	1921-1928	2010	Grecia
427	Fermentative bio-hydrogen production from cellulose by cow dung compost enriched cultures	Ren N.	International Journal of Hydrogen Energy	35	2742-2746	2010	China
428	Biological hydrogen production in continuous stirred tank reactor systems with suspended and attached microbial growth	Ren N.	International Journal of Hydrogen Energy	35	2807-2813	2010	China
429	Bio-hydrogen production by mixed culture of photo- and dark-fermentation bacteria	Liu B.	International Journal of Hydrogen Energy	35	2858-2862	2010	China
430	Selection and isolation of hydrogen-producing fermentative bacteria with high yield and rate and its bioaugmentation process	Ren N.	International Journal of Hydrogen Energy	35	2877-2882	2010	China
431	Kinetic analysis of hydrogen production using anaerobic bacteria in reverse micelles	Zhi X.	International Journal of Hydrogen Energy	35	2926-2930	2010	China
432	Biohydrogen production from starch wastewater and application in fuel cell	Wei J.	International Journal of Hydrogen Energy	35	2949-2952	2010	China
433	Biohydrogen production from starch wastewater and application in fuel cell	Wei J.	International Journal of Hydrogen Energy	35	2949-2952	2010	China
434	Biohydrogen production from apple pomace by anaerobic fermentation with river sludge	Feng X.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3058-3064	2010	China
435	Biohydrogen production from cornstalk wastes by anaerobic fermentation with activated sludge	Wang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3092-3099	2010	China
436	Effect of pH on glucose and starch fermentation in batch and sequenced-batch mode with a recently isolated strain of hydrogen-producing <i>Clostridium butyricum</i> CWB11009	Masset J.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3371-3378	2010	Bélgica
437	Biohydrogen production in anaerobic fluidized bed reactors: Effect of support material and hydraulic retention	Rocha A.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3379-3388	2010	Brasil

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	time						
438	Enzymatic saccharification and fermentation of paper and pulp industry effluent for biohydrogen production	Lakshmidevi R.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3389-3400	2010	India
439	Xylose fermentation to biofuels (hydrogen and ethanol) by extreme thermophilic (70 °C) mixed culture	Zhao C.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3415-3422	2010	China
440	Application of a modified Anaerobic Digestion Model 1 version for fermentative hydrogen production from sweet sorghum extract by <i>Ruminococcus albus</i>	Ntaikou I.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3423-3432	2010	Grecia
441	[FeFe]-hydrogenase gene quantification and melting curve analysis from hydrogen-fermenting bioreactor samples	Tolvanen K.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3433-3432	2010	Finlandia
442	Utilizing acid-rich effluents of fermentative hydrogen production process as substrate for harnessing bioelectricity: An integrative approach	Mohanakrishna G.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3440-3449	2010	India
443	Effect of ultrasonic treatment of digestion sludge on biohydrogen production from sucrose by anaerobic fermentation	Guo Y.	International Journal of Hydrogen Energy	35	3450-3455	2010	USA
444	Biohydrogen production from poplar leaves pretreated by different methods using anaerobic mixed bacteria	Cui M.	International Journal of Hydrogen Energy	35	4041-4047	2010	China
445	Statistical optimization of biohydrogen production from sucrose by a co-culture of <i>Clostridium acidisoli</i> and <i>Rhodobacter sphaeroides</i>	Sun Q.	International Journal of Hydrogen Energy	35	4076-4084	2010	China
446	Hydrogen production from cassava wastewater using an anaerobic sequencing batch reactor: Effects of operational parameters, COD:N ratio, and organic acid composition	Sreethawong T.	International Journal of Hydrogen Energy	35	4092-4102	2010	Tailandia
447	The preparation and application of crude cellulase for cellulose-hydrogen production by anaerobic fermentation	Guo Y.	International Journal of Hydrogen Energy	35	459-468	2010	China
448	Effect of operation parameters on anaerobic fermentation using cow dung as a source of microorganisms	Wu X.	International Journal of Hydrogen Energy	35	46-51	2010	China
449	Production of hydrogen from sewage biosolids in a continuously fed bioreactor Effect of hydraulic retention time and sparging	Massanet J.	International Journal of Hydrogen Energy	35	469-478	2010	UK
450	Modeling dark fermentation for biohydrogen production: ADM1-based model vs. Gompertz model	Gadhamsheetty V.	International Journal of Hydrogen Energy	35	479-490	2010	USA
451	Fermentative hydrogen production by diverse microflora	Baghchehsaraee B.	International Journal of Hydrogen Energy	35	5021-5027	2010	Canadá

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
452	Biohydrogen production from beet molasses by sequential dark and photofermentation	Ozgur E.	International Journal of Hydrogen Energy	35	511-517	2010	Turquía
453	Effects of hydraulic retention time on anaerobic hydrogenation performance and microbial ecology of bioreactors fed with glucose-peptone and starch-peptone	Li S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	61-70	2010	Taiwán
454	Bio-hydrogen production from ground wheat starch by continuous combined fermentation using annular-hybrid bioreactor	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	35	6170-6178	2010	Turquía
455	Statistical optimization of fermentative hydrogen production from xylose by newly isolated <i>Enterobacter</i> sp. CN1	Long C.	International Journal of Hydrogen Energy	35	6657-6664	2010	China
456	Characteristics of fermentative hydrogen production with <i>Klebsiella pneumoniae</i> ECU-15 isolated from anaerobic sewage sludge	Niu K.	International Journal of Hydrogen Energy	35	71-80	2010	China
457	Biohydrogen production from untreated and hydrolyzed potato steam peels by the extreme thermophiles <i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i> and <i>Thermotoga neapolitana</i>	Mars A.	International Journal of Hydrogen Energy	35	7730-7737	2010	Holanda
458	Pretreatment of sweet sorghum bagasse for hydrogen production by <i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i>	Panagiotopoulos I.	International Journal of Hydrogen Energy	35	7738-7747	2010	Holanda
459	Biohydrogen production from purified terephthalic acid (PTA) processing wastewater by anaerobic fermentation using mixed microbial communities	Zhu G.	International Journal of Hydrogen Energy	35	8350-8356	2010	China
460	Towards the integration of dark- and photo-fermentative waste treatment. 3. Potato as substrate for sequential dark fermentation and light-driven H ₂ production	Laurinavichene T.	International Journal of Hydrogen Energy	35	8536-8543	2010	USA
461	Development of a simple bio-hydrogen production system through dark fermentation by using unique microflora	Ohnishi A.	International Journal of Hydrogen Energy	35	8544-8553	2010	Japón
462	Enhancement of anaerobic hydrogen production by iron and nickel	Karadag D.	International Journal of Hydrogen Energy	35	8554-8560	2010	Finlandia
463	Hydrogen production from water hyacinth through dark- and photo-fermentation	Su H.	International Journal of Hydrogen Energy	35	8929-8937	2010	China
464	Improved hydrogen production via thermophilic fermentation of corn stover by microwave-assisted acid pretreatment	Liu C.	International Journal of Hydrogen Energy	35	8945-8952	2010	China
465	Bioproduction of hydrogen by <i>Rhodobacter capsulatus</i> KU002 isolated from leather industry effluents	Meregu R.	International Journal of Hydrogen Energy	35	9591-9597	2010	India

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
466	Biological hydrogen production: Simultaneous saccharification and fermentation with nitrogen and phosphorus removal from wastewater effluent	Harvey S.	International Journal of Hydrogen Energy	35	9611-9617	2010	USA
467	Dark fermentation of acid hydrolyzed ground wheat starch for bio-hydrogen production by periodic feeding and effluent removal	Sagnak R.	International Journal of Hydrogen Energy	35	9630-9636	2010	Turquía
468	Biological hydrogen production: prospects and challenges	Lee H.	Trends in Biotechnology	28	262-271	2010	USA
469	Biohydrogen production from biomass and wastes via dark fermentation: a review	Ntaikou I.	Waste Biomass Valor	1	21-39	2010	Grecia
470	Bioreactor and process design for biohydrogen production	Show K.	Bioresource Technology			2011	Malasia
471	Natural inducement of hydrogen from food waste by temperature control	Kim D.	International Journal of Hydrogen Energy	36	10666-10673	2011	Corea del Sur
472	Enhanced hydrogen production from biomass via the sulfur redox cycle under hydrothermal conditions	Setiani P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	10674-10682	2011	Japón
473	Hydrogen gas production from acid hydrolyzed wheat starch by combined dark and photo-fermentation with periodic feeding	Sagnak R.	International Journal of Hydrogen Energy	36	10683-10689	2011	Turquía
474	Effect of organic loading rate and solids retention time on microbial population during bio-hydrogen production by dark fermentation in large lab-scale	Mariakakis I.	International Journal of Hydrogen Energy	36	10690-10700	2011	Alemania
475	Fermentative hydrogen production by Clostridium butyricum and Escherichia coli in pure and cocultures	Seppala J.	International Journal of Hydrogen Energy	36	10701-10708	2011	Finlandia
476	Biohydrogen production in an outdoor panel photobioreactor on dark fermentation effluent of molasses	Avcioglu S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	11360-11368	2011	Turquía
477	Single and combined effect of various pretreatment methods for biohydrogen production from food waste	Elbeshbishy E.	International Journal of Hydrogen Energy	36	11379-11387	2011	Canadá
478	Comparative exergetic performance analysis of hydrogen production from oil palm wastes and some other biomasses	Kalinci Y.	International Journal of Hydrogen Energy	36	11399-11407	2011	Turquía
479	Changes in hydrogenase genetic diversity and proteomic patterns in mixed-culture dark fermentation of mono-, di- and tri-saccharides	Quéménéur M.	International Journal of Hydrogen Energy	36	11654-11665	2011	Francia
480	Improving net energy gain in fermentative biohydrogen production from glucose	Ketheesan B.	International Journal of Hydrogen Energy	36	11693-11701	2011	USA

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
481	Microalgal community and their growth conditions influence biohydrogen production during integration of dark-fermentation and photo-fermentation processes	Chandra R.	International Journal of Hydrogen Energy	36	12211-12219	2011	India
482	Bio-hydrogen production from thin stillage using conventional and acclimatized anaerobic digester sludge	Nasr N.	International Journal of Hydrogen Energy	36	12761-12769	2011	Canadá
483	Enhanced bio-hydrogen production from corn stalk by anaerobic fermentation using response surface methodology	Xing Y.	International Journal of Hydrogen Energy	36	12770-12779	2011	China
484	Bio-hydrogen production from acid hydrolyzed waste ground wheat by dark fermentation	Sagnak R.	International Journal of Hydrogen Energy	36	12803-12809	2011	Turquía
485	Hydrogen production from alcohol distillery wastewater containing high potassium and sulfate using an anaerobic sequencing batch reactor	Searmsirimonkol P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	12810-12821	2011	Tailandia
486	Fermentative hydrogen production with xylose by <i>Clostridium</i> and <i>Klebsiella</i> species in anaerobic batch reactors	Maintinguer S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	13508-13517	2011	Brasil
487	Hydrogen production from rotten dates by sequential three stages fermentation	Hemida M.	International Journal of Hydrogen Energy	36	13518-13527	2011	Egipto
488	Energy consumption and CO ₂ emissions of potato peel and sugarcane biohydrogen production pathways, applied to Portuguese road transportation	Ferreira A.	International Journal of Hydrogen Energy	36	13547-13558	2011	Portugal
489	Constructing a new business model for fermentative hydrogen production from wastewater treatment	Chang P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	13914-13921	2011	Taiwán
490	Enhanced biohydrogen production from tofu residue by acid/base pretreatment and sewage sludge addition	Kim D.	International Journal of Hydrogen Energy	36	13922-13927	2011	Corea del Sur
491	Biohydrogen production from mixed xylose/arabinose at thermophilic temperature by anaerobic mixed cultures in elephant dung	Fangkum A.	International Journal of Hydrogen Energy	36	13928-13938	2011	Tailandia
492	Thermophilic hydrogen fermentation using <i>Thermotoga neapolitana</i> DSM 4359 by fed-batch culture	Anh T.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14014-14023	2011	Corea del Sur
493	Photo fermentative hydrogen production using dominant components (acetate, lactate, and butyrate) in dark fermentation effluents	Lo Y.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14059-14068	2011	Taiwán
494	The factors influencing direct photohydrogen production and anaerobic fermentation hydrogen production combination bioreactors	Wang B.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14069-14077	2011	Taiwán

