UTILIZACIÓN DE BIOGÁS EN PILAS DE COMBUSTIBLE

Marta Pérez Martínez
MªJosé Cuesta Santianes
Sylvia Núñez Crespí
Juan Antonio Cabrera Jiménez
Marzo 2008

ÍNDICE

1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO **3**

2. BIOGÁS Y PILAS DE COMBUSTIBLE **3**

2.1. ORIGEN, COMPOSICIÓN, USOS Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS 3
2.2. PILAS DE COMBUSTIBLE 8
2.3. USO DEL BIOGÁS EN PILAS DE COMBUSTIBLE 11
Limpieza/acondicionamiento del biogás *12*
Reformado del biogás *14*

3. IDENTIFICACIÓN DE ACTORES **16**

3.1. METODOLOGÍA 16
3.2. PROYECTOS DE I+D 16
3.3. BIBLIOMETRÍA 25
3.4. PATENTES 38

4. CONCLUSIONES **53**

5. BIBLIOGRAFÍA **54**

ANEXO I: SIGLAS **56**

ANEXO II: RELACIÓN DE PUBLICACIONES ENCONTRADAS **57**

1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El presente estudio tiene como objetivo el análisis del estado actual de la tecnología de pilas de combustible alimentadas con biogás a nivel mundial, identificándose los "actores" del sector mediante la búsqueda de las publicaciones y proyectos en que participan, así como la de sus patentes. Esto nos permitirá determinar la situación en que nos encontramos en nuestro país respecto a estas tecnologías.

Inicialmente, se mostrará una visión general del origen, uso y composición del biogás, así como de la tecnología de pilas de combustible y el punto de convergencia entre ambos.

2. BIOGÁS Y PILAS DE COMBUSTIBLE

En la actualidad, el 87 % de la energía generada en el mundo procede de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural, etc.). La creciente demanda energética derivada del desarrollo económico e industrial conlleva una disminución progresiva de las reservas de estos recursos, lo que repercute en el encarecimiento de los mismos. Por otro lado, el uso de la combustión de los combustibles fósiles para la generación de electricidad y calor, conduce a la emisión a la atmósfera de elevadas concentraciones de CO_2, uno de los principales gases responsables del efecto invernadero. A este respecto, la legislación de los diferentes países va siendo cada vez más restrictiva (Directiva IPPC). Este marco económico y medioambiental justifica la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía alternativas más respetuosas con el medioambiente, como las de carácter renovable, así como al desarrollo de nuevas tecnologías de generación eléctrica de mayor eficiencia.

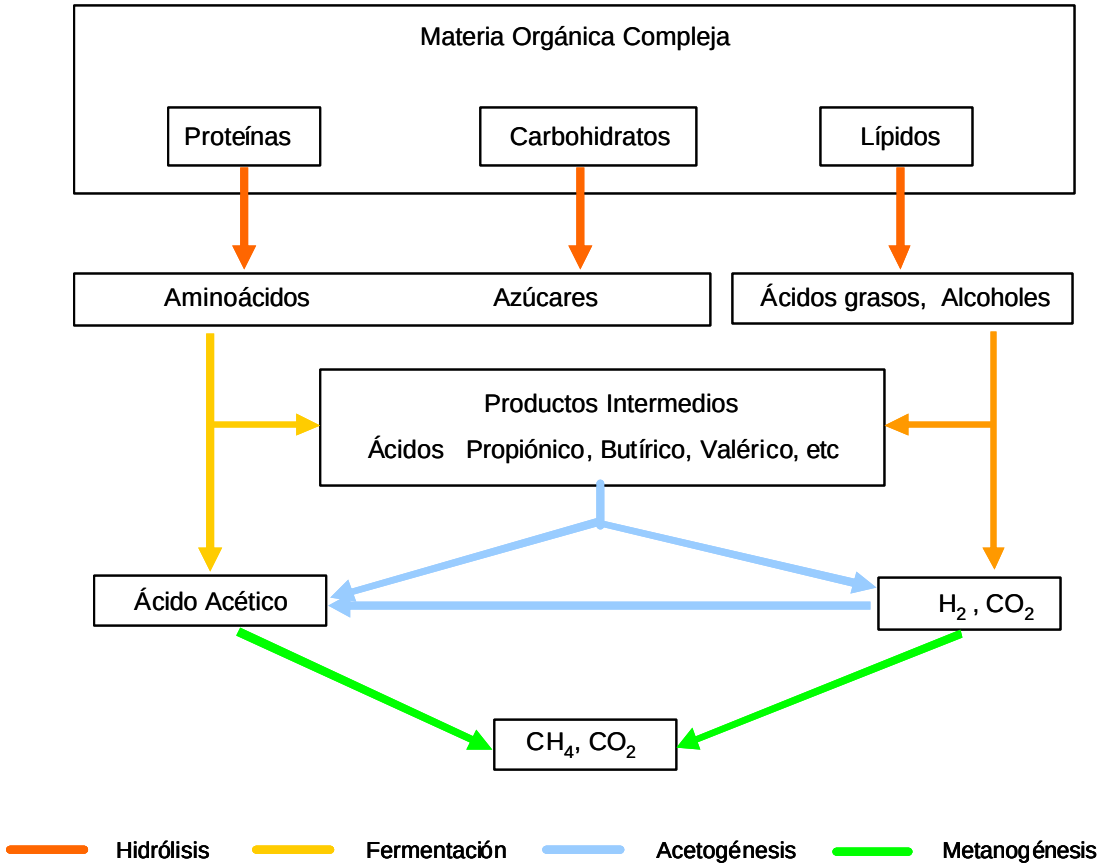
La utilización de biogás en pilas de combustible satisface ambos propósitos, al combinar una tecnología de generación prometedora de elevada eficiencia y bajo impacto medioambiental con el uso de un combustible de buena calidad y atractivo económico. Actualmente, tal como se verá en el apartado 2.1, en la mayoría de las instalaciones donde se origina el biogás (estaciones depuradoras de aguas residuales, vertederos, granjas, etc.), esta considerado como un subproducto conteniendo elevadas concentraciones de gases de efecto invernadero (CH_4 y CO_2) que se genera en grandes cantidades y que, tras un mínimo tratamiento, se libera a la atmósfera o se quema en antorchas, con las consiguientes repercusiones medioambientales que esto conlleva. Por ello, su utilización en pilas de combustible se contempla como una alternativa de gran interés en su lugar de origen al conllevar el beneficio doble de la reducción de las emisiones contaminantes de efecto invernadero, cada vez más controladas por la administración, y el aprovechamiento energético de un recurso valioso que puede permitir la generación propia y combinada de calor y electricidad (cogeneración) de un modo eficiente.

Ambas líneas de desarrollo (biogás y pilas de combustible) gozan de un extraordinario apoyo desde las administraciones a nivel mundial, existiendo numerosos programas en los que se tratan como temas de carácter prioritario. Japón y EE.UU. son los pioneros en este ámbito.

2.1. ORIGEN, COMPOSICIÓN, USOS Y PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Con el término biogás se define la mezcla de gases constituida básicamente por CH_4 y CO_2 que se obtiene como producto final de la digestión anaeróbica de compuestos orgánicos. La digestión anaeróbica es uno de los tratamientos biológicos más antiguos, empleándose por primera vez hace más de un siglo. Las reacciones que tienen lugar en este proceso se agrupan en las siguientes etapas, mostradas en la Figura 1:

- Hidrólisis: En esta etapa, las sustancias orgánicas de elevado peso molecular, lípidos, proteínas e hidratos de carbono, son descompuestas por la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaeróbicas. De esta forma, los carbohidratos se convierten en azúcares simples; las grasas en ácidos grasos y glicerol; y las proteínas en polipéptidos y aminoácidos.



FUENTE: Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991[1]

Figura 1: Esquema de las etapas del proceso de digestión anaeróbica

- Fermentación o acidogénesis: Esta etapa se efectúa por la acción de las bacterias acidogénicas que convierten los productos solubles de la etapa de hidrólisis en ácidos orgánicos de cadena corta, CO_2 e H_2. Los azúcares, aminoácidos y ácidos grasos se transforman en ácidos orgánicos (ácido acético, propiónico, valérico, butírico, etanol, etc.) de acuerdo con las reacciones siguientes:

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ H_2O \rightarrow 2\ CH_3COOH + 4\ H_2 + 2\ CO_2$$

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2\ H_2 + 2\ CO_2$$

$$C_6H_{12}O_6 + 2\ H_2O \rightarrow 2\ CH_3CH_2COOH + 2\ H_2O$$

- Acetogénesis y homoacetogénesis: Los alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos obtenidos en la etapa anterior se degradan produciendo ácido acético, CO_2 e H_2, por un grupo de bacterias que aportan, aproximadamente, el 54 % del hidrógeno que se utilizará en la formación de metano. En la homoacetogénesis ocurre, igualmente, la formación de ácido acético, pero a partir de hidrógeno y dióxido de carbono.

- Metanogénesis: En esta etapa, estrictamente anaeróbica, las bacterias metanogénicas producen metano a partir de los productos orgánicos obtenidos en las etapas anteriores. La formación de metano puede tener lugar por dos vías diferentes: la ruptura de las moléculas de ácido acético para generar CO_2 y metano, o la reducción del CO_2 con H_2, tal como se muestra en las siguientes reacciones:

[1] Pavlostathis S.G. y Giraldo-Gómez E. "Kinetics of anaerobic treatment: a critical review". Critical Reviews in Environmental Control Vol. 21, 5-6, 490, 1991.

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$$

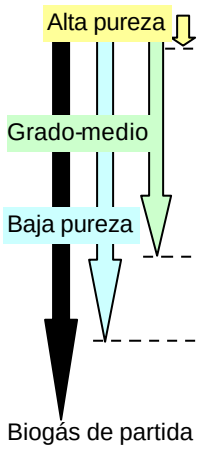
$$CO_2 + 4\,H_2 \rightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

La composición y las características del biogás dependen de la naturaleza de la materia prima digerida, así como de la tecnología utilizada. Los residuos que se emplean como material de partida para la obtención del biogás son los siguientes: residuos agrícolas y ganaderos, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU), residuos industriales biodegradables generados en las industrias cervecera, azucarera, alcoholera, láctea, etc., y lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR).

Los RSU pueden emplearse para producir biogás de dos maneras, a través de la desgasificación de vertederos o bien mediante la digestión anaeróbica desarrollada en biorreactores. En la actualidad, la utilización energética del biogás generado a partir de los lodos de EDAR ha alcanzado un importante grado de desarrollo.

En la Tabla 1 se resume la composición promedio del biogás según el tipo de substrato. Su poder calorífico varía entre 17 y 34 MJ/m^3 en función de su contenido de metano.