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
495	Biohydrogen production from immobilized cells and suspended sludge systems with condensed molasses fermentation solubles	Chu C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14078-14085	2011	Taiwán
496	Isolation and characterization of high hydrogen-producing strain <i>Clostridium beijerinckii</i> PS-3 from fermented oil palm sap	Noparat P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14086-14092	2011	Tailandia
497	A patent analysis on advanced biohydrogen technology development and commercialisation: Scope and competitiveness	Olivo C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14103-14110	2011	Taiwán
498	Optimization of key factors affecting hydrogen production from food waste by anaerobic mixed cultures	Sreela-or C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14120-14133	2011	Tailandia
499	Quantitative analysis of microorganism composition in a pilot-scale fermentative biohydrogen production system	Cheng C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14153-14161	2011	Taiwán
500	Biohydrogen production from sago starch in wastewater using an enriched thermophilic mixed culture from hot spring	Hasyim R.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14162-14171	2011	Japón
501	Fuzzy Delphi method for evaluating hydrogen production technologies	Chang P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14172-14179	2011	Taiwán
502	Biohydrogen and biomethane from water hyacinth (<i>Eichhornia crassipes</i>) fermentation: Effects of substrate concentration and incubation temperature	Chuang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14195-14203	2011	Taiwán
503	Optimization of fermentative hydrogen production from hydrolysate of microwave assisted sulfuric acid pretreated oil palm trunk by hot spring enriched culture	Khamtib S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14204-14216	2011	Tailandia
504	Co-digestion of food waste and sludge for hydrogen production by anaerobic mixed cultures: Statistical key factors optimization	Sreela-or C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14227-14237	2011	Tailandia
505	Biohydrogen development in United States and in China: An input-output model study	Lee D.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14238-14244	2011	Taiwán
506	Hydrogen production by the anaerobic fermentation from acid hydrolyzed rice straw hydrolysate	Chang A.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14280-14288	2011	Taiwán
507	Enhancing the performance of pilot-scale fermentative hydrogen production by proper combinations of HRT and substrate concentration	Lin P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	14289-14294	2011	Taiwán
508	Simultaneous analysis of carbohydrates and volatile fatty acids by HPLC for monitoring fermentative biohydrogen	Vasconcelos L.	International Journal of Hydrogen Energy	36	15177-15186	2011	Brasil

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	production						
509	Fermentative hydrogen production from different sugars by <i>Citrobacter</i> sp. CMC-1 in batch culture	Mangayil R.	International Journal of Hydrogen Energy	36	15187-15194	2011	Finlandia
510	Influence of pH, temperature and volatile fatty acids on hydrogen production by acidogenic fermentation	Infantes D.	International Journal of Hydrogen Energy	36	15595-15601	2011	España
511	Revivability of fermentative hydrogen producing bioreactors	Baghchehsa-raee B.	International Journal of Hydrogen Energy	36	2086-2092	2011	Canadá
512	Microwave-assisted alkali pretreatment of rice straw to promote enzymatic hydrolysis and hydrogen production in dark- and photo-fermentation	Cheng J.	International Journal of Hydrogen Energy	36	2093-2101	2011	China
513	Thermophilic dark fermentation of acid hydrolyzed waste ground wheat for hydrogen gas production	Ozmihci S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	2111-2117	2011	Turquía
514	Biohydrogen production from cassava starch processing wastewater by thermophilic mixed cultures	O-Thong S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	3409-3416	2011	Tailandia
515	Phase holdups and microbial community in high-rate fermentative hydrogen bioreactors	Chu C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	364-373	2011	Taiwán
516	Functional versus phylogenetic fingerprint analyses for monitoring hydrogen-producing bacterial populations in darkfermentation cultures	Quéméneur M.	International Journal of Hydrogen Energy	36	3870-3879	2011	Francia
517	Effects of various pretreatment methods of anaerobic mixed microflora on biohydrogen production and the fermentation pathway of glucose	Wang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	36	390-396	2011	China
518	Application of Plackette-Burman experimental design to optimize biohydrogen fermentation by <i>E. coli</i> (XL1-BLUE)	Bakonyi P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	3949-3954	2011	Hungría
519	Enzymatic characterization of acid tolerance response (ATR) during the enhanced biohydrogen production process from Taihu cyanobacteria via anaerobic digestion	Yan Q.	International Journal of Hydrogen Energy	36	405-410	2011	China
520	Development of a method for biohydrogen production from wheat straw by dark fermentation	Nasirian N.	International Journal of Hydrogen Energy	36	411-420	2011	Irán
521	<i>Escherichia coli</i> hydrogenase activity and H ₂ production under glycerol fermentation at a low pH	Trchounian K.	International Journal of Hydrogen Energy	36	4323-4331	2011	Armenia
522	Hydrogen productivity of photosynthetic bacteria on dark fermenter effluent of potato steam peels hydrolysate	Afsar N.	International Journal of Hydrogen Energy	36	432-438	2011	Turquía
523	Imperative role of neural networks coupled genetic algorithm on optimization of biohydrogen yield	Prakasham R.S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	4332-4339	2011	India

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
524	Photo-fermentative hydrogen gas production from dark fermentation effluent of acid hydrolyzed wheat starch with periodic feeding	Sagnak R.	International Journal of Hydrogen Energy	36	4348-4353	2011	Turquía
525	Hydrogen production by mixed bacteria through dark and photo fermentation	Cheng J.	International Journal of Hydrogen Energy	36	450-457	2011	China
526	Anaerobic H ₂ production at elevated temperature (60 °C) by enriched mixed consortia from mesophilic sources	Karadag D.	International Journal of Hydrogen Energy	36	458-465	2011	Finlandia
527	Energy optimisation from co-digested waste using a two-phase process to generate hydrogen and methane	Siddiqui Z.	International Journal of Hydrogen Energy	36	4792-4799	2011	UK
528	Hydrogen production via CaO sorption enhanced anaerobic gasification of sawdust in a bubbling fluidized bed	Han L.	International Journal of Hydrogen Energy	36	4820-4829	2011	China
529	Effect of substrate concentration on fermentative hydrogen production from sweet sorghum extract	Antonopoulou G.	International Journal of Hydrogen Energy	36	4843-4851	2011	Grecia
530	Bioaugmented cellulosic hydrogen production from cornstarch by integrating dilute acid-enzyme hydrolysis and dark fermentation	Pan C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	4852-4862	2011	China
531	Molecular methods for characterizing mixed microbial communities in hydrogen-fermenting systems	Tolvanen K.	International Journal of Hydrogen Energy	36	5280-5288	2011	Finlandia
532	Effect of Mo-containing additives on biohydrogen fermentation from cassava's stillage	Dong-Jie N.	International Journal of Hydrogen Energy	36	5289-5295	2011	Singapore
533	Direct fermentation of Laminaria japonica for biohydrogen production by anaerobic mixed cultures	Shi X.	International Journal of Hydrogen Energy	36	5857-5864	2011	Corea del Sur
534	Effect of hydraulic retention time on biohydrogen production from palm oil mill effluent in anaerobic sequencing batch reactor	Badiei M.	International Journal of Hydrogen Energy	36	5912-5919	2011	Malasia
535	Closing the 1,3-propanediol route enhances hydrogen production from glycerol by Halanaerobium saccharolyticum subsp. Saccharolyticum	Kivisto A.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7074-7080	2011	Finlandia
536	Dark fermentative bio-hydrogen production from waste wheat starch using co-culture with periodic feeding: Effects of substrate loading rate	Ozmihci S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7089-7093	2011	Turquía
537	Bio-hydrogen production by different operational modes of dark and photo-fermentation: An overview	Argun H.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7443-7459	2011	Turquía
538	An evaluative report and challenges for fermentative biohydrogen production	Sinha P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7460-7478	2011	India

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
539	Hydrogen production from biological systems under different illumination conditions	Rossi F.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7479-7486	2011	Italia
540	Novel FISH and quantitative PCR protocols to monitor artificial consortia composed of different hydrogen-producing <i>Clostridium</i> spp.	Savichtchev a O.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7530-7542	2011	Bélgica
541	Hydrogenase activity monitoring in the fermentative hydrogen production using heat pretreated sludge: A useful approach to evaluate bacterial communities performance	Vasconcelos L.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7543-7549	2011	Brasil
542	Bio-hydrogen production from organic wastes in a pilot plant reactor and its use in a SOFC	Licata B.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7861-7865	2011	Italia
543	Life cycle assessment of biohydrogen production in photosynthetic processes	Romagnoli F.	International Journal of Hydrogen Energy	36	7866-7871	2011	Letonia
544	Firmicutes with iron dependent hydrogenase drive hydrogen production in anaerobic bioreactor using distillery wastewater	Mohan S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8234-8242	2011	India
545	Extreme-thermophilic biohydrogen production from lignocellulosic bioethanol distillery wastewater with community analysis of hydrogen-producing microflora	Qiu C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8243-8251	2011	China
546	Sustained hydrogen production from formate using immobilized recombinant <i>Escherichia coli</i> SH5	Seol E.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8681-8686	2011	Corea del Sur
547	Biohydrogen production from sugarcane bagasse hydrolysate by elephant dung: Effects of initial pH and substrate concentration	Fangkum A.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8687-8696	2011	Tailandia
548	Performance and population analysis of hydrogen production from sugarcane juice by non-sterile continuous stirred tank reactor augmented with <i>Clostridium butyricum</i>	Pattra S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8697-8703	2011	Tailandia
549	Interactions between <i>Clostridium</i> sp. and other facultative anaerobes in a self-formed granular sludge hydrogen-producing bioreactor	Hung C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8704-8711	2011	Taiwán
550	Continuous hydrogen production from tofu processing waste using anaerobic mixed microflora under thermophilic conditions	Kim M.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8712-8718	2011	Corea del Sur
551	Anaerobic fermentative system based scheme for green energy sustainable houses	Chu C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8719-8726	2011	Taiwán
552	Extreme-thermophilic biohydrogen production by	Hasyim R.	International Journal of	36	8727-	2011	Japón

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	ananaerobic heat treated digested sewage sludge culture		Hydrogen Energy		8734		
553	Diversity of cultivable hydrogen-producing bacteria isolated from agricultural soils, waste water sludge and cow dung	Kanso S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8735-8742	2011	Tailandia
554	Kinetics of cotton cellulose hydrolysis using concentrated acid and fermentative hydrogen production from hydrolysate	Chu C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8743-8750	2011	Taiwán
555	Hydrogen production from sludge of poultry slaughterhouse wastewater treatment plant pretreated with microwave	Thungklin P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8751-8757	2011	Tailandia
556	A pilot-scale high-rate biohydrogen production system with mixed microflora	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8758-8764	2011	Taiwán
557	Biological hydrogen production from sweet sorghum syrup by mixed cultures using an anaerobic sequencing batch reactor (ASBR)	Saraphirom P.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8765-8773	2011	Tailandia
558	Developing a thermophilic hydrogen-producing microbial consortia from geothermal spring for efficient utilization of xylose and glucose mixed substrates and oil palm trunk hydrolysate	Hniman A.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8785-8793	2011	Tailandia
559	Bio-hydrogen behavior of suspended and attached microorganisms in anaerobic fluidized bed	Kuo S.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8800-8808	2011	Taiwán
560	Adaptation of biohydrogen producing reactor to higher substrate load: Redox controlled process integration strategy to overcome limitations	Mohanakrishna G.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8943-8952	2011	India
561	Hydrogen production from soft-drink wastewater in an upflow anaerobic packed-bed reactor	Peixoto G.	International Journal of Hydrogen Energy	36	8953-8966	2011	Brasil
562	Oleaginous yeast <i>Cryptococcus curvatus</i> culture with darkfermentation hydrogen production effluent as feedstock for microbial lipid production	Chi Z.	International Journal of Hydrogen Energy	36	9542-9550	2011	USA
563	Microbial characterization of hydrogen-producing bacteria in fermented food waste at different pH values	Mohd N.	International Journal of Hydrogen Energy	36	9571-9580	2011	Malasia
564	Optimization of media composition for the production of biohydrogen from waste glycerol	Jitwung R.	International Journal of Hydrogen Energy	36	9602-9611	2011	Canadá
565	Optimization of combined (acid D thermal) pretreatment for fermentative hydrogen production from <i>Laminaria japonica</i> using response surface methodology (RSM)	Jung K.	International Journal of Hydrogen Energy	36	9626-9631	2011	Corea del Sur

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
566	Genetic Engineering of Cyanobacteria to Enhance Biohydrogen Production from Sunlight and Water	Masukawa H.	A Journal of the Human Environment	41	169-173	2012	China
567	Biodiversity and fermentative activity of caecal microbial communities in wild and farm rabbits from Spain	Abecia L.	Anaerobe	18	344-349	2012	España
568	Utilisation of waste bread for fermentative succinic acid production	Chark C.	Biochemical Engineering Journal	65	10-15	2012	Hong Kong
569	Influence of aerobic and anoxic microenvironments on polyhydroxyalkanoates (PHA) production from food waste and acidogenic effluents using aerobic consortia	Venkateswar R.	Bioresource Technology	103	313-321	2012	India
570	Fermentative production of ethanol from syngas using novel moderately alkaliphilic strains of <i>Alkalibaculum bacchi</i>	Liu K.	Bioresource Technology	104	336-341	2012	USA
571	Hydrogen and volatile fatty acid production during fermentation of cellulosic substrates by a thermophilic consortium at 50 and 60 °C	Carver S.	Bioresource Technology	104	424-431	2012	USA
572	Effect of exogenous electron shuttles on growth and fermentative metabolism in <i>Clostridium</i> sp. BC1	Nancharaiiah V.	Bioresource Technology	108	295-299	2012	USA
573	Hydrogen production and microbial diversity in sewage sludge fermentation preceded by heat and alkaline treatment	Kang J.	Bioresource Technology	109	239-243	2012	Corea del Sur
574	Strategies for improving biological hydrogen production	Hallenbeck P.	Bioresource Technology	110	1-9	2012	Canadá
575	Fermentative hydrogen production from molasses wastewater in a continuous mixed immobilized sludge reactor	Han W.	Bioresource Technology	110	219-223	2012	China
576	Gas controlled hydrogen fermentation	Bastidas J.	Bioresource Technology	110	503-509	2012	Francia
577	Fermentation of lactose and its constituent sugars by <i>Escherichia coli</i> WDH1: Impact on hydrogen production	Rosales-Colunga L.	Bioresource Technology	111	180-184	2012	México
578	Fermentative biohydrogen production from lactate and acetate	Wu C.	Bioresource Technology	113	30-36	2012	China
579	Effect of carbonate on anaerobic acidogenesis and fermentative hydrogen production from glucose using leachate as supplementary culture under alkaline conditions	Liu Q.	Bioresource Technology	113	37-43	2012	China
580	Enhanced photo-fermentative hydrogen production by	Ma C.	Bioresource Technology	118	490-	2012	China

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	Rhodobacter capsulatus with pigment content manipulation				495		
581	Effect of temperature on continuous fermentative lactic acid (LA) production and bacterial community, and development of LA-producing UASB reactor	Kim D.	Bioresource Technology	119	355-361	2012	Corea del Sur
582	Biohydrogen production from arabinose and glucose using extreme thermophilic anaerobic mixed cultures	Abreu A.	Biotechnology for Biofuels	5	6-17	2012	Portugal
583	Fermentative hydrogen production from glucose and starch using pure strains and artificial co-cultures of Clostridium spp.	Masset J.	Biotechnology for Biofuels	5	35-49	2012	Bélgica
584	Construction and transformation of a Thermotoga-E. coli shuttle vector	Han D.	BMC Biotechnology	12	2-10	2012	USA
585	Hybrid neural modeling framework for simulation and optimization of diauxie-involved fed-batch fermentative succinate production	Setoodeh P.	Chemical Engineering Science	81	57-76	2012	Irán
586	High Biomass Sorghum as a Potential Raw Material for Biohydrogen Production: A Preliminary Evaluation	Nagaiah D.	Current Trends in Biotechnology & Pharmacy	6	183-189	2012	India
587	Effects of VFAs Concentration on Bio-hydrogen Production with Clostridium Bifermentans 3AT-ma	Zhang S.	Energy Procedia	14	518-523	2012	Corea del Sur
588	Effects of hydrogen partial pressure on fermentative biohydrogen production by a chemotropic Clostridium bacterium in a new horizontal rotating cylinder reactor	Laurent B.	Energy Procedia	29	34-41	2012	Bélgica
589	Evaluation of pre-treatment on the first stage of an anaerobic digester for enhancing bio-hydrogen production and its associated energy balance	Peña K.	Energy Procedia	29	469-479	2012	Alemania
590	Selection of natural bacterial communities for the biological production of hydrogen	García R.	International Journal of Hydrogen Energy	37	10095-10100	2012	Argentina
591	Hydrogen and methane potential based on the nature of food waste materials in a two-stage thermophilic fermentation process	Chu C.	International Journal of Hydrogen Energy	37	10611-10618	2012	China
592	Enzymatic dynamics of microbial acid tolerance response (ATR) during the enhanced biohydrogen production process via anaerobic digestion	Huang Z.	International Journal of Hydrogen Energy	37	10665-10662	2012	China
593	Hydrogen production from alcohol wastewater by an anaerobic sequencing batch reactor under thermophilic operation: Nitrogen and phosphorous uptakes and	Intanoo P.	International Journal of Hydrogen Energy	37	11104-11112	2012	Tailandia

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	transformation						
594	Bio-hythane production from food waste by dark fermentation coupled with anaerobic digestion process: A long-term pilot scale experience	Cavinato C.	International Journal of Hydrogen Energy	37	11549-11555	2012	Italia
595	Anthrahydroquinone-2,6-disulfonate increases the rate of hydrogen production during <i>Clostridium beijerinckii</i> fermentation with glucose, xylose, and cellobiose	Ye X.	International Journal of Hydrogen Energy	37	11701-11709	2012	USA
596	Statistical optimization of factors affecting biohydrogen production from xylose fermentation using inhibited mixed anaerobic cultures	Chaganti S.	International Journal of Hydrogen Energy	37	11710-11718	2012	Canadá
597	Syntrophic metabolism of a co-culture containing <i>Clostridium cellulolyticum</i> and <i>Rhodopseudomonas palustris</i> for hydrogen production	Jiao Y.	International Journal of Hydrogen Energy	37	11719-11726	2012	USA
598	Dilute-acid pretreatment of barley straw for biological hydrogen production using <i>Caldicellulosiruptor saccharolyticus</i>	Panagiotopoulos I.	International Journal of Hydrogen Energy	37	11727-11734	2012	Grecia
599	Pretreating mixed anaerobic communities from different sources: Correlating the hydrogen yield with hydrogenase activity and microbial diversity	Pendyala B.	International Journal of Hydrogen Energy	37	12175-12186	2012	Canadá
600	Dark fermentative hydrogen production from xylose by a hot spring enrichment culture	Makinen A.	International Journal of Hydrogen Energy	37	12234-12240	2012	Finlandia
601	Effect of the initial total solids concentration and initial pH on the bio-hydrogen production from cafeteria food waste	Ramos C.	International Journal of Hydrogen Energy	37	13288-13295	2012	México
602	Fermentative production of hydrogen and soluble metabolites from crude glycerol of biodiesel plant by the newly isolated hermotolerant <i>Klebsiella pneumoniae</i> TR17	Chookaew T.	International Journal of Hydrogen Energy	37	13314-13322	2012	Tailandia
603	Sequential generation of hydrogen and methane from xylose by two-stage anaerobic fermentation	Cheng J.	International Journal of Hydrogen Energy	37	13323-13329	2012	China
604	Combination of dark- and photo-fermentation to improve hydrogen production from <i>Arthrospira platensis</i> wet biomass with ammonium removal by zeolite	Cheng J.	International Journal of Hydrogen Energy	37	13330-13337	2012	China
605	Enhancement of hydrogen production by recycling of methanogenic effluent in two-phase fermentation of food waste	Kim S.	International Journal of Hydrogen Energy	37	13777-13782	2012	Corea del Sur
606	Biohydrogen production from waste glycerol and sludge by anaerobic mixed cultures	Sittijunda S.	International Journal of Hydrogen Energy	37	13789-13796	2012	Tailandia

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
607	Innovative CO ₂ pretreatment for enhancing biohydrogen production from the organic fraction of municipal solid waste (OFMSW)	Bru K.	International Journal of Hydrogen Energy	37	14062-14071	2012	Francia
608	Effect of fermentation conditions on biohydrogen production from lipid-rich food material	Kim H.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15062-15069	2012	Corea del Sur
609	Fermentative hydrogen production by <i>Clostridium butyricum</i> CGS5 using carbohydrate-rich microalgal biomass as feedstock	Liu C.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15458-15464	2012	Taiwán
610	Media optimization for biohydrogen production from waste glycerol by anaerobic thermophilic mixed cultures	Sittijunda S.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15473-15482	2012	Tailandia
611	Effect of hydraulic retention time on hydrogen production and chemical oxygen demand removal from tapioca wastewater using anaerobic mixed cultures in anaerobic baffled reactor (ABR)	Thanwised P.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15503-15510	2012	Tailandia
612	Feasible pretreatment of textile wastewater for dark fermentative hydrogen production	Li Y.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15511-15517	2012	Taiwán
613	Silage as source of bacteria and electrons for dark fermentative hydrogen production	Li Y.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15518-15524	2012	Taiwán
614	Thermophilic dark fermentation of untreated rice straw using mixed cultures for hydrogen production	Chen C.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15540-15546	2012	Taiwán
615	Fermentative bioenergy production from distillers grains using mixed microflora	Chuang Y.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15547-15555	2012	Taiwán
616	Enhancing the performance of dark fermentative hydrogen production using a reduced pressure fermentation strategy	Lee K.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15556-15562	2012	Taiwán
617	Enhanced H ₂ fermentation of organic waste by CO ₂ sparging	Kim D.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15563-15568	2012	Corea del Sur
618	Fermentative hydrogen production using a real-time fuzzy controller	Huang S.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15575-15581	2012	Taiwán
619	Mesophilic fermentative hydrogen production from sago starch-processing wastewater using enriched mixed cultures	Sen B.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15588-15597	2012	Taiwán
620	Biohydrogen production: Current perspectives and the way forward	Show K.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15616-15631	2012	Malasia
621	Fermentative hydrogen production from wastewaters: A review and prognosis	Lin C.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15632-15642	2012	Taiwán
622	Continuous fermentative hydrogen and methane	Jung K.	International Journal of	37	15648-	2012	Corea del