Tabla 1: Composición del biogás según el origen del substrato utilizado



	Residuos agrícolas y ganaderos	Lodos de EDAR	Residuos Industriales	Vertederos de RSU
CH_4	50-80 %	50-80 %	50-70 %	45-65 %
CO_2	30-50 %	20-50 %	30-50 %	34-55 %
N_2	0-1 %	0-3 %	0-1 %	0-20 %
O_2	0-1 %	0-1 %	0-1 %	0-5 %
H_2	0-2 %	0-5 %	0-2 %	0-1 %
CO	0-1 %	0-1 %	0-1 %	Trazas
H_2S	100-7000 ppm	0-1 %	0-8 %	0.5-100ppm
NH_3	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Vapor de agua	Saturación	Saturación	Saturación	Saturación
Orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm

FUENTE: Coombs, 1990 en Campos *et al*, 2001[2]

La producción de biogás a partir de cada substrato varía en función del contenido de su carga orgánica y de la biodegradabilidad de la misma. En general, los residuos orgánicos industriales y la fracción orgánica de los RSU presentan altos potenciales de producción. Sin embargo, los residuos ganaderos y los lodos de EDAR presentan menores potenciales debido a su relativamente bajo contenido de materia orgánica y baja biodegradabilidad.

Las aplicaciones energéticas del biogás pueden ser térmicas o eléctricas, en función de su grado de pureza. El biogás más impuro se emplea como combustible en equipos comerciales diseñados para gas natural o propano, como cocinas de gas, calentadores, lámparas, estufas, refrigeradores, etc., y éste ha sido el uso que tradicionalmente se le ha dado. No obstante, no cabe duda de que el uso más interesante que tiene el biogás en estos momentos es para la generación de electricidad y la cogeneración, producción conjunta de calor y electricidad. El biogás con un grado medio de pureza, se puede utilizar en motores de combustión interna (motores de ciclo Otto -gasolina- y motores diesel) y turbinas de gas. En la Tabla 2 se

[2] Campos E., Bonmatí A., Teira M.R. y Flotats X. "Aprovechamiento energético de lodos residuales y purines. Producción de biogás". Jornades tècniques sobre energía. Barcelona.

detallan los valores promedio del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás.

Tabla 2: Valores promedio del poder calorífico de diferentes combustibles y su equivalente referido al biogás

Combustible	Kcal/m^3	Kcal/Kg	Cantidad equivalente a 1000 m^3 de biogás
Biogás	5335	-	1000 m^3
Gas Natural	9185	-	851 m^3
Metano	8847	-	603 m^3
Propano	22052	-	242 m^3
Butano	28588	-	187 m^3
Electricidad	860 kcal/kW·h	-	6203 kW·h
Carbón		6870	776 kg
Petróleo		11357	470 kg

FUENTE: Instituto Virtual Ingefor (http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso01/biogas1.html#1.2)

Los motores de ciclo Otto pueden funcionar solamente con biogás, aunque necesitan de otros combustibles en el momento del arrancado. Los motores de ciclo diesel constan de un sistema mixto de biogás y diesel que permite utilizar distintas proporciones de ambos combustibles. Sin embargo, los motores de combustión interna tienen como desventaja principal las elevadas concentraciones de NO_x y CO que emiten a la atmósfera (Tabla 3).

Entre las turbinas de gas cabe destacar las microturbinas que, conceptualmente, son turbinas de un tamaño muy reducido (~ 30 kW). Un rasgo significativo que las caracteriza respecto a otros motores es que se adaptan mucho mejor a las características del biogás, pudiendo trabajar con contenidos elevados de H_2S y concentraciones bajas de CH_4. Además, tienen una emisión baja de NO_x a la atmósfera y un bajo coste de mantenimiento, aunque la eficiencia energética es menor que en el caso de los motores de combustión interna (Tabla 3).

En la actualidad, las pilas de combustible son una tecnología prometedora para la producción de energía eléctrica y cogeneración a partir de biogás debido su bajo impacto ambiental, su menor consumo y el elevado rendimiento que presentan. Precisan de un biogás con un grado de pureza medio-alto, en función del tipo de dispositivo de que se trate. En la Tabla 3 se comparan las características de distintos sistemas de generación eléctrica con una pila de combustible de carbonatos fundidos (MCFC), alimentados con biogás.

Tabla 3: Características de tecnologías que operan con biogás

	Eficiencia eléctrica (%)	Combustible consumido (kJ/kW·h)	Emisiones (µg/kJ)	
			NO_x	CO
Motor de combustión interna	33	10972	56.6	56.6
Turbina de gas	28	12872	15	18
Pilas de combustible (MCFC)	50	7174	Trazas	1.4

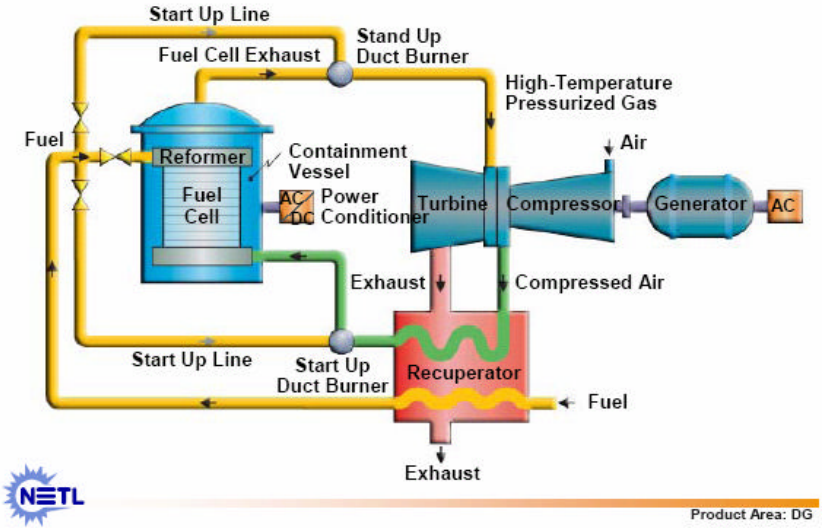
FUENTE: Bove y Lunghi, 2006[3]

[3] Bove R., Lunghi P. "Electric power generation from landfill gas using tradicional and innovative technologies". Energy Conversion and Management Vol. 47, 1391, 2006.

No obstante, pese a las ventajas que parecen ofrecer los sistemas de pilas de combustible, su elevado coste y el hecho de que estén todavía en un nivel pre-comercial (MCFC) -aunque ya existen algunos sistemas comerciales (DFC, *direct fuel cell*)- y en grado de desarrollo (SOFC, *solid oxide fuel cell*) hace que, por el momento, todavía no sean sistemas económicamente competitivos respecto a las turbinas de gas o a los motores de combustión interna para la generación de electricidad a partir de biogás[4].

Sin embargo, en los últimos años está suscitando sumo interés la combinación de sistemas híbridos de pila de combustible y turbina de gas o vapor (especialmente turbina de gas) puesto que consiguen aumentar significativamente la eficiencia energética global de los sistemas[5] (Figura 2). Previsiblemente, en el futuro podrían a llegar a sustituir a la tecnología convencional.

A medio plazo, los sistemas más prometedores (alimentados con biogás) y potencialmente competitivos en términos de costes y de eficiencia, posiblemente sean los híbridos de pila de combustible de óxido sólido (SOFC) y microturbina de gas.



FUENTE: Winkler et al., 2005[6]

Figura 2: Esquema de sistema híbrido (directo) de pila de combustible y turbina de gas

Por último señalar que, en lo que se refiere a la producción del biogás, según datos publicados en 2007 por el observatorio de energías renovables, EuroObserv´ER, durante el 2006 se generaron en la UE un total de 5346.7 ktep, lo que supondría un crecimiento del 13.6 % respecto al año anterior. Alemania y Reino Unido, con 1923.2 y 1696.0 ktep, respectivamente, son, con diferencia, los países líderes, contribuyendo al 67.7 % de la producción. A continuación, les sigue Italia (535.8 ktep) y España (334.3 ktep).

Sin embargo, a nivel europeo aún se está muy lejos de alcanzar los objetivos marcados en el "Libro Blanco" por la Comisión Europea en 1997. De mantenerse el ritmo de crecimiento de los últimos tres años, la producción bruta de biogás alcanzará los 8.6 Mtep en 2010, año para el que el Libro Blanco establecía un objetivo de 15 Mtep. Para lograr el objetivo establecido, el sector necesitaría un mayor número de instalaciones de metanización y mejorar la tasa bruta de valorización energética del biogás producido, que, actualmente, es de alrededor del 50 %. El potencial de producción de biogás en 2020 se estima en 18 Mtep, concentrándose la mayor parte en Francia, Alemania y Reino Unido.

[4] Gadde B. "Economic Utilisation of Biogas as a Renewable Fuel for fuel Cell". The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)". 21-23 Novembre 2006, Bangkok, Thailand.
[5] Varbanov P., Klemes J., Friedler F. "Integration of Fuel Cells into Combined Power Cycles". Proceedings of 17th European Symposium on Computer Aided Process Engineering-ESCAPE17, 27-30 May 2007, Bucharest, Romania, T5-203, 1089-1094.
[6] Winkler W., Nehter P., Williams M.C., Tucker D., Gemmen R. "General Fuel Cell Hybrid Synergies and Hybrid System Testing Status". Journal of Power Sources 159, 1, 656-666, 2006.

2.2. PILAS DE COMBUSTIBLE

Las pilas de combustible son dispositivos electroquímicos capaces de convertir directamente la energía de la reacción química producida entre un combustible y un oxidante, en energía eléctrica (corriente continua), liberando agua y calor. Los aspectos innovadores que las convierten en una tecnología competitiva para la generación de electricidad, son los siguientes:

- Bajo impacto ambiental: la emisión de gases contaminantes como CO, CO_2 y NO_x se ve significativamente reducida respecto a otros sistemas debido a la ausencia de combustión. Tampoco se producen emisiones de SO_x, ya que el sistema exige la depuración previa del combustible para evitar la contaminación de los elementos constituyentes y aumentar la durabilidad.
- Carácter modular: las pilas de combustible están disponibles en módulos independientes (monoceldas) que se pueden apilar generando *stacks* de diferentes tamaños y, por tanto, de diferentes potencias, en función de las necesidades requeridas en cada caso. Esto permite una producción automatizada, lo que da lugar a una construcción más sencilla, rápida y de menor coste.
- Flexibilidad de operación: Esta flexibilidad presenta un carácter dual, en cuanto al rango de aplicación y en cuanto al combustible utilizado. El carácter modular de las pilas de combustible y su posible operación con combustibles distintos al hidrógeno permite obtener una gran variedad de potencias para usos tanto estacionarios (hospitales, plantas industriles, viviendas, etc.), como móviles (sistemas de transporte) y portátiles (teléfonos móviles, ordenadores, pequeños electrodomésticos, etc.).
- Rendimiento elevado: las pilas de combustible no están sujetas al ciclo de Carnot, por lo que son más eficientes que cualquier sistema convencional de generación de energía. Sus rendimientos eléctricos son próximos al 50 %, pero si se tiene en cuenta la energía térmica que generan (cogeneración), el rendimiento total puede ascender hasta un 80 %, aproximadamente.

A estos atributos hay que añadir el que se trata de elementos silenciosos, sin partes móviles, con una rápida respuesta a las variaciones de carga y de fácil mantenimiento.

Las pilas de combustible están constituidas básicamente por dos electrodos porosos, ánodo y cátodo, separados por un electrolito denso. El tipo de electrolito utilizado determina la temperatura de operación y, por tanto, el rango de aplicación del dispositivo. Atendiendo al tipo de electrolito, las pilas de combustible se pueden clasificar en: pilas de combustible de membrana polimérica (PEMFC), pilas de combustible alcalinas (AFC), pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC), pilas de combustible de carbonatos fundidos (MCFC) y pilas de combustible de óxido sólido (SOFC). La Tabla 4 resume las principales características de estos sistemas.

Junto a esta clasificación cabe, además, distinguir las pilas de combustible de metanol directo (DMFC) y las pilas de combustible de carbón directo (DCFC). Las primeras son tipo PEM alimentadas con metanol y emplean también electrodos de platino, pero su eficiencia es menor debido a problemas asociados a la elevada permeabilidad de la membrana al metanol (*crossover*). Las DCFC, menos desarrolladas, se alimentan con carbón sólido sin ninguna etapa previa de gasificación, en ellas la termodinámica de reacción permite obtener rendimientos muy elevados.

Tabla 4: Características de los distintos tipos de pilas de combustible

Tipo de pila de combustible	Electrolito	Conductor iónico	Temperatura de operación	Combustible	Rendimiento	Rango de potencia	Aplicaciones
PEMFC	Polímero sólido (Nafion®)	H^+	60-80°C	H_2 puro (tolera CO_2, 10 ppm CO)	35-45 %	5-250 kW	- Transporte - Portátil - Estacionaria de baja potencia
DMFC	Polímero sólido	H^+	60-120°C	Metanol	30-40 %	5 kW	Portátil
AFC	KOH	OH^-	50-100°C	H_2 puro	40-60 %	5-150 kW	Espacio
PAFC	Ácido fosfórico	H^+	200-220°C	H_2 puro (tolera CO_2, 1 % CO)	40-45 %	50-11 MW	Estacionaria de media potencia
MCFC	Li_2CO_3 / K_2CO_3	CO_3^{2-}	600-700°C	H_2, CO, CH_4, otros HCs (consume CO_2 en cátodo)	45-60 %	100 kW-2 MW	Estacionaria de alta potencia
SOFC	ZrO_2 / Y_2O_3 (YSZ)	O^{2-}	800-1000°C	H_2, CO, CH_4, otros HCs (tolera CO_2)	50-65 %	100-250 kW	- Estacionaria de media potencia - Transporte (APU)

El nivel de desarrollo tecnológico es variable de un tipo de pila de combustible a otro (Tabla 5). En los últimos quince años, se está realizando un intenso esfuerzo a nivel mundial para desarrollar la tecnología. EE.UU., Japón y Europa son los lugares donde han surgido más iniciativas, al comienzo con financiación pública y, cada vez más, con financiación privada. Sin embargo, todavía es necesario un considerable impulso para que estos sistemas logren su penetración en el mercado y sean competitivos con las tecnologías convencionales en términos de costes (capitales, de operación y durabilidad) y experiencia. Al día de hoy, tan solo ocupan estrechos nichos de mercado donde la fiabilidad y la calidad de la energía son el factor determinante o donde no existe ninguna otra alternativa apropiada. Éste último es el caso, habitualmente, de sistemas distribuidos con cogeneración.

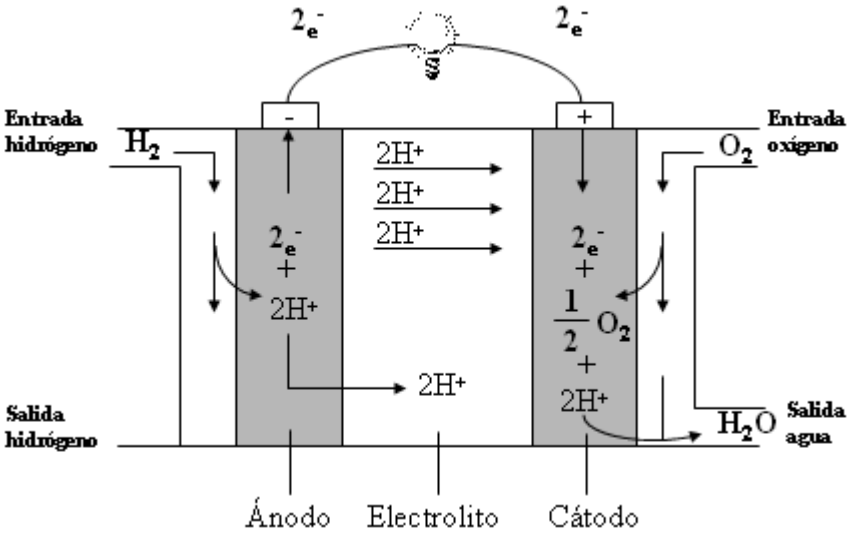
Tabla 5: Estado de desarrollo de la tecnología

Tipo de pila de combustible	Nivel de desarrollo tecnológico
PEMFC	Unidades de demostración de sistemas estacionarios de 250 kW con cogeneración, aunque todavía comercialmente poco competitivas Vehículos en fase comercial inicial
DMFC	Todavía en fase de I+D. Investigación básica aún muy necesaria
AFC	Sistemas para dispositivos espaciales completamente desarrollados Sistemas para transporte disponibles para fase inicial de demostración
PAFC	Sistemas de 200 kW comerciales, pero con precios poco competitivos en sus principales mercados
MCFC	Unidades de demostración de sistemas de 250 kW y, previamente, de 2 MW. Fase de comercialización próxima.
SOFC	Sistemas tubulares disponibles para fase de demostración; configuración planar en desarrollo
IT-SOFC	Investigación básica aún necesaria

FUENTE: Datos procedentes de "Sustainable Energy Technology Route Maps. Fuel Cells". Department of Trade and Industry of the United Kingdom. http://www.dti.gov.uk/files/file15420.pdf

En la actualidad, el sector de la automoción es el más prometedor para la utilización de las pilas de combustible, aunque los elevados costes suponen una barrera considerable ya que los fabricantes deben realizar inversiones significativas. Asimismo, se echa en falta la existencia de un adecuado marco de legislación -donde las excenciones fiscales y unos marcos retributivos favorables podrían tener un papel importante- y la necesidad de códigos de buenas prácticas que favorezcan el desarrollo.

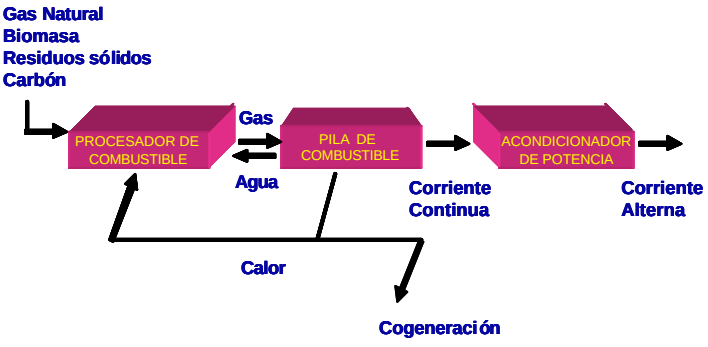
La Figura 3 muestra un esquema simplificado del funcionamiento de una pila de combustible tipo PEM. El ánodo se alimenta en continuo con un combustible gaseoso, generalmente hidrógeno, mientras que el cátodo se alimenta con un oxidante, habitualmente aire. En el ánodo se produce la disociación de la molécula de hidrógeno en dos protones (H^+), liberándose dos electrones. Los electrones circulan por el circuito externo hacia el cátodo y los protones atraviesan el electrolito, permeable a ellos. Una vez en el cátodo, los electrones y los protones se combinan con el oxígeno del aire, liberando agua y energía en forma de calor.



FUENTE: http://www.tecnociencia.es/especiales/hidrogeno/descripcion.htm

Figura 3: Diagrama de funcionamiento de una PEMFC

Por último, señalar de nuevo que las pilas de combustible son elementos eficientes en instalaciones de generación distribuida y combinada de calor y electricidad (cogeneración). El sistema completo de generación de energía a partir de la pila de combustible está constituido por un procesador de combustible, la pila de combustible (unidad de potencia) y un inversor/acondicionador de potencia, tal y como se muestra en la Figura 4.



FUENTE: Aguadero, 2006 [7]

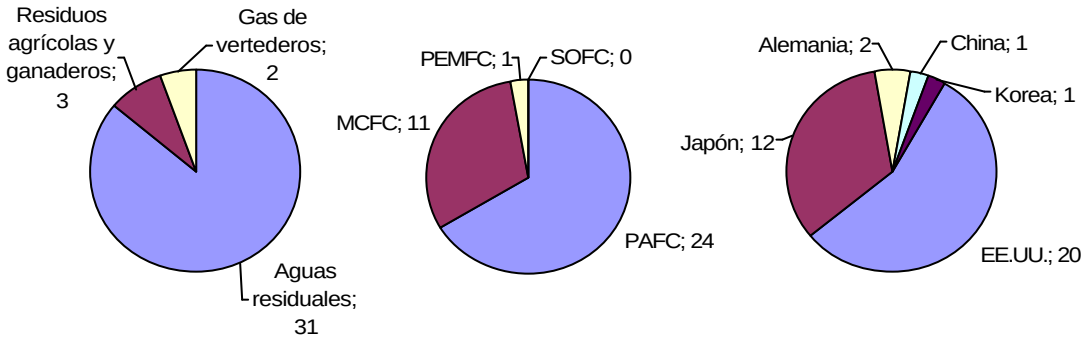
Figura 4: Esquema de sistema de generación de energía basado en pilas de combustible

[7] Aguadero A. "Materiales con estructura tipo K_2NiF_4 como cátodos para pilas de combustible de óxido sólido de temperatura intermedia". Tesis doctoral. CIEMAT, CSIC, Universidad Autónoma Madrid. 2006.

2.3. USO DEL BIOGÁS EN PILAS DE COMBUSTIBLE

Las primeras utilizaciones del biogás en pilas de combustible se realizaron a comienzos de los años 90 en pilas de combustible de ácido fosfórico, cuando este tipo de sistemas ya había alcanzado un considerable grado de madurez operativa y fiabilidad. El éxito obtenido sirvió de estímulo a los fabricantes de otras tecnologías de pilas de combustible, quienes comenzaron a considerarlo como una prometedora alternativa al uso del hidrógeno y otros hidrocarburos convencionales, como el metano. Así, la sustitución de este último por biogás permite la utilización de un combustible más diluido de menor poder calorífico, pero, en general, no conduce a cambios tecnológicos significativos.

En el año 2006, Stahl[8] identificó un total de 36 instalaciones de pilas de combustibles alimentadas con biogás con una generación global de potencia eléctrica superior a 8 MW (Figura 5), algunas de las cuales ya no están operativas. La inmensa mayoría son pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de depuradoras de aguas residuales. EE.UU y Japón son los países que cuentan con un mayor número de ellas, existiendo en ámbos una legislación muy estricta en materia medioambiental.