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	production from <i>Laminaria japonica</i> using a two-stage fermentation system with recycling of methane fermented effluent		Hydrogen Energy		15657		Sur
623	Techno-economic evaluation of biohydrogen production from wastewater and agricultural waste	Li Y.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15704-15710	2012	Taiwán
624	Value analysis for commercialization of fermentative hydrogen production from biomass	Chang Pao.	International Journal of Hydrogen Energy	37	15746-15752	2012	Taiwán
625	Optimizing biohydrogen production from mushroom cultivation waste using anaerobic mixed cultures	Lay C.	International Journal of Hydrogen Energy	37	16473-16478	2012	Taiwán
626	Investigation of biogas and hydrogen production from waste water of milk-processing industry in Turkey	Coskun C.	International Journal of Hydrogen Energy	37	16498-16504	2012	Turquía
627	Fermentative biohydrogen production II: Net energy gain from organic wastes	Perera K.	International Journal of Hydrogen Energy	37	167-178	2012	USA
628	Performance and composition of bacterial communities in anaerobic fluidized bed reactors for hydrogen production: Effects of organic loading rate and alkalinity	Shida G.	International Journal of Hydrogen Energy	37	16925-16934	2012	Brasil
629	Lactic acid as a substrate for fermentative hydrogen production	Grause G.	International Journal of Hydrogen Energy	37	16967-16973	2012	Japón
630	Kinetic analysis of biohydrogen production from anaerobically treated POME in bioreactor under optimized condition	Rasdi Z.	International Journal of Hydrogen Energy	37	17724-17730	2012	Malasia
631	Regulating biohydrogen production from wastewater by applying organic load-shock: Change in the microbial community structure and bio-electrochemical behavior over long-term operation	Kannaiah R.	International Journal of Hydrogen Energy	37	17763-17777	2012	India
632	Effects of biomass, COD and bicarbonate concentrations on fermentative hydrogen production from POME by granulated sludge in a batch culture	Mohammadi P.	International Journal of Hydrogen Energy	37	17801-17808	2012	Malasia
633	Hydrogen supersaturation in thermophilic mixed culture fermentation	Zhang F.	International Journal of Hydrogen Energy	37	17809-17816	2012	China
634	Biological hydrogen production by <i>Anabaena</i> sp. e Yield, energy and CO ₂ analysis including fermentative biomass recovery	Ferreira A.	International Journal of Hydrogen Energy	37	179-190	2012	Portugal
635	Effects of linoleic acid and its degradation by-products on mesophilic hydrogen production using flocculated and granular mixed anaerobic cultures	Cata N.	International Journal of Hydrogen Energy	37	18747-18760	2012	Canadá

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
636	Assessing the impact of palmitic, myristic and lauric acids on hydrogen production from glucose fermentation by mixed anaerobic granular cultures	Cata N.	International Journal of Hydrogen Energy	37	18761-18772	2012	Canadá
637	Modeling of fermentative hydrogen production from sweet sorghum extract based on modified ADM1	Antonopoulou G.	International Journal of Hydrogen Energy	37	191-208	2012	Grecia
638	Thermophilic fermentative hydrogen production from various carbon sources by anaerobic mixed cultures	Kim D.	International Journal of Hydrogen Energy	37	2021-2027	2012	Corea del Sur
639	Photofermentative hydrogen production using dark fermentation effluent of sugar beet thick juice in outdoor conditions	Ozkan E.	International Journal of Hydrogen Energy	37	2044-2049	2012	Turquía
640	A rapid and simple protocol for evaluating biohydrogen production potential (BHP) of wastewater with simultaneous process optimization	Venkata S.	International Journal of Hydrogen Energy	37	3130-3141	2012	India
641	Hydrogen production by anaerobic co-digestion of rice straw and sewage sludge	Kim M.	International Journal of Hydrogen Energy	37	3142-3139	2012	Japón
642	Inhibition of fermentative hydrogen production by lignocellulose-derived compounds in mixed cultures	Quemeneur M.	International Journal of Hydrogen Energy	37	3150-3159	2012	Francia
643	Effect of sludge recirculation on characteristics of hydrogen production in a two-stage hydrogenemethane fermentation process treating food wastes	Kobayashi T.	International Journal of Hydrogen Energy	37	5602-5611	2012	Japón
644	Hydrogen production from vegetable waste by bioaugmentation of indigenous fermentative communities	Marone A.	International Journal of Hydrogen Energy	37	5612-5622	2012	Italia
645	Escherichia coli (XL1-BLUE) for continuous fermentation of bioH ₂ and its separation by polyimide membrane	Bakonyi P.	International Journal of Hydrogen Energy	37	5623-5630	2012	Hungría
646	Effects of pretreatment method of natural bacteria source on microbial community and bio-hydrogen production by dark fermentation	Song Z.	International Journal of Hydrogen Energy	37	5631-5636	2012	China
647	Efficiency and efficacy of pre-treatment and bioreaction for bio-H ₂ energy production from organic waste	Ruggeri B.	International Journal of Hydrogen Energy	37	6491-6502	2012	Italia
648	Comparison between heterofermentation and autofermentation in hydrogen production from <i>Arthrospira (Spirulina) platensis</i> wet biomass	Cheng J.	International Journal of Hydrogen Energy	37	6536-6544	2012	China
649	Hydrothermal hydrolysis of starch with CO ₂ and detoxification of the hydrolysates with activated carbon for bio-hydrogen fermentation	Orozco R.	International Journal of Hydrogen Energy	37	6545-6553	2012	UK
650	Effect of microwave irradiation pretreatment of cow dung	Song Z.	International Journal of	37	6554-	2012	China

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	compost on bio-hydrogen process from corn stalk by dark fermentation		Hydrogen Energy		6561		
651	Two-stage UASB reactor converting coffee drink manufacturing wastewater to hydrogen and methane	Jung K.	International Journal of Hydrogen Energy	37	7473-7481	2012	Corea del Sur
652	Bacterial community analyses by pyrosequencing in dark fermentative H ₂ -producing reactor using organic wastes as a feedstock	Im W.	International Journal of Hydrogen Energy	37	8330-8337	2012	Corea del Sur
653	Bio-hydrogen production from cheese whey powder (CWP) solution: Comparison of thermophilic and mesophilic dark fermentations	Kargi F.	International Journal of Hydrogen Energy	37	8338-8342	2012	Turquía
654	Biological fermentative hydrogen and ethanol production using continuous stirred tank reactor	Han W.	International Journal of Hydrogen Energy	37	843-847	2012	China
655	Towards the integration of dark- and photo-fermentative waste treatment. 4. Repeated batch sequential dark- and photofermentation using starch as substrate	Laurinavichene T.	International Journal of Hydrogen Energy	37	8800-8810	2012	Rusia
656	The influence of the degree of back-mixing on hydrogen production in an anaerobic fixed-bed reactor	Fontes L.	International Journal of Hydrogen Energy	37	9630-9635	2012	Brasil
657	Inactivation of uptake hydrogenase leads to enhanced and sustained hydrogen production with high nitrogenase activity under high light exposure in the cyanobacterium <i>Anabaena siamensis</i> TISTR 8012	Khetkorn W.	Journal of Biological Engineering	6	19-29	2012	Suiza
658	Fermentative glycolysis with purified <i>Escherichia coli</i> enzymes for in vitro ATP production and evaluating an engineered enzyme	Stevenson B.	Journal of Biotechnology	157	113-123	2012	Australia
659	1,3-Propanediol production and tolerance of a halophilic fermentative bacterium, <i>Halanaerobium saccharolyticum</i> subsp. <i>Saccharolyticum</i>	Kivistö A.	Journal of Biotechnology	158	242-247	2012	Finlandia
660	Enhancing biological hydrogen production from cyanobacteria by removal of excreted products	Ananyev G.	Journal of Biotechnology	162	97-104	2012	USA
661	Simultaneous hydrogen and ethanol production from sweet potato via dark fermentation	Lay C.	Journal of Cleaner Production	27	155-164	2012	Taiwán
662	Anaerobic Biohydrogen Fermentation from Paper Mill Sludge	Wu F.	Journal of Energy Engineering	138	1-6	2012	China
663	Improvements in fermentative biological hydrogen production through metabolic engineering	Hallenbeck P.	Journal of Environmental Management	95	5360-5364	2012	Canadá
664	Improved production of biohydrogen in lightpowered	Kim J.	Microbial Cell Factories	11	2-8	2012	Corea del

No.	Título	Autor	Revista	Vol.	Pág.	Año	País
	Escherichia coli by co-expression of proteorhodopsin and heterologous hydrogenase.						Sur
665	A comprehensive and quantitative review of dark fermentative biohydrogen production	Rittmann S.	Microbial Cell Factories	11	115-132	2012	Austria
666	Technology Research on Bio-hydrogen Production	Bo W.	Procedia Engineering	43	53-58	2012	China
667	Fermentative hydrogen production – An alternative clean energy source	Kothari R.	Renewable and Sustainable Energy Reviews	16	2337-2346	2012	India
668	Thermophilic fermentative hydrogen production from xylose by Thermotoga neapolitana DSM 4359	Anh T.	Renewable Energy	37	174-179	2012	Japón
669	Dark fermentative hydrogen production by mixed anaerobic cultures: Effect of inoculum treatment methods on hydrogen yield	Rao S.	Renewable Energy	48	117-121	2012	Canadá
670	Enhanced hydrogen production from waste activated sludge by cascade utilization of organic matter in microbial electrolysis cells	Lu L.	Water Research	46	1015-1026	2012	China

**C. Anexo: Cuadro resumen de
artículos en producción de
biohidrógeno**

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
[33]	<u>Escala:</u> Piloto. <u>Inóculo:</u> Se obtuvo de un digestor de una PTAR. <u>Sustrato (mg/l):</u> glucosa 11700, 100 extracto de levadura, 5223 NaHCO ₃ , 38.2 NH ₄ Cl, 17.3 Na ₂ HPO ₄ , 2.6 KH ₂ PO ₄ , 16 MgCl ₂ ·6H ₂ O, 2.6 MnSO ₄ ·H ₂ O, 0.8 CuSO ₄ ·5H ₂ O, 0.015 CaCl ₂ ·2H ₂ O, 4 FeSO ₄ ·7H ₂ O. <u>Condiciones de operación:</u> Temp. 36 ± 1°C, régimen continuo, volumen de cada reactor 1.0l, TRH 2, 4, 6, 8 y 10 h. <u>Parámetros observados:</u> Se hizo un conteo de bacterias empleando el método de tubo rotatorio.	El valor del pH en el efluente para diferentes TRH vario desde 5.7 a 6.3. El valor medio del Potencial de Oxido Reducción POR vario de -315 a -337 mV, cuando el TRH fue 2-8h y -229 mV para 10 h de TRH. Se produjeron AVGs en el siguiente orden: acético, n-butírico, propiónico y valérico. La cantidad de bacterias anaerobias aumento (formadoras de ácidos y del género <i>Clostridium</i>), y reductoras de sulfatos disminuyó. Cuando se incrementó de 2 a 10h el TRH el contenido de H ₂ disminuyó de 12 a 9%
[47]	<u>Escala:</u> Tipo batch. <u>Inóculo:</u> Se emplearon dos clases de microflora, la primera de lodo de digestión anaerobia, el otro de un lodo activado aerobio. <u>Sustrato:</u> Se empleó celulosa en polvo (g/l): KH ₂ PO ₄ , 1.5; Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O, 4.2; NH ₄ Cl, 0.5; MgCl ₂ ·6H ₂ O, 0.18; extracto de almidón, 2.0; celulosa en polvo, 10. <u>Condiciones de operación:</u> Se inocularon 15g de la microflora en 3l del medio de cultivo a 200 rpm y 60°C en condiciones anaerobias. Para inhibir actividad de bacterias fotosintéticas se hizo el experimento sin iluminación.	Se obtuvo después de 120h de cultivo 1375 ml/-cultivo de gas para la microflora de los lodos de digestión anaerobia con (33% de H ₂ , 50% de CO ₂ y 17% de CH ₄) y 3325 para el lodo de compost con (58% de H ₂ , 42% de CO ₂ y N.D. de CH ₄). Los lodos de digestión produjeron AVG en la siguiente cantidad (mg/l): 1154 de acetato, 630 de butirato, y compuestos de lodos activados 1724 de acetato, 1281 de butirato.
[48]	<u>Escala:</u> Reactor batch. <u>Inóculo:</u> Se empleó microflora proveniente de lodos anaerobios activados de una empresa de azúcares. <u>Condiciones operación:</u> agitado a 200 rpm a 60°, pH 6.8. El experimento se realizó sin iluminación para prevenir el crecimiento de bacterias fotosintéticas. El volumen de gas se midió por el método de desplazamiento de agua.	En los cultivos de quimiostato la producción de acetato fue menor que la producción de hidrógeno. La máxima producción de hidrógeno se obtuvo a un corto TRH (14mmol/g carbohidratos a un TRH de 0.5d), la producción de ácidos orgánicos incremento con el TRH. Se sospecha que la fermentación homo acetogénica en la cual no hay producción de hidrógeno podría ser el proceso dominante a lo largo del TRH.
[20]	<u>Escala:</u> Reactor en continuo. <u>Inóculo:</u> Cultivos en vacío y sin vacío. <u>Sustrato:</u> Glucosa y polipeptona a una concentración de 0.5 o 1.0%. <u>Condiciones de operación:</u> Los cultivos se realizaron en botellas de vidrio de 1040 ml que contenían 600 ml de sustrato, pH de 6.7, TRH 8h, y 30°C en agitación.	Los cultivos sin vacío a los 16 días de incubación mostraron una producción de hidrógeno de 2.0 a 2.3 mol-H ₂ /mol-glucosa y 1.4 a 2.0 mol-H ₂ /mol-glucosa para concentraciones de sustrato de 0.5 y 1.0% respectivamente. Los cultivos en vacío manejados a 0.28 atm dieron una producción de hidrógeno de 1.8 a 2.3 mol-H ₂ /mol-glucosa y 1.3 a 2.2 mol-H ₂ /mol-glucosa para concentraciones del sustrato de 0.5 y 1.0% respectivamente.
[14]	<u>Escala:</u> Digestor anaerobio de lecho fluidizado de alta tasa. <u>Inóculo:</u> Simulaba residuos de panadería (con DQO aprox. de 12,000 mg O ₂ /l). <u>Condiciones de operación:</u>	Al aumentar la tasa volumétrica de sustrato (kg DQO/m ³ /día) se generaron picos en la presión parcial de hidrógeno. No se encontró una clara relación entre los niveles