FUENTE: Stahl, 2006[8]

Figura 5: Instalaciones de pilas de combustible clasificadas según el origen del biogás, el tipo de pila de combustible utilizado y el país de ubicación

La necesidad de utilizar metales nobles para la fabricación de los catalizadores en las pilas de combustible tipo PEM y la elevada sensibilidad de estos sistemas, que operan a temperaturas relativamente bajas, frente a la presencia de contaminantes, limita notablemente su compatibilidad con el empleo del biogás. Sin embargo, las elevadas temperaturas de operación de las MCFC y SOFC las convierten en candidatas idóneas a su utilización. Así, el CO del biogás, cuya presencia produce el envenenamiento de pilas de combustible de baja temperatura, es un combustible adicional para las de alta temperatura. Además, la elevada temperatura de los gases de salida en este tipo de dispositivos permite la integración completa de la unidad de procesado de combustible con la unidad de potencia, obteniéndose rendimientos totales muy elevados.

Por otro lado, la utilización de pilas de combustible de carbonatos fundidos conlleva la ventaja adicional de que el CO_2 del biogás se puede utilizar como alimentación del cátodo, de modo que, a la salida del ánodo, el combustible se oxida completamente con oxígeno del aire y la corriente de CO_2 resultante se introduce en el cátodo para formar cationes carbonato. Asimismo, las pilas de combustible de alta temperatura son más tolerantes a las impurezas, así, por ejemplo, determinadas SOFC permiten utilizar biogás con elevado contenido de amonio (procedente de residuos agrícolas y ganaderos) sometiéndolo tan solo a un tratamiento previo de desulfuración, mientras que en otros tipos de pilas de combustible el amonio

[8] Stahl K. "Experience report on five years of operation of a sewage-plant-gas-operated 200 kW fuel cell". Gas Wärme International Vol. 55 PT 1, 36, 2006.

es un potente agente de envenenamiento (PEMFC, PAFC). En la Tabla 6 se muestra el grado de tolerancia de los distintos tipos de pilas de combustible a diferentes compuestos.

Tabla 6: Tolerancia de los distintos tipos de pilas de combustible a diferentes compuestos

Compuesto	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC
H_2	Combustible	Combustible	Combustible	Combustible	Combustible
CH_4	Inerte	Veneno	Inerte	Combustible	Combustible
CO_2	Diluyente	Veneno	Diluyente	Reactivo	Diluyente
CO	< 10 ppm	Veneno	< 1 %	Combustible	Combustible
H_2S, COS	< 200 ppb	Veneno	Veneno < 50 ppm	Veneno 0.1-0.5 pmm H_2S	Veneno < 1 ppm H_2S
NH_3	Veneno	Combustible	Veneno	Combustible	Combustible
Halógenos	-	-	Veneno 4 ppm	Veneno < 0.1-1.0 ppm	Veneno < 1 ppm

FUENTE: Ferreira, 2004[9] y Trogisch, 2004[10]

La sensibilidad de las pilas de combustible a determinado tipo de compuestos implica que, previamente a su uso, el biogás debe someterse a una primera y necesaria etapa de limpieza/acondicionamiento, seguida de otra etapa de reformado que lo convierte en un combustible rico en hidrógeno (Figura 6). No obstante, como se señalará más adelante, esta etapa de reformado puede tener lugar en el interior de determinadas pilas de combustible de alta temperatura.

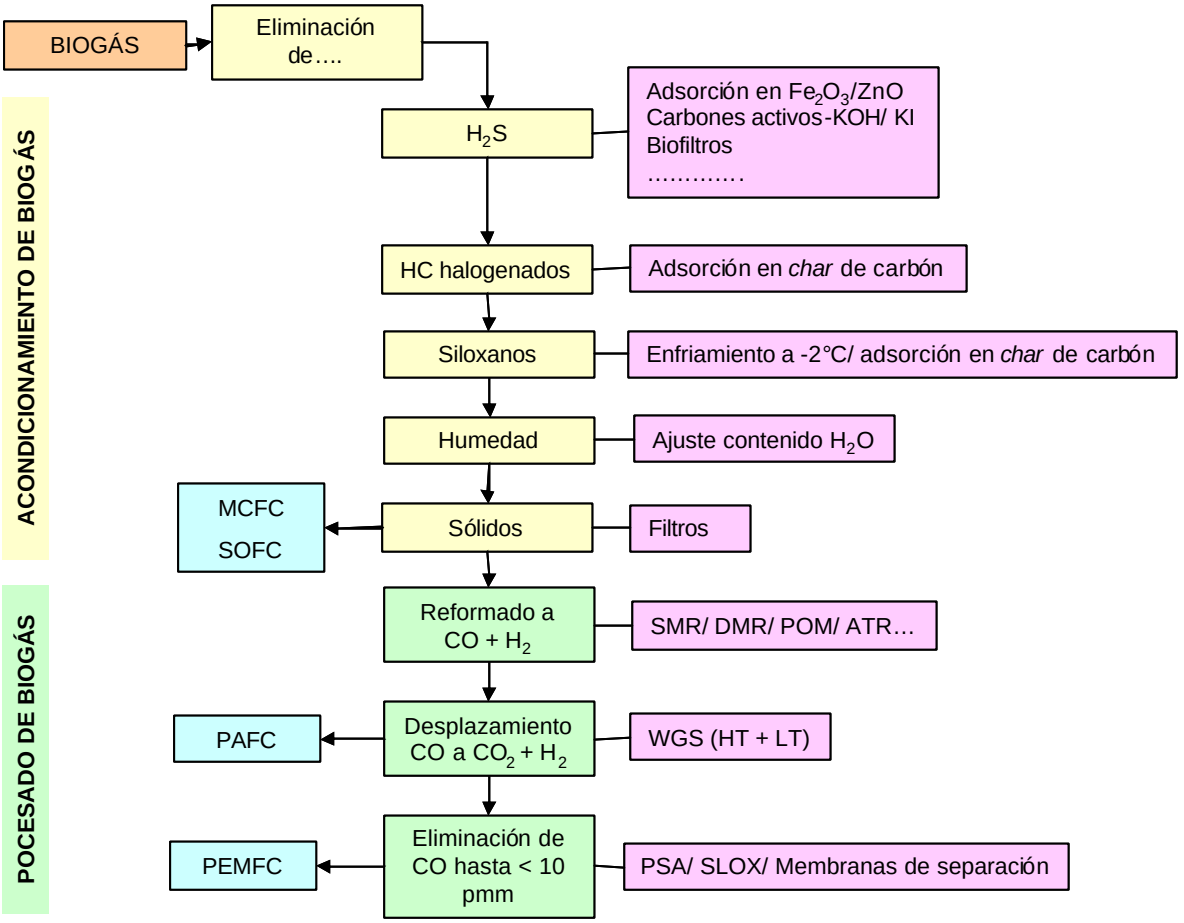
Limpieza/acondicionamiento del biogás

La etapa de limpieza/acondicionamiento del biogás tiene por objeto la eliminación de sus impurezas, fundamentalmente H_2S. Los compuestos de azufre son potentes agentes de envenenamiento de los catalizadores de níquel empleados en el reformado de biogás, de modo que concentraciones de 0.2 mg de azufre por m^2 de catalizador podrían conducir a la desactivación completa de éste[11]. El níquel quimisorbe selectivamente este tipo de compuestos, siendo este efecto más notorio a temperaturas de reformado más bajas.

En la actualidad, la práctica habitual es la utilización de distintos métodos físicoquímicos de desulfuración como la adsorción, la absorción o la reacción con un óxido metálico con formación del sulfuro del metal. Entre estos últimos es frecuente la reacción de la corriente de biogás con ZnO o Fe_2O_3.

Un método de adsorción muy utilizado a escala industrial es el basado en unidades de desulfuración constituidas por lechos adsorbentes de carbón activo impregnados de KOH o KI. Operan a temperatura ambiente y presión atmosférica y convierten el H_2S en azufre elemental y agua mediante la reacción de Claus ($H_2S + 1/2\ O_2 \rightarrow H_2O + S$). Para que la reacción se desarrolle es necesario mantener los niveles de oxígeno entre un 0.3-0.5 %. El azufre elemental obtenido se adsorbe en las partículas de carbón activo. La configuración más común consiste en dos o más lechos adsorbentes dispuestos en paralelo, de modo que siempre hay al menos uno en funcionamiento mientras los saturados se sustituyen o regeneran, generalmente con una corriente de aire o vapor de agua. Estos sistemas permiten eliminar el azufre con un rendimiento del 100 %.

[9] Ferreira P. "The usage of biogas in fuel cell systems". Workshop: Hydrogen- and Fuel Cell Based Energy Systems in a Future Sustainable Energy World. Viena 31 March and 1 April 2004.
[10] Trogisch S. EFFECTIVE. "Biogas as fuel in MCFC". 2nd BFCNet Workshop, Braunschweig 25-27 February 2004.
[11] Rostrup-Nielsen J.R. "Catalytic Steam Reforming" . Springer, Berlin, 1984.



FUENTE: Figura modificada de Ferreira, 2005[12]

Figura 6: Etapas de tratamiento del biogás para su utilización en pilas de combustible

Los métodos de absorción más comunes se basan en la transferencia del H_2S del biogás a una fase líquida constituida por una disolución de una sal alcalina o una sal de hierro.

Con respecto a los métodos físicoquímicos de desulfuración, se caracterizan por su elevado coste y por la generación de contaminantes secundarios. Por ello, en los últimos años se está realizando especial hincapié en el desarrollo de métodos basados en la biotecnología, como biofiltros, *bioscrubbers* y *biotrickling filters*, tratándose de alternativas de menor coste y elevada eficiencia en los que el H_2S se degrada hasta azufre elemental o sulfato mediante la acción de microorganismos.

Posteriormente, en función de la composición del biogás y del tipo de pila de combustible a utilizar, se emplean unidades adicionales para la eliminación de elementos minoritarios indeseables como halógenos (hidrocarburos halogenados y halogenuros), amonio y siloxanos. La mayoría son agentes corrosivos (siloxanos, hidrocarburos halogenados, etc.) o capaces de reaccionar con determinados componentes de las pilas de combustible conduciendo a su deterioro (amonio). En algunos casos, los sistemas empleados para eliminarlos (carbones activos, etc.) conducen también a la eliminación de CO_2.

Adicionalmente, se ajusta el contenido de humedad del biogás y se hace circular por un sistema de filtros con el fin de eliminar partículas sólidas que hayan podido quedar retenidas.

[12] Ferreira P. "The use of biogas in fuel cell systems". Luzern Fuel Cell Forum 2005. Fuel Cells for a Sustainable World. Luzern, July 4-8, 2005.

Reformado del biogás

El reformado es un proceso fuertemente endotérmico mediante el cual el biogás libre de impurezas se convierte en un gas combustible rico en hidrógeno (H_2 + CO + CO_2). El método de reformado más utilizado es el reformado con vapor de agua (*steam methane reforming*, SMR), aunque existen algunos sistemas de pilas de combustible en los que se emplea el reformado con CO_2, también denominado reformado seco (*dry methane reforming*, DMR), aprovechando el contenido de este gas en el biogás. Otros métodos de reformado menos frecuentes son la oxidación parcial catalítica (*catalytic partial oxidation of methane*, POM), el reformado autotérmico (*autothermal reforming*, ATR), etc.[13]

En el proceso de reformado con vapor de agua, el metano presente en el biogás se transforma en gas de síntesis (H_2 + CO), y, posteriormente, el CO se desplaza con vapor de agua para formar hidrógeno adicional y CO_2. La reacciones que tienen lugar son las siguientes:

$CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3\ H_2$ $\Delta H^0_{298K} = 206.2$ kJ/mol (reacción de reformado, SMR) (1)

$CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ $\Delta H^0_{298K} = -41$ kJ/mol (reacción del gas de agua, *water gas shift reaction*, WGS) (2)

En el reformado seco, el vapor de agua se sustituye por CO_2, de modo que la primera reacción se convierte en:

$CH_4 + CO_2 \rightarrow 2\ CO + 2\ H_2$ $\Delta H^0_{298K} = 247.9$ kJ/mol

En función del tipo de pila de combustible utilizado, el proceso de reformado del biogás puede ser externo o interno. El reformado externo tiene lugar en reactores diseñados para este propósito, mientras que el reformado interno se produce en el ánodo de la propia pila de combustible y, por tanto, en sus condiciones específicas de operación, simultáneamente con las reacciones de transferencia de carga. La opción más habitual es la de reformado externo. No obstante, en las pilas de combustible de alta temperatura (MCFC y SOFC), las elevadas temperaturas de operación permiten que tenga lugar el reformado interno del biogás y la posterior reacción de desplazamiento. Esta opción está suscitando cada vez más interés al eliminarse la necesidad de un reformador externo y, por tanto, evitar los correspondientes equipos de transferencia de calor, de modo que los procesos de transferencia de masa y de calor se producen de un modo más sencillo y eficiente, resultando sistemas más rentables.

Además, FuelCell Energy Inc. y otros fabricantes de pilas de combustible de alta temperatura están desarrollado dispositivos en los que el catalizador de reformado está situado entre las celdas del *stack*, de modo que, en el caso de las MCFC, al no estar expuesto directamente a los vapores de carbonato, se prolonga su vida útil. Otra ventaja de esta configuración es que se evita la formación de depósitos de carbón sobre el catalizador del ánodo, cuyo mecanismo se explicará posteriomente. Este tipo de reformado interno se denomina IRR (*indirect internal reforming*), frente al DIR (*direct internal reforming*) convencional. También se contemplan configuraciones mixtas DIR-IIR.

En la bibliografía están descritos numeros estudios sobre pilas de combustible operando con reformado interno con vapor de agua, sin embargo, tan solo existen unos pocos estudios preliminares sobre reformado interno con CO_2. Entre estos últimos, cabe destacar el llevado a cabo por investigadores de la Universidad de Creta con una pila de combustible de óxido sólido constituida por un ánodo de Ni(Au)-GDC(*gadolia doped ceria*)[14], donde la presencia de oro inhibe la formación de depósitos de carbón. Asimismo, científicos de la Universidad de Keele han abordado el desarrollo de pilas de combustible de óxido sólido microtubulares con este tipo de reformado[15].

[13] Ferreira-Aparicio P., Benito M. J., Sanz J. L. "New trends in reforming technologies: from hydrogen industrial plants to multifuel microreformers." Catalysis Reviews- Science and Engineering, 47, 491, 2005.
[14] Yentekakis I.V. "Open- and closed-circuit study of an intermediate temperature SOFC directly fueled with simulated biogas mixtures". Journal of Power Sources, 160, 422, 2006.
[15] Staniforth J., Kendall K. "Cannock landfill gas powering a small tubular solid oxide fuel cell- a case study". Journal of Power Sources, 86, 401, 2000.

Reformado externo con vapor de agua

En las instalaciones con reformado externo de biogás, la reacción de reformado (ec. 1) tiene lugar en un reformador que opera a temperaturas típicas de 650-850°C y presiones entre 1-30 bar con catalizadores de níquel ($Ni-Al_2O_3$, $Ni-SiO_2$). Aunque la estequiometría de la reacción solamente requiere un mol de H_2O por mol de CH_4, se incorpora un exceso de H_2O para reducir la formación de depósitos de carbón, que puede producirse por pirólisis del metano y la reacción de Boudouard, mostradas a continuación:

$CH_4 \rightarrow C + 2\ H_2$ $\Delta H^0_{298K} = 75$ kJ/mol (pirólisis de metano) (3)

$2\ CO \rightarrow C + CO_2$ $\Delta H^0_{298K} = -172$kJ/mol (reacción de Boudouard) (4)

Las depósitos de carbón se acumulan en forma de fibras sobre la superficie del catalizador, conduciendo a su deterioro y produciendo obstrucciones en los tubos del reformador. El grado de formación de carbón depende de la cinética de la reacción, las condiciones de operación y el diseño específico del reformador. Otra estrategia para minimizar este proceso es la adición de promotores alcalinos y azufre (niveles de ppm) en la alimentación.

La reacción del gas de agua (ec. 2) tiene lugar mediante la utilización de dos reactores catalíticos de desplazamiento a elevada y baja temperatura, colocados consecutivamente. En ocasiones, tan solo es preciso emplear uno de ellos, dependiendo de la composición final deseada. Al final del proceso, el contenido de H_2 en el reformado presenta valores típicos del 60-80 % (base seca). En muchos sistemas de pilas de combustible tipo PEM, el gas de salida de los reactores de desplazamiento se somete adicionalmente a un proceso de oxidación selectiva de CO (SLOX) con oxígeno del aire para reducir la concentración de este gas al nivel de tolerancia de este tipo de dispostivos (<10 ppm).

En función de la calidad requerida del combustible, determinada fundamentalmente por el tipo de pila de combustible a utilizar, el contenido de H_2 en el reformado puede aumentarse. Así, mediante la utilización de unidades de PSA (*pressure-swing adsorption units*) pueden conseguirse concentraciones de hasta un 99.9 %. En estas unidades, los gases distintos al hidrógeno (CO y CO_2, principalmente) se adsorben a elevada presión sobre zeolitas o carbón activo. Existen, además, otros métodos de absorción con aminas o reacción con urea, así como tamices moleculares y sistemas de separación con membranas.

Finalmente, en los últimos años se están desarrollando tecnologías de producción simultánea de hidrógeno y eliminación de CO_2 entre las que cabe destacar la SESR[16] (*sorption enhanced steam reforming*). Esta tecnología está basada en la introducción de un adsorbente reversible de CO_2 en el reformador. Entre los candidatos estudiados se encuentra el óxido de calcio, con el que se estima que se pueden alcanzar concentraciones de H_2 en el reformado del 95 %.

Reformado externo con CO_2

El reformado seco del biogás es una alternativa de especial interés ya que utiliza el CO_2 presente en el biogás como oxidante en la reacción de reformado. No obstante, en alimentaciones con relaciones CO_2/CH_4 menores que la unidad es precisa la adición de un oxidante suplementario para que la reacción progrese. Además, para evitar la formación de carbón a temperaturas superiores a 600°C la relación CO_2/CH_4 ha de ser de 10:1[17]. De hecho, una de las limitaciones principales de esta tecnología es el desarrollo de catalizadores que inhiban/disminuyan la velocidad de formación de carbón.

El níquel y los metales nobles depositados en soportes de magnesia o alúmina son catalizadores activos de la reacción de reformado seco, siendo más baja la velocidad de formación de carbón en el caso de los

[16] Iordanidis A.A., Kechagiopoulos P.N., Voutetakis S.S., Lemonidou A.A., Vasalos I.A. "Autothermal sorption-enhanced steam reforming of bio-oil/biogas mixture and energy genaration by fuel cells: Concepts analysis and process simulation". International Journal of Hydrogen Energy 31, 1058, 2006.

[17] Pipolo T. "Feasibility of biomass-based fuel cells for manned space exploration". Proc. Seventh European Space Power Conference, Stresa, Italy, 9-13 May 2005 (ESA SP-589, May 2005).

metales nobles. Sin embargo, éstos son los menos rentables en términos de actividad/coste y, por tanto, son menos utilizados.

3. IDENTIFICACIÓN DE ACTORES

A continuación, se procederá a presentar los resultados obtenidos en la identificación de los actores (empresas, centros de investigación, centros tecnológicos, etc.) del panorama internacional en el ámbito de la utilización del biogás en pilas de combustible, de modo que se hará mención de los proyectos de I+D y proyectos de demostración en que dichos organismos participan, así como de las publicaciones y patentes por ellos desarrolladas.

3.1. METODOLOGÍA

Los proyectos del Plan Nacional de I+D se identificaron a través de sus correspondientes convocatorias anuales. Los proyectos europeos se buscaron en la base de datos CORDIS de la Unión Europea y los demás proyectos de alcance internacional se localizaron analizando los distintos recursos de información que figuran en la bibliografía.

La búsqueda de artículos publicados en revistas y de comunicaciones a congresos desde 1983 hasta 2007 se realizó a través de ISI Web of Knowledge, base multidisciplinar de revistas internacionales, congresos y sitios Web; de Science Direct, que contiene más de 1700 publicaciones de Elsevier y proporciona acceso a más de 2.5 millones de artículos a texto completo; y también de Scopus, que reúne 25 millones de abstracts de 14000 revistas, 4500 de ellos referentes a Física, Química, Ingeniería y Matemáticas, publicadas por Elsevier y otros editores desde 1966.

Las patentes se buscaron en el portal esp@cenet, que proporciona acceso a las patentes otorgadas por la Oficina Europea de Patentes, EPO, durante los últimos dos años; a la Worldwide database, que contiene todas las patentes publicadas en 70 países, y a los abstrats de la patentes japonesas desde octubre de 1976. También se utilizó la base de patentes de la oficina americana de patentes, USPTO, y la de la oficina española de patentes y marcas, OEPM.

3.2. PROYECTOS DE I+D

La mayoría de las actividades de I+D en el campo de la utilización del biogás en pilas de combustible se desarrollan mediante proyectos en los que colaboran distintas empresa/centros de investigación financiados, al menos en parte, por distintos programas de ámbito nacional (Plan Nacional de I+D en España; NEDO en Japón; US DoD -*Department of Defense*- Programs en EE.UU., etc.) o de carácter internacional (Programas Europeos Marco, LIFE, ALTENER-EIE, etc.).

En la Tabla 7 se muestran los proyectos españoles del Plan Nacional de I+D. En este ámbito también cabe destacar el Programa de investigación multidisciplinar ENERCAM-CM[18], Programa de Aprovechamiento y Optimización de los Recursos Energéticos Regionales de la Comunidad de Madrid a través de la Validación de Pilas de Combustible PEMFC y SOFC, financiado por la Comunidad de Madrid (IV PRYCIT). En él participan los centros de investigación CIEMAT y el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (CSIC), la Universidad Politécnica de Madrid, así como distintas empresas con proyección nacional e internacional (Biogas Fuel Cell, Hynergreen, Urbaser, Cidetec, Olea Madrid, Carbongen, Zertan, Protecma y Pid Eng. & Tech.).