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
	Operado a 37°C, consistente en dos reactores conectados en paralelo (volumen total líquido 11l). La tasa de biogás se midió con un medidor de gas en línea con adquisición de datos cada 6 min.	de digestión del ácido propiónico y el biogás de hidrógeno. Los cambios en la producción de hidrógeno no se asocian tanto a la carga orgánica sino un poco más a los cambios en la calidad del sustrato. Se presentaron variaciones considerables en la presión del hidrógeno dependiendo del grado de acidificación del sustrato.
[44]	<u>Escala:</u> Reactor batch. <u>Inóculo:</u> Se empleó un consorcio microbiano obtenido de un compostador anaerobio de una industria trituradora de papel. <u>Sustrato:</u> El medio empleado para humedecer las tiras de papel contenía por litro: 20g KH ₂ PO ₄ , 30g K ₂ HPO ₄ , 12.5g NH ₄ Cl, 5g NaCl, 2g MgSO ₄ , 0.43g Na ₂ S, 10ml de sales mineral. <u>Condiciones operacionales:</u> El pH se ajustó a 6.9. El <i>C. thermocellum</i> , fue inyectado en las botellas para proveer un 10% de inóculo. Las botellas se incubaron a 55°C.	Las botellas inoculadas con el compost de la industria de papel produjeron CH ₄ pero no hidrógeno. La preincubación con aire permitió la inhibición inicial de CH ₄ y la producción de hidrógeno. La adición de 1% de acetileno, inhibió completamente la metanogénesis mejorando la producción de hidrógeno. Los datos demostraron que el acetileno puede ser efectivo para la inhibición de la metanogénesis sin inhibir la producción de hidrógeno.
[22]	<u>Escala:</u> El experimento se realizó en botellas de vidrio de 120ml. <u>Inóculo:</u> Se emplearon Residuos Sólidos Municipales RSM mezclados con lodos y agua de una PTAR y dos clases de microorganismos, la primera con bacterias netamente productoras de H ₂ y la otra de un lodo de digestión anaerobia pretratado durante 15min con calor para inhibir las consumidoras de H ₂ . <u>Sustrato</u> (g/l): 200 de NH ₄ HCO ₃ , 100 KH ₂ PO ₄ , 10 MgSO ₄ ·7H ₂ O, 1.0 NaCl, 1.0 Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O, 10 CaCl ₂ ·2H ₂ O, 1.5 MnSO ₄ ·7H ₂ O y 0.278 FeCl ₂ . <u>Condiciones de operación:</u> El experimento se realizó a 37°C, se emplearon simultáneamente 18 digestiones con composiciones diferentes de residuos y microorganismo, agitación 1.5 rpm.	Los resultados indican que las características del lodo de digestión pretratado fueron similares a las bacterias formadoras de esporas del genero <i>Clostridium</i> . La curva de producción de hidrógeno en régimen bath puede ser descrita por la ecuación de Gompertz. El porcentaje de hidrógeno en el biogás fue mayor a 60% y nunca se obtuvo metano de forma significativa. Con una alta relación de Alimento/Microorganismo A/M, el lodo de digestión pretratado tuvo una alta actividad de hidrógeno, sin embargo las bacterias productoras de hidrógeno presentaron una alta producción con una relación baja de A/M. Los resultados experimentales mostraron que se presenta un cambio en la producción de solventes a un pH de 5.6.
[50]	<u>Escala:</u> Reactor batch. <u>Inóculo:</u> Se emplearon cuatro especies diferentes de bacterias metanógenicas: <i>Methanothermobactermarburgensis</i> con un precultivo a 65°C y pH 7.5 en un medio de sales minerales. <i>Methanosarcinabarkeri</i> con una temp. 37°C y pH 6.7 en sales minerales, estas dos bacterias crecieron en un sustrato únicamente con H ₂ y CO ₂ . <i>Methanosaeta thermophili</i> creció a 61°C y pH 6.5 en un medio con acetato. <i>Methanosaeta concilii</i> que es obligatoriamente acetoclastica creció empleando el mismo medio pero a 35°C y pH 7	La producción de hidrógeno en <i>Methanothermobactermarburgensis</i> y <i>Methanosarcinabarkeri</i> presentaron patrones similares, ambos organismos comparten rutas catabólicas similares de H ₂ y CO ₂ . Las dos especies de <i>Methanosaeta</i> emplean rutas que difieren significativamente de las rutas de H ₂ /CO ₂ . Los resultados indican que la producción de H ₂ en <i>Methanothermobactermarburgensis</i> y <i>Methanosarcinabarkeri</i> es controlado biológicamente y que el H ₂ se produce de los metabolitos producidos durante el crecimiento de los precultivos. La producción estimada de H ₂ para las tres

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
		especies productoras vario de 0.16 a 0.25 $\mu\text{mol H}_2$. Los resultados indican que los compuestos no identificados se producen durante el crecimiento y se convierten luego a H_2 . La producción de hidrógeno nunca fue sostenida y fue independiente del nivel de metano.
[32]	<u>Escala:</u> reactor de tanque con agitación continúa CSTR. <u>Inóculo:</u> La microflora se obtuvo de la fermentación del frijol soya y se mantuvo en un medio con sales minerales con sacarosa a 35°C y 10h TRH con pH entre 4.7 y 5.0. <u>Condiciones operacionales:</u> La operación del reactor CSTR de 2.5l de capacidad con 2.3l de volumen de trabajo fue 8.5h TRH, 100 rpm, 35°C, pH 6.0. Se empleó N_2 como gas de aspersión a una tasa de 110 ml/min. Después de 50 días de operación, el N_2 se burbujeo por 49h, seguido por un retorno a las condiciones normales por 5 días. El segundo periodo de burbujeo duro 4.5 días.	La producción de hidrógeno fue estable a un pH 6.0 y un TRH de 8.5h. Se obtuvo una concentración de biomasa floculante de 1.5 g/l (peso seco) en el CSTR sin burbujeo y una biomasa no floculante de una baja concentración durante la aspersión. Se obtuvo una producción de hidrógeno de 0.85 y 1.43 mol/mol glucosa bajo condiciones de no aspersión y aspersión respectivamente; la aspersión con N_2 incremento en un 68% la producción de H_2 .
[46]	<u>Escala:</u> Quimiostato de 5l. <u>Inóculo:</u> Se empleó como microflora un compost de lodo. <u>Sustrato:</u> (g/l): KH_2PO_4 1.5, $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 4.2, NH_4Cl 0.5, $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.18, extracto de almidón 2.0, peptona 5.0, celulosa en polvo 10. <u>Condiciones operacionales:</u> El cultivo se desarrolló a 60°C con agitación de 200 rpm, el valor de pH se mantuvo en 6.4. Para el análisis microbiológico se emplearon técnicas de extracción de DNA	En este estudio se encontró que el <i>T. thermosaccharolyticum</i> es un organismo productor de H_2 . Sin embargo las cepas aisladas de este no mostraron actividad celulítica, por lo tanto el organismo parece tener una relación simbiótica con organismos celulolíticos. Se infiere que organismos como <i>C. thermocellum</i> , <i>C. cellulosi</i> y <i>R. albus</i> detectados por PCR-DGGE están fuertemente interrelacionados en la función de producción de H_2 en la microflora. La producción de H_2 fue menor con el quimiostato que con el cultivo en batch. La producción de H_2 es posible si hay superávit de electrones en la reacción para que estos se reduzcan a protones por la enzima hidrogenasa. La proliferación de productores de acetato y butirato es necesaria para obtener una alta eficiencia en la producción de H_2 .
[7]	<u>Escala:</u> Reactor continuo de 4l. <u>Inóculo:</u> Se obtuvo de una PTAR. <u>Sustrato:</u> Contenía sacarosa (20000 mg DQO/l) con contenido de suplementos inorgánicos que incluyen NH_4HCO_3 (5240 mg/l), K_2HPO_4 (125 mg/l), $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (100 mg/l), $\text{MnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (15 mg/l), $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (25 mg/l), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (5 mg/l), $\text{CoCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0.125 mg/l) y NaHCO_3 (6720 mg/l). <u>Condiciones operacionales:</u> Temp. 33°C y pH 6.7. El reactor se comenzó a operar en modo	Se observó que la tasa de producción de H_2 mejoro con un cambio en la tasa de dilución de 0.02 a 0.075h ⁻¹ . El ácido butírico fue el metabolito predominante durante la operación. La relación óptima de AcidoButirico/Ácido Acético empleando glucosa para <i>Clostridiumbutyricum</i> <i>Bacillusmethylotrophicum</i> fue 2 y 0.75, respectivamente. La concentración de solventes (etanol) fue baja durante la mayor producción de H_2 .