Asimismo, resaltar que la Empresa Municipal de Vivienda y Suelo de Madrid (EMVS) está pendiente de la aprobación de un proyecto para la instalación de 1700 viviendas de protección oficial en las colonias municipales de San Francisco Javier y Nuestra Señora de los Ángeles (Vallecas) con calderas modulares

[18] Daza L., Fuerte A., Valenzuela R.X., Ferreira Aparicio P., Benito M., Martínez Arias A., Fabero F., Lambea M. "Programa ENERCAM-CM: Pilas de combustible y conversión de energía". Libro de Comunicaciones del II Congreso Nacional de Pilas de Combustible CONAPPICE2006, ISBN 84-690-1309-2, 2006.

de gas para la producción de agua caliente y calefacción y, a corto plazo, pilas de combustible alimentadas con biogás procedente, en su mayor parte, de la planta de tratamiento de residuos de Valdemingómez. En esta planta, estaba prevista a finales de 2007 la instalación de la mayor planta del mundo de tratamiento de biogás desarrollada por la empresa neozelandesa Flotech.

Tabla 7: Proyectos del Plan Nacional de I+ D

Grupo o Empresas Coordinadoras	Proyecto	Año
Asoc. de investigación de las industrias cárnicas del Principado de Asturias	Investigación y desarrollo de un sistema de valorización energética del biogás generado en una planta de metanización de residuos, mediante cogeneración con pila de combustible de óxidos sólidos. Fase I	PROFIT 2004
	Investigación y desarrollo de un sistema de valorización energética del biogás generado en una planta de metanización de residuos, mediante cogeneración con pila de combustible de óxidos sólidos. Fase II	PROFIT 2005
EMUASA	Descontaminación y revalorización del biogás generado en instalaciones depuradoras de aguas residuales	PROFIT 2004
NAVANTIA, S.A.	PREPIGÁS: Producción de energía con pila de combustible alimentada con biogás procedente de la gestión de residuos (MTU Hotmodule, MCFC)	PROFIT 2005

En la Tabla 8 figuran los proyectos europeos, detallándose las empresas participantes y el origen de la financiación. En la Figura 7, se muestra una distribución de los mismos por el año de inicio de la financiación, siendo en todos los casos posterior a 1999.

En la Tabla 9 se detallan los proyectos de demostración más significativos a nivel mundial, a gran escala (> 10 kW) y a pequeña escala (< 10 kW), incluyéndose una breve descripción de los mismos (tipo de pila de combustible y origen del biogás utilizados, ubicación de la instalación, etc.), las empresas participantes y el país al que pertenecen. El análisis de la información recogida permite obtener una visión global de la empresas implicadas en este campo.

Como ya se ha señalado en el apartado 2.3, los países que cuentan con un mayor número de instalaciones son EE.UU y Japón, seguidos de Alemania, siendo más frecuentes las que funcionan con pilas de combustible de ácido fosfórico alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales.

Tabla 8: Proyectos europeos

V PROGRAMA MARCO (1998-2002)	
Proyecto	**Empresas o Grupos de Investigación participantes**
EFFECTIVE: Holistic integration of MCFC technology towards a most effective systems compound using biogas as a renewable source of energy (2000-2004) **Instalaciones de pilas de combustible**: - MCFC de 300 kW (MTU CFC-Solutions) en Seaborne's Industrial Research Center, Owschlag (DE). 2500 h de operación. Alimentación: Biogás de origen industrial. - MCFC de 300 kW (MTU CFC-Solutions) en planta de RSU de Urbaser en Pinto (ES). 2000 h de operación. Alimentación: Biogás de RSU. - MCFC de 300 kW (MTU CFC-Solutions) en Univ. Nitra. (2400+3300+3600) h de operación. Alimentación: Biogás de origen agrícola. - MCFC de 300 kW (MTU CFC-Solutions) en EDAR de Asten	- Profactor Produktionsforschungs, GmbH (AT) - Linz, AG (AT) - Studia (AT) - MTU CFC Solutions, GmbH (DE) - Seaborne Environmental Research Laboratory Gesellschaft für Umwelttechnik, GmbH (DE) - CIEMAT (ES) - Urbaser (ES) - Univ. Nitra (Slovakia)

(DE). 1500 h de operación. Alimentación: Biogás procedente de lodos de EDAR.	
IM-SOFC-GT: Integrated modelling study of fuel cell/gas turbine hybrids (2001-2003)	- Rolls Royce PLC (SE) - Univ. Lund (SE) - Sydkraft AB (SE) - ABB Turbo Systems, Ltd. (CH) - Univ. Génova (IT) - Alstom Power Sweden AB (SE) - ENEL Produzione SPA (IT) - TURBEC AB (SE) - Hagler Bailly Consulting France (FR)
AMONCO: Advanced prediction, monitoring and controlling of anaerobic digestion processes behaviour towards biogas usage in fuel cells - target action h (2001-2004)	- Profactor Produktionsforschungs, GmbH (AT) - Instituto de Catálisis y Petroleoquímica-CSIC (ES) - Matadero Frigorífico del Nalón (ES) - Energie Verwertungs Agentur, EVA (Austrian Energy Agency) (AT) - Universität für Bodenkultur Wien, BOKU (AT) - Biogas Barth, GmbH (DE) - Seaborne Environmental Research Laboratory Gesellschaft für Umwelttechnik GmbH (DE) - Saria Bio-industries, GmbH (DE) - GASCON APS (DK) - Slovenska Pol'nohospodarska Universita v Nitre (Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia) - EBV Management Holding, AG (DE) - Institute of Applied Microbiology, IAM (AT) - Farmatic Anlagenbau, GmbH (DE)
PROBAT: Process integration of biogas and fuelcell technology via simulation of the gas purification process (2002-2006)	- Profactor Produktionsforschungs, GmbH (AT)
IRMATECH: Integrated researches on materials, technologies and processes to enhance MCFC in a sustainable development (2003-2005)	- AFCo (IT) - Instituto Fraunhofer (DE) - Balcke Duerr (DE) - MRC (TR) - CNRS-ENSCP (FR) - ENEA (IT) - Instituto de Catálisis y Petroleoquímica-CSIC (ES) - KTH (SE) - CESI (IT) - ET (IT) - EPS (IT) - Univ. Génova (IT) - TECHNIP KTI SPA (IT) - RM (DK)
VI PROGRAMA MARCO (2002-2006)	
Proyecto	**Empresas o Grupos de Investigación participantes**
BIO-HYDROGEN: Development of a biogas reformer for production of hydrogen for PEM fuel cells (2005-2007)	- Profactor Produktionsforschungs GmbH (AT) - Matadero Frigorífico del Nalón (ES) - Besel S.A. (ES) - Schmack Biogas, AG (DE) - Udomi Competence in Fuel Cells (DE) - Proton Motor Fuel Cell, GmbH (DE) - BITTER GMBH (AT) - Fronius International, GmbH (AT) - Univ. Duisburg-Essen (DE)
BICEPS: Biogas integrated concepts. A europen program for sustainabilty (2007-2011) Instalaciones de pilas de combustible: - MCFC del orden de MW a instalar en España	- Ansaldo Fuel Cells SPA (IT) - CESPA (ES) - TURBEC (IT) - ASM (IT) - OVM ICCPET (RO)

		- E.ON (DE) - Univ. Génova (IT) - Bavarian Center for Applied Energy Research (DE) - Balcke Duerr GmbH (DE) - Univ. Nitra (Slovakia) - Fraunhofer UMSICHT (DE)
OTROS PROYECTOS EUROPEOS		
Proyecto	**Financiación**	**Empresas o Grupos de Investigación participantes**
BFCNET: Biomass fermentation towards usage in fuel cells (2002-2004)	ESF Scientific Network (UE)	- Profactor Produktionsforschungs, GmbH (AT) - CIEMAT (ES) - Instituto de Catálisis y Petroleoquímica -CSIC (ES) - Institute of Applied Microbiology, IAM (AT) - Univ. Birmingham (UK) - Wageningen Agricultural University (NL) - ENEA (IT) - Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering, JTI (SE) - Univ. Newcastle upon Tyne (UK) - Federal Agricultural Research Centre, FAL Institute, Braunschweig (DE)
BioSolarEnergy: Combination of biological processes and fuel cells to harvest solar energy (2001-2004)	Bundesministerium für Bildung und Forschung, BMBF(Ministerio de Educación y Ciencia)	- FH Südwestfalen Interdisciplinay Center for Life Sciences (DE) - Institute for Analytical Science, ISAS (DE) - RWTH Aachen, Institute of Hygiene and Environmental Medicine (DE) - IGV Institut für Getreideverarbeitung (DE) - FH Südwestfalen Laboratory for Computational Intelligence and Control (DE)
Thermo-physics, fluid dynamics and energy analysis of high temperature fuel cells fed with fossil or renewable energy sources (2005-2007)	- Italian Ministry MIUR (project PRIN 2001)	- Univ. Politecnico di Torino (IT) - Univ. degli Studi di Roma "Tor Vergata" (IT) - Univ. degli Studi di Napoli "Federico II" (IT) - Univ. degli Studi di Perugia (IT) - Univ. degli Studi di Napoli "Parthenope" (IT)
High temperature fuel cell fueled by landfill gas and syngas (2005-)	- Regional Office for the Waste Management Emergency in Campania -University of Cassino (fondos MIUR)	- GESEN S.p.a. (IT) - DETEC (IT) - IPASS (IT) - Acumentrics (US) - AFCo (IT)
BIOSOFC: Design and demostration of 4 CHP plants using two 5 kW solid oxide fuel cells (SOFC) working with landfill gas and biogas from anaerobic digestion (2005-2009)	Programa Environment-LIFE (UE)	- Hera Amasa, S.A. (ES) - Biogas Fuell Cell, S.A. (ES) - Profactor Produktionsforschungs, GmbH (AT) - Kompetenz und Innovationszentrum Brennstoffzelle der Region Stuttgart, KIBZ (DE) - Sociedade Galega do Medioambiente, S.A., SOGAMA (ES) - Protecma Energía y Medioambiente (ES) - Fundación Patrimonio Natural de Castilla y León (ES) - Instituto Enerxético de Galicia (ES)
BIOVISION: Energy supply in form of electricity, heat and cold using high temperature fuel cells (2006-2007)	Gobierno austriaco y fondos regionales alemanes	- Profactor Produktionsforschungs, GmbH (AT) - TU Vienna (Univ. Técnica de Viena, AT) - Studia (AT) - MTU (DE)
RES-FC MARKET: Regional Markets of RES-Fuel Cell Systems for Households. Excess wind-H_2/Fuel Cells; biogas/fuel cells; methanol/fuel cells (2006-2008)	Programa ALTENER-EIE (UE)	- Hydrogen Innovation & Research Centre, HIRC (DK) - Univ. Islandia (IS) - ISR Univ. Coimbra (PT) - Univ. Aalborg (DK) - Energy Research Centre of the Netherlands, ECN (NL)