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
	semicontinuo con una disminución gradual del TRH de 20 a 2.5 días. El reactor después se cambió a operación continua con TRH de 13.3-6h.	
[19]	<u>Escala:</u> Tipo batch. <u>Inóculo:</u> Se tomó de un digestor a escala laboratorio. <u>Sustrato:</u> Un litro del medio contenía NH_4HCO_3 2g, KH_2PO_4 1g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 100 mg, NaCl 10 mg, $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10 mg, $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 10 mg, $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 15 mg. <u>Condiciones operacionales:</u> Temp. 37°C, pH 6.0. A cada botella se adicionaron 20 ml de inóculo, 20 ml de sustrato, 20 ml de la solución de sacarosa (40 g/l) y 20 ml de solución de FeCl_2 (vario de 0 a 16 g FeCl_2/l). La producción de biogás se determinó empleando el método Owen.	La TPH de H_2 fue 24 ml/g SSV/h a una concentración de 4000 mg FeCl_2/l. La tasa de producción específica de butirato incremento con el incremento en la concentración de Fe de 0 hasta 20 mg FeCl_2/l, y disminuyo con un incremento en la concentración de Fe de 20 hasta 4000 mg FeCl_2/l. Las tasas de producción máximas de etanol (682 mg/g SSV/h) y butanol (47.0 mg/g SSV/h) se obtuvieron a una concentración de 5 y 3mg FeCl_2/l, respectivamente. La producción máxima de acetato (389.3 mg/g sacarosa), propionato (37.8 mg/g sacarosa), y butirato (196.5 mg/g sacarosa) se obtuvieron a una concentración de Fe de 3, 200 y 200 mg FeCl_2/l respectivamente. Las eficiencias en la degradación de la sacarosa fueron cercanas a 1.0 cuando las concentraciones de hierro estuvieron entre 200 y 800 mg FeCl_2/l la producción máxima de biomasa fue 0.283 g SSV/g sacarosa a una concentración de hierro de 3000 mg FeCl_2/l.
[59]	<u>Escala:</u> Reactor batch. <u>Inóculo:</u> Se empleó una bacteria anoxigenicafototrófica <i>Rhodobactersphaeroides</i> y una bacteria anaerobia <i>Clostridiumbutyricum</i>. <u>Sustrato:</u> <i>Rb. Sphaeroides</i>se precultivo en un medio de glutamato-lactato (medio Lg) para activar la nitrogenasa. El medio de pre-cultivo para <i>C. butyricum</i> y co-cultivo de <i>Rb. Sphaeroides</i> y <i>C. butyricum</i> contenía (en 1l de medio basal) 50 mM de glucosa, 10 mM sodio L-glutamato, 0.01% de extracto de carne, 0.02% de extracto de almidón y 0.1M de buffer fosfato de sodio (pH=7.9). <u>Condiciones de operación:</u> Temp. de 30°. En el sistema de co-cultivo atrapado, el inóculo se alteró a una mezcla de estas dos bacterias (10ml: 10ml). Se mantuvo una iluminación (lámparas de tungsteno) de 8500 lx. Después de 48h de pre-cultivo el medio se cambió por un medio Lg modificado para evaluar la producción de H_2 bajo la presencia de NH_4^+. En el medio modificado de Lg, el sodio DL-lactato y sodio L-glutamato se alteró a 50 mM de glucosa y $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ respectivamente.	El ión amonio no solo es un factor de inhibición en la producción de H_2 si no también una fuente de N_2 para el crecimiento de bacterias. Así, que el NH_4^+ que mejora el crecimiento de las bacterias anoxigénicas fototróficas, afecta la producción de energía disminuyendo la producción de H_2. La producción de H_2 en las bacterias fototróficas anoxigénicas fue inhibido por la cantidad de NH_4^+, aunque el NH_4^+ es consumido rápidamente. La producción de H_2 comenzó después de que el NH_4^+ se consumió. La actividad de H_2 estuvo por encima del promedio, esto fue posible porque este cultivo tiene ventaja en la transferencia de masa. La inhibición del efecto del NH_4^+ se ve aliviada por los cultivos de <i>Rb. Sphaeriodes</i>, a través de la perdida de eficiencia de producción de H_2 de algunos cultivos, esta pérdida puede ser compensada por el incremento de la concentración celular. Este cultivo tiene potencial para ser usado en la producción de H_2 cuando la concentración de NH_4^+ es mayor de (>5mM). Las bacterias anaerobias dominan la producción de hidrógeno en los co-cultivos, igualmente la producción de H_2

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
		aumenta con co-cultivos más que con cultivos simples, esto es posible porque la combinación de dos bacterias mejora la eficiencia en el metabolismo de las fuentes de energía y carbono.
[34]	<u>Escala:</u> Reactor tipo batch de 4l. <u>Inóculo:</u> Se obtuvo de una mezcla cultivada anaerobiamente de compost de hogares (500 g), residuos de un reactor con simulación de relleno sanitario (100 g), residuos sólidos de un relleno sanitario (200 g), suelo de jardín (200 g). <u>Condiciones de operación:</u> Temp. 37°C. Se empleó una trampa de sulfatos consistente en capas de ZnO mantenidas a 250°C para remover el sulfato de hidrógeno y otras sustancias con contenido de sulfuros. Se instaló una membrana de Pd-Ag consistente en un cilindro de aleación de Pd-Ag, el gas del reactor pasa a través de la membrana donde el H₂ la permea de adentro hacia afuera. La unidad de la membrana se ubicó en una cavidad aislada operada a una temperatura de 350°C.	Se removió entre 85 y 90% del hidrógeno por la membrana. Se observó que la trampa de sulfatos (ZnO) no removió cantidades significativas de hidrógeno. Cuando se desconectó la membrana después de 22 días la eficiencia de la trampa fue alta y no hubo indicios de obstrucción de la membrana por otros compuestos presentes en la mezcla de gas. Altas tasas de flujo y baja presión fuera de la membrana permitieron altas tasas de extracción de hidrógeno. La combinación de membranas para la separación de hidrógeno y la generación de hidrógeno biológico ofrecen interesantes posibilidades para combinar la remediación de residuos con la producción de hidrógeno.
[52]	<u>Escala:</u> Reactor batch botellas de 160ml y CSTR con volumen de 4.0 dm³. <u>Inóculo:</u> Se emplearon diferentes inóculos. <u>Sustrato:</u> Todos los reactores se operaron principalmente con sacarosa con diferencia en la fuente de minerales y nutrientes. <u>Condiciones de operación:</u> Las botellas se incubaron a 35°C. Los experimentos en continuo se realizaron en reactores CSTR a 35 °C. Se realizaron experimentos con cargas de choque. Los experimentos en bath se configuraron de dos maneras: en el primero se estudió la influencia de la morfología microbiana (flocs vs. gránulos), el pH, la actividad metanogénica y el tiempo de retención celular, en el segundo se estudió la influencia del tamaño del floc y pH en el sistema. En los experimentos en continuo se varió la concentración de bicarbonato a través de la manipulación de CO₂ mientras fueron sometidos a cambios de la carga orgánica/hidráulica.	La producción de hidrógeno fue influenciada principalmente por: el origen de la acidogénesis (historia del inóculo), la concentración media del pH y HCO ₃ y se encontró que era ligeramente dependiente de la estructura física del inóculo e independiente del tiempo de retención celular. La rápida producción de formatos unido a la alta actividad hidrogenotrófica, parece ser la principal razón para la falta de un incremento drástico en la concentración de hidrógeno durante las fases tempranas de producción. Tanto el hidrógeno como el formiato no se acumularon en ningún nivel significativo.
[11]	<u>Escala:</u> El experimento se desarrolló en un fermentador Biostat B. <u>Inóculo:</u> Se tomó de un reactor CSTR. <u>Sustrato:</u> La solución estuvo compuesta de 7000 mg/l de glucosa, más los siguientes nutrientes (mg/l): NaHCO₃ 1000; NH₄Cl 500; KH₂PO₄ 250; MgSO₄·7H₂O 320; FeCl₃ 50; NiSO₄ 32; CaCl₂ 50; Na₂BO₇·H₂O 7;	La degradación de la glucosa incremento de 90.3±1.0% a pH 4.0 hasta 99.3±0.9% a un pH de 5.5 y se mantuvo constante 98.8-99.5% para un rango de pH 5.5-7.0. El biogás estuvo libre de metano a un pH de 5.5 o más bajo, por causa de la supresión de la actividad metanogénica bajo condiciones ácidas. La producción de H ₂

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
	(NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O 14; ZnCl₂ 23; CoCl₂·6H₂O 21; CuCl₂·2H₂O 10; MnCl₂·4H₂O 30. <u>Condiciones de operación:</u> Temp. 36°C, TRH 6h y 200 rpm. El pH se aumentó desde 4.0 hasta 7.0 con incrementos de 0.5. Se adicionaron 50 ml del lodo original al fermentador cada vez que se ajustaba el pH. La morfología de las bacterias se analizó empleando un microscopio electrónico de barrido SEM. Para analizar las comunidades bacterianas se extrajo el ADN de una muestra de lodo en cada nivel de incremento de pH ampliando fragmentos de 16S rDNA por PCR y separadas por Electroforesis en gel DGGE.	alcanzó un óptimo a un pH de 5.5, la máxima producción de H₂ fue de 2.1±0.1 mol-H₂/mol-glucosa. Los compuestos más abundantes en el efluente fueron el butirato y el acetato, a un pH de 4.0-6.0 el efluente contenía principalmente butirato (41.4-32.4% en base al COT), seguido por acetato (15.30-29.5%). A un pH 6.5 y 7.0, acetato (33.1-34.1%) y el butirato (31.5-31.2%) estuvieron igualmente abundantes. Las bacterias productoras de H₂ a pH 4.5 y 5.5 estaban compuestas por bacilos de varias longitudes, más algunos diplobacilus y estreptobacilus. Los perfiles de DGGE mostraron claramente que las comunidades bacterianas aumentaban con el incremento de pH, el incremento de bandas a un mayor pH es debido a la presencia de metanogénesis.
[57]	<u>Escala:</u> Reactor batch botellas de 250ml. <u>Inóculo:</u> Se obtuvo de una PTAR y se sometió a un pretratamiento ácido para mejorar la productividad de H₂. <u>Sustrato:</u> Se empleó sacarosa que contenía 20000 mg de DQO/l de sacarosa y suplementos NH₄HCO₃ 5240 mg/l; NaHCO₃ 6720 mg/l; K₂HPO₄ 125 mg/l, MgCl₂·6H₂O 100 mg/l; MnSO₄·6H₂O 15mg/l, FeSO₄·7H₂O 25 mg/l, CuSO₄·5H₂O 5 mg/l y CoCl₂·5H₂O 0.125 mg/l. El lodo se mezcló con alginato de sodio con un 2% en la relación peso a volumen. La mezcla se introdujo dentro de una solución 0.2 M CaCl₂ para formar partículas de 2.5-3.0 mm de diámetro, las partículas se sumergieron en la solución de CaCl₂ por 2h antes de utilizarse. <u>Condiciones de operación:</u> Temp. 35°C y pH 6.7. Se adicionó una cantidad de carbón activado CA, poliuretano PU y látex acrílico con silicona LASC en la mezcla de alginato antes de la solidificación en la solución de CaCl₂.	La inmovilización de células en el estudio demostró una mejor productividad comparado con las células suspendidas. La incorporación de CA en el sistema de alginato de calcio permitió un aumento tanto en la tasa específica de producción de H₂ como en el rendimiento de hidrógeno. El CA tiene dos beneficios: primero provee un área superficial extra para el crecimiento celular y segundo la capacidad de absorción en los microporos de la estructura del CA aumentan la productividad de H₂, también el CA puede absorber una cantidad considerable de sustrato el cual sirve de reserva de alimento cuando la concentración de sustratos disminuye durante el curso de operaciones en batch. El poliuretano y LASC parece mejorar la estabilidad física de las células inmovilizadas, sin embargo el suplemento de PU y LASC parece que disminuye la eficiencia de producción de H₂. La producción de H₂ disminuye en el siguiente orden CA>LASC>PU, mientras que el LASC mostró la mejor estabilidad en la operación, seguido por PU y CA (para producción a largo plazo es más importante la estabilidad y durabilidad que la tasa de producción). En este estudio se encontró que la aclimatación juega un papel importante en la aceleración de la producción de H₂.
[29]	<u>Escala:</u> Reactor tipo batch por liberación periódica (método Owen) o continua (método respirométrico) de gas del headspace. <u>Inóculo:</u> Se tomó de muestras	La producción de H₂ fue 43% mayor en las botellas con los respirómetros que en las botellas donde el gas fue liberado empleando el método Owen. El máximo

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
	de suelo a 10cm de profundidad. Cada muestra se realizó choque térmico 104 °C por 2h. Las muestras se tamizaron en malla #20. <u>Sustrato</u> : Los donadores de electrones probados fueron glucosa, sacarosa, lactato y almidón de papa, celulosa y molasas. La solución de nutrientes contenía (por l) 2.0g NH_4HCO_3 , 1.0g KH_2PO_4 , 100mg $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 15mg $\text{MnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 2.78mg FeCl_2 . <u>Condiciones de operación</u> : Todas las botellas se agitaron y se mantuvieron a temp. constante 26°C	porcentaje de H_2 (64%) se alcanzó a las 44h y empezó a declinar a partir de este tiempo. Las pruebas de fermentación con dos azúcares (glucosa y sacarosa) produjeron altas concentraciones de H_2 62% durante el crecimiento logarítmico. La baja producción de H_2 con el método Owen comparado con el respirométrico sugiere que la acumulación del gas inhibe la producción de H_2 cuando se emplea glucosa. El aparente incremento de H_2 dado por el respirómetro durante las primeras 44 h se produjo por la dilución del gas H_2 por el gas N_2 inicial en el headspace.
[45]	<u>Condiciones de operación</u> : Se estudió un sistema que consistía en tres partes: primero un bioreactor solar con algas o cianobacterias, el bioreactor se conectó a un sistema de membranas activas que permitían remover el oxígeno producido y monitorear el dióxido de carbono. En un segundo reactor anaerobio se realizó la hidrólisis de la biomasa empleado comunidades metanogénicas pre-adaptadas. El líquido con bajo contenido orgánico del reactor metanogénico fue alimentado continuamente en el reactor solar con la bacteria fototrófica <i>Rhodobactercapsulatus</i> , el bioreactor se integró con un sistema de membranas activas que permiten separar la mezcla gaseosa (H_2/CO_2) en componentes individuales. Finalmente, para la producción de H_2 se empleó una bacteria fermentativa termofílica anaerobia <i>Thermohydrogeniumkirishi</i> , el sistema se conectó con una membrana activa para la separación de gas H_2/CO_2 para la producción de H_2 de alta pureza.	Los experimentos con sistemas de membranas sintéticas no porosas de polyvinyltrimethylsilane PVTMS demostraron una alta efectividad en la separación de gas, estas membranas pueden ser empleadas para la separación de CO_2/O_2 , CO/CH_4 y CO_2/H_2 . Se puede emplear una membrana PVTMS con transportadores líquidos activos con solución de K_2CO_3 para obtener combustibles gaseosos puros CH_4 , H_2 . La combinación de dos fotobioreactores solares y un digestor anaerobio con una membrana permeable absorbente de separación de gases demostraron ser un sistema efectivo y económico para obtener gases combustibles.
[5]	<u>Escala</u> : Reactor continuo. <u>Inóculo</u> : Se obtuvo de una PTAR, el inóculo se acidificó a pH 3-4 por 24h y después se cambió a pH 7. <u>Sustrato</u> : La composición del medio contenía 20g DQO/l sacarosa y suplemento inorgánico (g/l): NH_4HCO_3 5.24; NaHCO_3 6.72; K_2HPO_4 0.125; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.100; $\text{MnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.015; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.025; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.005 y $\text{CoCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 1.25×10^{-4} . <u>Condiciones de operación</u> : El reactor fue operado a un TRH de 0.5-5h, Temp. 35°C y un pH 6.7. Las columnas tenían como material de soporte Esponja de Estropajo EE, Arcilla Expansiva AE y Carbón Activado CA. La cantidad de biogás generado se registró por un medidor de	Las columnas con medio de CA, AE, EE acumularon 5.53, 1.85 y 0.94 g SSV/l de biomasa respectivamente. La producción de H_2 al final de la operación fue 1010 y 980 ml para el reactor de CA y AE para el reactor EE solo 190 ml. En este estudio la mejor tasa de producción de H_2 fue ca. 1.32 l/h/l para el reactor CA y THR = 1h y 0.42 l/h/l para AE a un TRH = 2h. El mejor reactor para producción de H_2 fue el CA. Es importante mencionar que TRH < 2h son demasiado altos para inhibir el crecimiento de bacterias productoras de H_2 , esto se debe a que cuando existe demasiado alimento, se desarrollan poblaciones competidoras de las productoras de H_2 .

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
	gas.	
[6]	<u>Escala:</u> Reactor CSTR. <u>Inóculo:</u> Se obtuvo de una PTAR <u>Sustrato:</u> El medio contenía sacarosa 20000mg DQO/l, con contenido de nutrientes inorgánicos (mg/l): 5240 NH_4HCO_3 , 125 K_2HPO_4 , 100 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 15 $\text{MnSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 25 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0.125 $\text{CoCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 6720 NaHCO_3 . <u>Condiciones de operación:</u> El sustrato se alimentó en continuo a TRH 13.3h hasta alcanzar un estado donde las concentraciones de los productos eran estables (variación menor al 10%), la temp. de operación fue 35°C.	La producción de H_2 aumento cuando se disminuyó el TRH hasta 2h, después de este valor la producción de H_2 disminuyo. Bajo condiciones estables se obtuvo una producción de H_2 de 4.52 ml H_2 /mol sacarosa y una tasa de producción específica de 841 mmol H_2 /g SSV día.
[58]	<u>Escala:</u> Los experimentos se realizaron en tres series batch en reactores de 280 ml. <u>Inóculo:</u> Lodo obtenido de un tanque de sedimentación secundaria de una PTAR. <u>Sustrato:</u> El medio contenía almidón como fuente de carbono más los siguientes nutrientes (mg/l): 1000 NaHCO_3 , 500 NH_4Cl , 250 KH_2PO_4 , 50 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 5 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 5 CaCl_2 , 1.5 FeSO_4 . <u>Condiciones experimentales:</u> La serie 1 se desarrolló para comprar producción de H_2 a 37°C y 55°C. La serie 2 se examinó el efecto del pH del agua residual (de 4.0 a 9.0 con incrementos de 1.0) tratando un AR con contenido 4.6 g/l de AR a 55°C. La serie 3 investigó el efecto del almidón en el AR de 9.2 a 36.6 g/l con incrementos de 9.2 g/l con pH de 6.0 y 55°C. Se realizó un análisis filogenético y secuenciamiento para análisis microbiano del lodo termofílico tratando 4.6 g/l de almidón a un pH 6.0. Se realizó un ajuste de los datos empleando la ecuación de Gompertz.	Se puede obtener más hidrógeno a partir de almidón bajo condiciones termofílicas (55°C) que mesofílicas (37°C) a 1.6 g/l y pH 7. El pH óptimo del agua residual para el rango termofílico se encontró entre 6.0-7.0. El máximo rendimiento de H_2 (92 ml/g almidón) se obtuvo a un pH 6.0, la máxima tasa de producción de H_2 específica 365 ml/(g SSV.d) fue a pH 7.0. Los productos acidificados contenían principalmente acetato (50-53.4%) y butirato (26-31.6%). Basado en el análisis filogenético el 85.7% de los clones desarrollados a partir del lodo del almidón eran del género <i>Thermoanaerobacterium</i> de la familia <i>Thermoanaerobacteriaceae</i> .
[36]	<u>Escala:</u> Reactor tipo batch. <u>Inóculo:</u> Se empleó lodo deshidratado de un digestor anaerobio. <u>Sustrato:</u> Se utilizó glucosa (3 g DQO/l) como sustrato en una solución que contenía (por litro): 0.5 g NH_4Cl , 0.25 g KH_2PO_4 , 0.25 g K_2HPO_4 , 300 mg $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 25 mg FeCl_3 , 16 mg NiSO_4 , 25 mg CaCl_2 , 11.5 mg ZnCl_2 , 10.5 $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 5 mg $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 15 mg $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. <u>Condiciones de operación:</u> Se empleó un pH de 6.2, se adicionó lodo pre tratado con temp. y no pre tratado en dos botellas.	Se obtuvo una tasa máxima de biogás de 145 ml cuando el inóculo fue pre tratado con calor y se operó a un pH = 6.2. Los AVG predominantes fueron acetato, propionato y butirato. Bajar el pH 7.5 hasta 6.2 para las muestras no tratadas y tratadas reduce la producción de metano.
[24]	<u>Escala:</u> Reactor Anaerobio de Biomasa Inmovilizada de Flujo Horizontal RAFH. <u>Inóculo:</u> Los MoS se obtuvieron por fermentación natural de agua residual	La producción de H_2 fue de 2.48, 2.15 y 1.81mol H_2 /mol de glucosa para concentraciones de 0, 1000 y 2000mg/l de NaHCO_3 . El aumento del pH por el NaHCO_3

Ref.	Proyecto experimental	Principales resultados
	sintética la cual se recirculó en el RAFH. <u>Sustrato:</u> El sustrato contenía glucosa y minerales como nutrientes. <u>Condiciones de operación:</u> El reactor se operó por 366 días en 7 fases experimentales. Las 2 iniciales tenían TRH de 2.0h, la 3ra vario de 2 a 0.5h y las otras constante de 0.5h. Para el TRH de 0.5 se emplearon concentraciones de NaHCO_3 así: Fase 5-0mg/l, fase 6-1000mg/l y fase 7-2000mg/l.	afectó la producción de ácidos orgánicos e H_2 a excepción del ácido propiónico, el cual aumentó cuando incrementó la alcalinidad.
[43]	<u>Escala:</u> Reactores batch volumen 2l. <u>Inóculo:</u> Se tomó de un reactor de lecho empacado empleado para producir H_2 de sustrato sintético basado en sacarosa. <u>Sustrato:</u> Se emplearon tres clases de efluentes agua residual doméstica, vinaza y glicerina y un control con sacarosa como sustrato, se adicionaron nutrientes. <u>Condiciones de operación:</u> pH 5.5, Temp. 25°C sin agitación.	La máxima producción de H_2 fue obtenida a partir de la vinaza equivalente a 25 mmol $\text{H}_2/\text{g DQO}$ o 17 mmol $\text{H}_2/\text{g SSV}$. La menor producción se obtuvo con glicerina con 6 mmol $\text{H}_2/\text{g DQO}$. De acuerdo con evaluación microbiológica se encontraron <i>Klebsiella sp.</i> la cual es consumidora de oxígeno y <i>Bacteroides sp.</i> es productora de H_2.
[31]	<u>Escala:</u> Reactores en batch. <u>Inóculo:</u> Se obtuvo de un reactor UASB de tratamiento de aguas de un frigorífico posteriormente se realizó un pretratamiento a 90°C por 15min. <u>Sustrato:</u> Se emplearon cuatro sustratos que contenían Xilosa en triplicado con concentraciones de 630, 1341, 1848 y 3588 mg/l respectivamente, Urea, Peptona y solución de Vitamina y suplemento de nutrientes. <u>Condiciones de operación:</u> pH 5.5, Temp. 37°C, sin agitación	La adición de peptona favoreció el crecimiento de bacterias productoras de H_2. El pretratamiento del inóculo fue efectivo para inhibir las bacterias consumidoras de H_2. El análisis de secuenciación genética mostro que el 57% de los MoS pertenecían al género <i>Clostridium</i>, 30% al <i>Burkholderia</i>, 8% a <i>Klebsiella</i> y 5% bacterias no cultivas. La concentración de Xilosa de 3588mg/l generó los mejores resultados en producción de H_2 con 12882.9 $\mu\text{mol H}_2/\text{l}$ y rendimiento 0.8 mol H_2/mol de Xilosa. En todas las condiciones predominó la producción de ácido acético seguido de butírico.
[12]	<u>Escala:</u> Batch. <u>Inóculo:</u> Se empleó como inóculo estiércol de elefante precalentado a 100°C. <u>Sustrato:</u> El sustrato contenía 10 g/L de glucosa y nutrientes por L: 200g NH_4HCO_3, 100g KH_2PO_4, 10g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 1g NaCl, 1g $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 1g $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 0.278g FeCl_2. <u>Condiciones de operación:</u> El experimento se desarrolló en botellas de 70ml, con 12ml de inóculo, 28ml de bagazo de caña de azúcar y 20 μl de solución stock de nutrientes. Las botellas se burbujearon con gas N_2. Temp. 37°C. <u>Parámetros observados:</u> Se empleó la ecuación Gompertz para ajustar los datos experimentales y calcular la producción de H_2. Se hizo un análisis de las comunidades microbianas por DGGE.	La condición óptima para pretratamiento de Bagazo de caña fue una hidrólisis ácida con H_2SO_4 a una concentración de 1.0% (v/v). La máxima producción de H_2 en términos de rendimiento y tasa de producción fue 0.84mol H_2/mol de azúcar total y 109.55ml $\text{H}_2/\text{l día}$, respectivamente, obtenido con un pH inicial de 6.5 y concentración de sustrato de 10 g/l.