		- Internationales Biogas und Bioenergie Kompetenzzentrum, IBBK (DE) - Elsam Kraft (DK) - IRD Fuel Cells A/S (DK) - Dantherm Air Handling A/S (DK) - Kompetenz und Innovationszentrum Brennstoffzelle der Region Stuttgart, KIBZ (DE) - CENER (ES) - Baltic Industries & Consulting, BIC (PL)

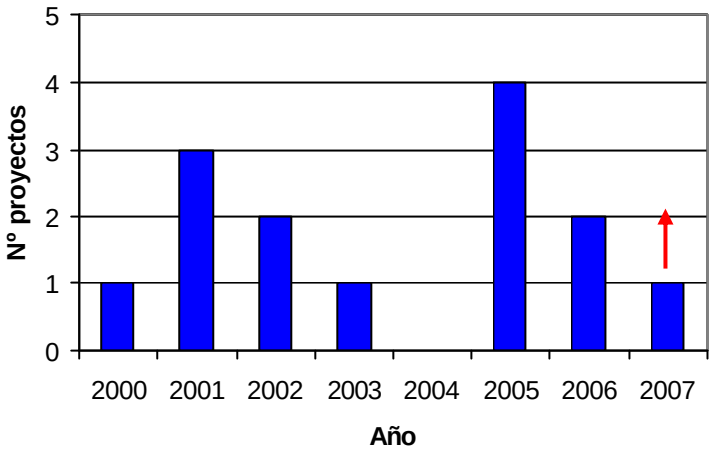


Figura 7: Distribución de los proyectos europeos por el año de inicio de financiación

Tabla 9: Proyectos de demostración a nivel mundial

APLICACIONES A GRAN ESCALA (> 10 kW)		
Proyecto	**Participantes**	**País**
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR de Köln-Rodenkirchen con rendimiento del 40 % y 9000 h de operación -primera instalada en Europa- (2000-2001).	RheinEnergie, AG SILOXA/ Fraunhofer UMSICHT TBE (RWE Fuel Cells) UTC Fuel Cells (antes ONSI Corporation) Wastewater Department of the City of Cologne	Alemania
MCFC HotModule (250 kW, MTU CFC-Solutions) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR de Ahlen y gas natural con un rendimiento nominal del 49 % (2005-).	FuelCell Energy, Inc.	EE.UU.
	MTU CFC-Solutions TBE (RWE Fuel Cells)	Alemania
Proyecto de demostración: MCFC HotModule (250 kW, MTU CFC-Solutions) alimentado con biogás procedente de la planta de compostaje de Leonberg con un rendimiento del 47 % (2006-). Financiación: Gobierno alemán (80 %) y empresas participantes	Waste Management Corporation of the District of Böblingen MTU CFC-Solutions RWE Fuel Cells EnBW Energie Baden-Württemberg	Alemania
MCFC HotModule 250 kW, MTU CFC-Solutions) alimentado con biogás procedente de fermentación anaeróbica de cultivos energéticos (maíz) de Pliening -Schmack GmbH- (München, Alemania). Proyecto piloto para el abastecimiento eléctrico y refrigeración del Centro de Datos de T-Systems -*Servers Raum*-	Power & Air Solutions Voigt und Häffner MTU CFC-Solutions	Alemania

(München) (Agosto 2007-). Financiación: German Ministry for Technology and Economy (1 M€ de los 2.5 M€ totales del proyecto)		
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con LPG y biogás procedente de residuos de la granja de Guangzhou.	Toshiba Institute of Energy Economics New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)	China Japón
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás procedente del vertedero de Penrose Sun Valley (CA). La energía eléctrica generada se vendió a Los Angeles Department of Water and Power (1994-1996).	Northeast Utilities UTC Fuel Cells U.S. Environmental Protection Agency	EE.UU.
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás procedente del vertedero Flanders Road Landfill, Groton (Connecticut). Parte de la energía eléctrica generada se vendió a Connecticut Light and Power Company (1996-1998).	Town of Groton UTC Fuel Cells U.S. Environmental Protection Agency	EE.UU.
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR Deer Island Sewage Treatment Plant, Boston (1997-2002). Finaciación: DoD Climate Change Fuel Cell Program	Massachusetts Water and Power Resources Authority New England Power Company	EE.UU.
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR de Westchester Joint WWT, Yonkers (1997-). Modo de operación paralela a la red. 2 PAFCs de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR de 26th Ward, Brooklyn (2003-). Modo de operación paralela a la red. 2 PAFCs de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR de Red Hooks, Brooklyn (2003/2004-). Modo de operación paralela a la red. 3 PAFCs de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR de Hunts Point., Bronx (2003-). Modo de operación paralela a la red. PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR de Oakwood Beach, Staten Island (1997-). Modo de operación paralela a la red. 2 PAFCs de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR de Bowery Bay, Queens (2002-). Modo de operación paralela a la red.	New York Power Authority (NYPA) New York State Energy Research and Development Authority (NYSERDA)	EE.UU.
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR Columbia Boulevard Wastewater Treatment Plant (Oregón) (1999-finalizado). Finaciación: DoD Fuel Cell ERDC/CERl projects	City of Portland, Oregón	EE.UU.
2 PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells) alimentadas con biogás de la planta de compostaje "Rancho Las Vírgenes Composting Facility-Calabasas" de lodos de la EDAR Tapia Water Reclamation Facility (CA) (1999-). Finaciación: DoD Fuel Cell ERDC/CERl projects, California Energy Commission grant, Joint Venture LVMWD-triunfo Sanitation District	Las Virgenes Municipal Water District (LVMWD) Triunfo Sanitation District	EE.UU.
PAFC de 200 kW UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás/metano procedente del vertedero de Braintree (Massachusetts) (1999-2004). Finaciación: Massachusetts Division of Energy Resource, U.S.	Braintree Electric Light Department, BELD UTC Fuel Cells	EE.UU.

Department of Energy		
Cow Power: "Fuel cell feasibility for energy conversion on the dairy farm" -MCFCs (2000).	Univ. Cornell New York State Energy Research & Development Authority (NYSERDA)	EE.UU.
Terminal Island Fuel Cell Power Plant: MCFC de 250 kW (DFC300A, FuelCell Energy, Inc.) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR Terminal Island Treatment Plant (2004-). Finaciación: DoD Fuel Cell ERDC/CERl projects, LADWP's Public Benefit Program	Los Angeles Department of Water and Power (LADWP) Los Angeles Department of Public Works Bureau of Sanitation U.S. Army Corp. of Engineers	EE.UU.
2 MCFC de 250 kW (Fuel Cell Energy Inc.) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR El Estero Wastewater Treatment, Santa Bárbara (CA) (2004-). Finaciación: DoD Fuel Cell ERDC/CERl projects, California Public Utilities Commission (CPUC)	Alliance Power Caterpillar Inc. City of Santa Barbara	EE.UU.
MCFC de 250 kW (DFC300A, FuelCell Energy, Inc.) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR Palmdale Water Reclamation Plant (2004-). Finaciación: California Public Utilities Commission (CPUC)	Quinn Power System Associates/ Caterpillar Inc. Los Angeles County Sanitation Districts	EE.UU.
Proyecto de demostración "King County Fuel Cell Demonstration Project": MCFC de 1 MW (4 módulos de 250 MW, FuelCell Energy, Inc) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR King County's South Treatment Plant de Renton, Washington (2004-2006).	FuelCell Energy, Inc. King County's Wastewater Treatment Division U.S. Environmental Protection Agency	EE.UU.
4 MCFC de 250 kW (DFC300A, FuelCell Energy, Inc.) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de la materia orgánica de las aguas residuales de sus instalaciones (2006-). Finaciación: DoD Fuel Cell ERDC/CERl projects	Sierra Nevada Brewing Co. (CA)	EE.UU.
3 MCFC de 250 kW (FuelCell Energy, Inc.) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de residuos de granja (vacas lecheras) para suministro eléctrico de la EDAR de Tulare, California. Puesta en marcha: primavera de 2007.	Tulare City	EE.UU.
2 MCFC de 250 kW (FuelCell Energy, Inc.) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de residuos de cebolla. Puesta en marcha: 2ª mitad de 2007.	Gills Onions (CA)	EE.UU.
FC de 35 kW alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de residuos de granja de patos y ganadería en el área de Dordogne. Planta piloto a instalar a comienzos de 2007.	Agrilec/ Cenergie Air Products Onsite Power Systems Inc.	Francia EE.UU. EE.UU.
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás residual del proceso de fermentación de la cerveza.	Asahi Brewery	Japón
PAFC de 200 kW (UTC Fuel Cells, PC25C) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de la materia orgánica de las aguas residuales de sus instalaciones (1998-).	Sapporo Brewery	Japón
PAFC de 100 kW (Fuji Electric) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de residuos alimentarios en Kobe (2001-).	Kajima Corporation New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)	Japón
2 PAFC de 100 kW (Fuji Electric) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR Yamagata Purification Center (2002-).	Yamagata City	Japón
Proyecto de demostración de generador eléctrico estacionario: PEMFC de 250 kW (Ballard) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR Nishimachi Sewage Treatment Center, Tomakomai (2001-2002).	Empresas de Japón, EE.UU. y Europa. Ebara, Ballard	Japón
MCFC (300 kW, IHI-Ishikawajima-Harima Heavy Industries) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de	Chubu Electric	Japón