Bibliografia

- [1] Akkerman, I., Janssen, M., Rocha, J., & Wijffels, R. (2002). Photobiological hydrogen production: Photochemical efficiency and bioreactor desing. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27(11), 1195-1208.
- [2] Argun, H., & Kargi, F. (2011). Bio-hydrogen production by different operational modes of dark and photo-fermentation: An overview. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(13), 7443-7459.
- [3] Bisailon, A., Turcot, J., & Hallenbeck, P. (2006). The effect of nutrient limitation on hydrogen production by batch cultures of *Escherichia coli*. *International of Hydrogen Energy*, 31(11), 1504-1508.
- [4] Cakir, A., Ozmihci, S., & Kargi, F. (2010). Comparison of bio-hydrogen production from hydrolyzed wheat starch by mesophilic and thermophilic dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(24), 13214-13218.
- [5] Chang, J.-S., Lee, K.-S., & Lin, P.-J. (2002). Biohydrogen production with fixed-bed bioreactors. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27, 1167-1174.
- [6] Chen, C., & Lin, C. (2003). Using sucrose as a substrate in an anaerobic hydrogen-producing reactor. *Advances in Enviromental Research*, 7, 695-699.
- [7] Chen, C., Lin, C., & Chang, J. (2001). Kinetics of hydrogen production with continuous anaerobic cultures utilizing sucrose as the limiting substrate. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57(1-2), 56-64.
- [8] Chen, C.-Y., Yang, M.-H., Yeh, K.-L., Liu, C.-H., & Chang, J.-S. (2008). Biohydrogen production using sequential two-stage dark and photo fermentation processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33, 4755-4762.
- [9] Chen, W.-M., Tseng, Z.-J., Lee, K.-S., & Chang, J.-S. (2005). Fermentative hydrogen production with *Clostridium butyricum* CGS5 isolated from anaerobic sewage sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30(10), 1063-1070.
- [10] Chernicharo, C. (1997). *Reactores anaeróbios: Princípio do tratamento biológico de águas residuárias*. Belo Horizonte: Departamento de engenharia sanitaria e ambiental, UFMG.

- [11] Fang, H., & Liu, H. (2002). Effect of pH on hydrogen production from glucose by a mixed culture. *Bioresource Technology*, 82, 87-93.
- [12] Fangkum, A., & Reugsang, A. (2011). Biohydrogen production from sugarcane bagasse hydrolysate by elephant dung: Effects of initial pH and substrate concentration. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36, 8687-8696.
- [13] Gadhamshetty, V., Arudchelvam, Y., Nirmalakhandan, N., & Johnson, D. (2010). Modeling dark fermentation for biohydrogen production: ADM1-based model vs. Gompertz model. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(2), 470-490.
- [14] Guwy, A., Hawkes, F., Hawkes, D., & Rozzi, A. (1997). Hydrogen production in a high rate fluidised bed anaerobic digester. *Water Research*, 31(6), 1291-1298.
- [15] Hallenbeck, P., & Ghosh, D. (2009). Advances in fermentative biohydrogen production: the way forward? *Trends in Biotechnology*, 27(5), 287-297.
- [16] Hankamer, B., Lehr, F., Rupprecht, J., Mussnug, J. H., Postean, C., & Kruse, O. (2007). Photosynthetic biomass and H₂ production by green algae: from bioengineering to bioreactor scale-up. *Physiologia Plantarum*, 131(1), 10-21.
- [17] Jayasinghearachchi, H., Sarma, P., Singh, S., Aginihotri, A., Mandal, A., & Lal, B. (2009). Fermentative hydrogen production by two novel strains of *Enterobacter aerogenes* HGN-2 and HT 34 isolated from sea buried crude oil pipelines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(17), 7197-7207.
- [18] Jones, P. (2008). Improving fermentative biomass-derived H₂-production by engineering microbial metabolism. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(19), 5122-5130.
- [19] Joon, Y., Miyahara, T., & Noike, T. (2001). Effect of iron concentration on hydrogen fermentation. *Bioresource Technology*, 80, 227-231.
- [20] Kataoka, N., Miya, A., & Kiriya, K. (1997). Studies on hydrogen production by continuous culture system of hydrogen-producing anaerobic bacteria. *Water Science and Technology*, 36(6-7), 41-47.
- [21] Laurinavichene, T. V., Kosourov, S. N., Ghirardi, M. L., Seibert, M., & Tsygankov, A. (2008). Prolongation of H₂ photoproduction by immobilized, sulfur-limited *Chlamydomonas reinhardtii* cultures. *Journal of Biotechnology*, 134(3-4), 275-277.
- [22] Lay, J.-J., Lee, Y.-J., & Noike, T. (1999). Feasibility of biological hydrogen production from organic fraction of municipal solid waste. *Water Research*, 33(11), 2579-2586.

- [23] Lee, H.-S., Vermaas, W., & Rittmann, B. (2010). Biological hydrogen production: prospects and challenges. *Trends in Biotechnology*, 28(5), 262-271.
- [24] Leite, J., Fernandes, B., Pozzi, E., Barboza, M., & Zaiat, M. (2008). Application of an anaerobic packed-bed bioreactor for the production of hydrogen and organic acids. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(2), 579-586.
- [25] Lettinga, G. (1995). Anaerobic digestion and wastewater treatment systems. *Antonie van Leeuwenhoek*, 3-28.
- [26] Li, C., & Fang, H. (2007). Inhibition of heavy metals on fermentative hydrogen production by granular sludge. *Chemosphere*, 67(4), 668-673.
- [27] Lin, C., & Lay, C. (2005). A nutrient formulation for fermentative hydrogen production using anaerobic sewage sludge microflora. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30(3), 285-292.
- [28] Liu, X., Zhu, Y., & Yang, S.-T. (2006). Butyric acid and hydrogen production by *Clostridium tyrobutyricum* ATCC 25755 and mutants. *Enzyme and Microbial Technology*, 38(3-4), 521-528.
- [29] Logan, B., Oh, S.-E., Kim, I., & Van Ginkel, S. (2002). Biological hydrogen production measured in batch anaerobic respirometers. *Environmental Science and Technology*, 36, 2530-2535.
- [30] Long, C., Cui, J., Liu, Z., Liu, Y., Long, M., & Hu, Z. (2010). Statistical optimization of fermentative hydrogen production from xylose by newly isolated *Enterobacter* sp. CN1. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(13), 6657-6664.
- [31] Maintinguer, S., Fernandes, B., Duarte, I., Saavedra, N., Adorno, M., & Varesche, M. (2011). Fermentative hydrogen production with xylose by *Clostridium* and *Klebsiella* species in anaerobic batch reactors. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(21), 13508-13517.
- [32] Mizuno, O., Dinsdale, R., Hawkes, F., Hawkes, D., & Noike, T. (2000). Enhancement of hydrogen production from glucose by nitrogen gas sparging. *Bioresource Technology*, 73(1), 59-65.
- [33] Nakamura, M., Kanbe, H., & Matsumoto, J. (1993). Fundamental studies on hydrogen production in the acid-forming phase and its bacteria in anaerobic treatment processes - The effects of solids retention time. *Water Science and Technology*, 28(7), 81-88.
- [34] Nielsen, A., Amandusson, H., Bjorklund, R., Dannetun, H., Ejlertsson, J., Ekadahl, L.-G., et al. (2001). Hydrogen production from organic waste. *International Journal of Hydrogen Energy*, 26, 547-550.

- [35] Ntaikou, I., Antonopoulou, G., & Lyberatos, G. (2010). Biohydrogen production from biomass and waste via dark fermentation: A review. *Waste Biomass Valorization*, 1(1), 21-39.
- [36] Oh, S.-E., Van Ginkel, S., & Logan, B. (2003). The relative effectiveness of pH control and heat treatment for enhancing biohydrogen gas production. *Environmental Science and Technology*, 37, 5186-5190.
- [37] Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. (2001). *Diccionario esencial de las ciencias*. Madrid: Espasa.
- [38] Seoáñez Calvo, M. (1996). *El gran diccionario del medio ambiente y de la contaminación*. Madrid: Coediciones Mundi-Prensa.
- [39] Shin, H.-S., Youn, J.-H., & Kim, S.-H. (2004). Hydrogen production from food waste in anaerobic mesophilic and thermophilic acidogenesis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29(13), 1355-1363.
- [40] Shin, J.-H., Yoon, J., Ahn, E., Kim, M.-S., Sim, S., & Park, T. (2007). Fermentative hydrogen production by the newly isolated *Enterobacter asburiae* SNU-1. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(2), 192-199.
- [41] Show, K.-Y., Lee, D.-J., & Chang, J.-S. (2011). Bioreactor and process desing for biohydrogen production. *Bioresource Technology*, 102(18), 8524-8533.
- [42] Sinha, P., & Pandey, A. (2011). An evaluative report and challenges for fermentative biohydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(13), 7460-7478.
- [43] Soares, B., Peixoto, G., & Rui, F. (2010). Potential to produce biohydrogen from various wastewaters. *Energy for Sustainable Development*, 14, 143-148.
- [44] Sparling, R., Risbey, D., & Poggi-Varaldo, H. (1997). Hydrogen production from inhibited anaerobic composters. *International Journal of Hydrogen Energy*, 22(6), 563-566.
- [45] Teplyakov, V., Gassanova, L., Sostina, E., Slepova, E., Modigell, M., & Netrusov, A. (2002). Lab-scale bioreactor integrated with active membrane system for hydrogen production: experience and prospects. *International Journal of Hydrogen Energy*, 27, 1149-1155.
- [46] Ueno, Y., Haruta, S., Ishii, M., & Igarashi, Y. (2001). Microbial community in anaerobic hydrogen-producing microflora enriched from sludge compost. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 57, 555-562.

- [47] Ueno, Y., Kawai, T., Sato, S., Otsuka, S., & Morimoto, M. (1995). Biological production of hydrogen from cellulose by natural anaerobic microflora. *Journal of fermentation and bioengineering*, 79(4), 395-397.
- [48] Ueno, Y., Otsuka, S., & Morimoto, M. (1996). Hydrogen production from industrial wastewater by anaerobic microflora in chemostat culture. *Journal of fermentation and bioengineering*, 82(2), 194-197.
- [49] Uyeda, K., & Rabinowitz, J. (1971). Pyruvate-Ferredoxin Oxidoreductase. *The Journal of Biological Chemistry*, 246(10), 3120-3125.
- [50] Valentine, D., Blanton, D., & Reeburgh, W. (2000). Hydrogen production by methanogens under low-hydrogen conditions. *Archives of Microbiology*, 174, 415-421.
- [51] Van Lier, J., Mahmoud, N., & Zeeman, G. (2008). Anaerobic wastewater treatment. In M. Henze, M. Van Loosdrecht, G. Ekama, & D. Brdjanovic, *Biological wastewater treatment: Principles, modelling and desing* (p. 511). Londres: IWA Publishing.
- [52] Voolapalli, R., & Stuckey, D. (2001). Hydrogen production in anaerobic reactors during shock loads-influence of formate production and H₂ kinetics. *Water Research*, 35(7), 1831-1841.
- [53] Wang, J., & Wan, W. (2008). Comparison of different pretreatment methods for enriching hydrogen-producing bacteria from digested sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(12), 2934-2941.
- [54] Wang, J., & Wan, W. (2008). Effect of Fe²⁺ concentration on fermentative hydrogen production by mixed cultures. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(4), 1215-1220.
- [55] Wang, J., & Wan, W. (2009). Factors influencing fermentative hydrogen production: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34(2), 799-811.
- [56] Wu, S.-Y., Lin, C.-N., & Chang, J.-S. (2003). Hydrogen production with immobilized sewage sludge in three-phase fluidized-bed bioreactors. *Biotechnology Progress*, 19(3), 828-832.
- [57] Wu, S.-Y., Lin, C.-N., Chang, J.-S., Lee, K.-S., & Lin, P.-J. (2002). Mycrobial hydrogen production with immobilized sewage sluge. *Biotechnology Progress*, 18, 921-926.
- [58] Zhang, T., Liu, H., & Fang, H. (2003). Biohydrogen production from starch in wastewater under thermophilic condition. *Journal of Environmental Management*, 69, 149-156.

- [59] Zhu, H., Wakayama, T., Asada, Y., & Miyake, J. (2001). Hydrogen production by four cultures with participation by anoxygenic phototrophic bacterium and anaerobic bacterium in the presence of NH_4^+ . *International Journal of Hydrogen Energy*, 26, 1149-1154.