residuos de madera, plásticos, etc. -Chubu Electric's Shin-Nagoya Thermal Power Station- (2002-2004).		
MCFC de 250 kW (DFC300A, FuelCell Energy, Inc.) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de la EDAR Seibu Water Treatment Center, Hukuoka (2003-2005).	Marubeni Corporation City of Fukuoka	Japón
PEMFC de 35 kW (Sanyo Electric Co.) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de residuos ganaderos (13 t) y basuras domésticas (1 t) de la granja de Kuzumaki Highland Farm (2003-).	Iwatani internacional Co. Kuzumaki Livestock Development Company Orion Machinery Sanyo Electric Co. Shimizu Corp. Tohoku University Town of Kuzumaki	Japón
MCFC de 250 kW (DFC300A, FuelCell Energy, Inc.) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de la materia orgánica de las aguas residuales de sus instalaciones cerveceras en Toride (2003-).	Marubeni Corporation Kirin Brewery	Japón
"Kyoto Eco-Energy Project": "Micro-red" de 850 kW (eólica-fotovoltáica-turbina de gas-pila de combustible) que dispone de una planta de generación eléctrica a partir de biogás constituida por una turbina y una MCFC de 250 kW (FuelCell Energy, Inc.) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de residuos de la industria alimentaria para suministro eléctrico y calor a edificos administrativos y de viviendas, un colegio, un hospital, etc. (2003-). Financiación: New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)	Amita Corp. Fuji Electric Systems Co., Ltd. Kyotango City Kyoto Prefecture Nissin Electric Co., Ltd. Nomura Research Institute, Ltd. Ohbayashi Corp.	Japón
MCFC de 250 kW (FuelCell Energy, Inc.) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de residuos alimenticios (Tokyo "Super Eco Town" Project) para cogeneración y utilización propia y venta de la electricidad generada (2004-). Finaciación: Fondos del Ministerio de Agricultura (finaciación parcial)	Mitsubishi Heavy Industries Bio Energy, Co.	Japón
"Demonstrative Project of Regional Power Grids with Various New Forms of Energy at the 2005 world EXPO": "Micro-red" (eólica-fotovoltáica-turbina de gas-pila de combustible) con una MCFC alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de basuras generadas en los restaurantes de la EXPO, así como de productos de gasificación de residuos de madera generados en la construcción de la EXPO de Aichi. Suministro de electricidad a los pabellones de la NEDO y del gobierno japonés (2005). Chubu Airport Town (Tokoname City): Relocalización de la "micro-red" desde la finalización de la EXPO 2005. Comienzo de operación en agosto de 2006 durante, aproximadamente, 4.5 años. Financiación: New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)	Aichi Prefecture NTT Facilities Kyocera Corporation Chubu Electric Power Co. Toyota Motor Corp. NGK Insulators, Ltd. Japan Environment System Co., Ltd. Japan Association for the 2005 World Exposition Mitsubishi Heavy Industries Ltd.	Japón
Construcción de planta de generación eléctrica a partir de pilas de combustible alimentadas con biogás de planta de tratamiento de residuos de la industria alimentaria y aceites usados. Planificación de construcción y puesta en marcha en 2013. Proyecto piloto (2005).	Biogas Study Group Ministerio de Mediambiente Univ. Kyoto	Japón
Proyecto nacional para la construcción de una planta piloto con una MCFC de 1 MW.	IHI (Ishikawajima-Harima Heavy Industries)	Japón
FC alimentada con una mezcla de gas natural y biogás procedente de la digestión anaeróbica de basuras para suministro eléctrico de comedor escolar (2006-fase de planificación).	Shizuoka Resources Shizuoka Gas Co.	Japón

APLICACIONES A PEQUEÑA ESCALA (< 10 kW)		
Proyecto	**Participantes**	**País**
"Technological evaluation of biogas upgrading and electricity production using a fuel cell including the investigation of the biogas quality by utilization of different renewable resources" (PEMFC de 300 W a escala de laboratorio, PSFU) (2001-2004).	Federal Agricultural Research Centre, FAL Institute Farmatic Anlagenbau, GmbH TB, GmbH (Technisches Büro)	Alemania
"Use of agricultural biogas for electrical power generation with fuel cells": MCFC (stack de 10 unidades, 300 W en total, MTU CFC-Solutions) alimentada con biogás de origen agrícola de la planta de Haimhausen y con rendimiento del 45 % (escala de laboratorio) (2002-).	E.ON MTU CFC-Solutions Schmack Biogas, AG	Alemania
PEMFC de 600 W-1 kW (escala de laboratorio) y rendimiento del 39-45 %, alimentada con biogás procedente de la planta de fermentación seca (2004-).	ATB (Institute für Agrartechnick Bornim, e.V.) S&R (Schalt- und Regeltechnik GmbH)	Alemania
Desarrollo de SOFC de 1 kW con alimentación de gas natural o biogás para cogeneración y utilización en viviendas aisladas o bloques de apartamentos, p.e., con durabilidad estimada de 40000 h (2005).	Fraunhofer IKTS	Alemania
Desarrollo a nivel cuasiindustrial de stacks de micro-SOFC de 1 kW con aplicación entre -20°C y 40°C que se pueden alimentar con biogás para su uso en sistemas de control independientes de la red eléctrica (2005).	Fraunhofer ISE	Alemania
SOFC de 5 kW (Acumentrics) alimentada con distintos tipos de biogás - investigación desarrollada en el NREL - (2004-).	Acumentrics Co. National Renewable Energy Laboratory, NREL	EE.UU.
Proyecto de demostración: PEMFC de 5 kW (Plugpower Inc.) alimentada con biogás reformado procedente de purines de vacas lecheras (2005). Financiación: Environmental and Natural Resources Trust Fund	Haubenschild Farms Minnesota Department of Agriculture (MDA) Univ. Minnesota	EE.UU.
PEMFC (Toshiba) alimentada con biogás procedente de la digestión anaeróbica de basuras. Instalada en el Research & Development Center for Energy Utilization Technology, Matsue (2003-).	Chugoku Electric Power Co.	Japón
FC alimentada con biogás procedente de residuos ganaderos en Hokkaido (2004-).	Univ. Hokkaido Japan Steel Works Ministry of Land, Infrastructure and Transport	Japón
SOFC microtubular alimentada con biogás procedente del vertedero de Cannock, 5 h de operación y rendimiento del 18.5 %) con densidad de corriente de 524 mA cm^{-2} (1999).	Univ. Keele	Reino Unido
PEMFC de 4 kW (H. Power Corp. -Plug Power-) alimentada con hidrógeno producido mediante energía solar fotovoltáica y biogás procedente de los residuos municipales de Hammarby Sjostad -Estocolmo-. El exceso de electricidad generada se incorporó a la red eléctrica (2002-). Financiación: Stockholm's Local Investment Program (LIP)	Naps Systems Oy Birka Energy ABB	Suecia
Hammarby Sjostad project: 2 SOFC de 5 kW (Fuel Cell Technologies Ltd.) alimentadas con biogás procedente de la EDAR de Hammarby Sjostad -Estocolmo- para uso residencial (10000 viviendas) del calor y electricidad generados (2002-). Financiación: Stockholm's Local Investment Program (LIP)	Hammarby Sjostad project	
Proyecto de demostración: SOFC de 1 kW (SULZER Hexis A.G.) alimentada con biogás procedente de la planta agrícola de Chabloz en Lully con, aprox., 5000 h de operación y rendimiento del 35 % (escala de planta piloto) (2000-2002).	EREP, SA Univ. Lausanne Herr Chabloz	Suiza

3.3. BIBLIOMETRÍA

La búsqueda de publicaciones relacionadas con la utilización de biogás en pilas de combustible se realizó utilizando diferentes palabras clave que dieron lugar a la siguiente ecuación de búsqueda haciendo uso de operadores voléanos: (TS=(biogas AND "fuel cell*") OR TS=("landfill gas" AND "fuel cell*") OR TS=("sewage gas" AND "fuel cell*") OR TS=("digest* gas" AND "fuel cell*") OR TS=(compost* AND "fuel cell*") OR TS=(garbage AND "fuel cell*") OR TS=(wastewater AND "fuel cell*") OR TS=(("swamp gas" OR "marsh gas") AND "fuel cell*") OR TS=(biomethane AND "fuel cell*") OR TS=("fuel cell*" AND (methanisation OR biomethanisation)) OR TS=("waste water" AND "fuel cell*")) NOT TS=("microbial fuel cell*" OR "biological fuel cell*" OR "biochemical fuel cell*"), donde TS se refiere al título o resumen del artículo.

Desde 1983 hasta 2007 se identificaron un total de 148 publicaciones a nivel mundial (ver anexo II). Su evolución con el tiempo se muestra en la Figura 8. Entre 1984 y 1996, ambos incluidos, aparecieron 12 publicaciones, mientras que en los seis años siguientes se identificaron casi el triple. Entre 2003 y 2007 se encontraron 104 publicaciones, lo que suponen el 70.3 % del total. En el año 2007 la contribución fue del 9.5 %. Esta evolución cronológica indica el creciente interés que se ha desarrollado en los últimos 5 años por estudiar el uso del biogás en las pilas de combustible.

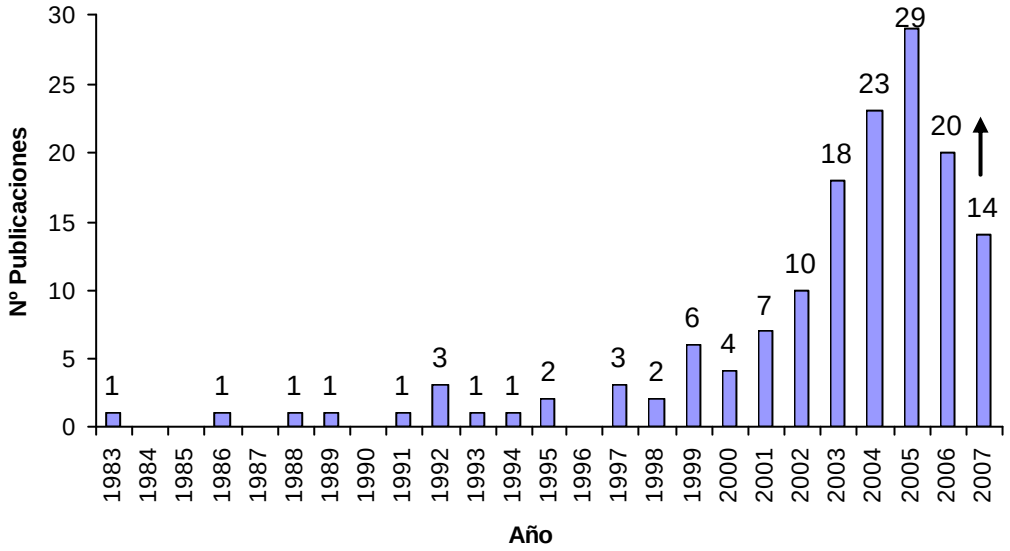


Figura 8: Distribución de los artículos por su fecha de publicación

La Tabla 10 muestra una clasificación de los artículos según el país de origen de los autores y el año de su publicación. Como puede observarse, EE.UU. es el país que se encuentra a la cabeza, con 43 publicaciones; en segundo lugar figura Alemania, con 28; seguido de Italia (22 publicaciones), Japón y el Reino Unido, con 16 y 12 publicaciones, respectivamente. A continuación, muy distanciados, se encuentran Grecia, Austria y Canadá, con 4 publicaciones. España se encuentra en octavo lugar, con 3 publicaciones, al igual que Holanda, Suecia y la India, pero mientras que en el caso de la India estos 3 artículos se publicaron a comienzos de los años 90, en el de España, Holanda y Suecia se publicaron con posterioridad. El resto de los países tienen entre 1 y 2 publicaciones, que además han aparecido en los últimos 6 años.

En relación a las instituciones que participan en estas publicaciones, en la Tabla 11 se puede observar que, a pesar de que la mayoría son americanas o alemanas, el 47 % del total, la Universidad de Perugia (Italia) es el centro puntero en este campo, con 16 publicaciones. A continuación, se encuentra la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (US EPA) con 12 publicaciones, seguida de la Universidad de Keele (Reino Unido) e Int. Fuel Cells Corp/ONSI (EE.UU.), ambas con 7 publicaciones. España cuenta con dos instituciones con artículos, el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP, CSIC) y el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), ambas con 2 publicaciones.

Tabla 10: Distribución de los artículos según el país de origen de los autores

	1983	1986	1988	1989	1991	1992	1993	1994	1995	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Nº Publ.
Alemania						1					1		1	4	2	3	2	4	7	3	28
Austria																1	1	2			4
Canadá																		1	1	2	4
China																				1	1
EE.UU.	1	1			1	1	1	1	1	3		5	1		1	6	6	8	2	3	43
España																		2		1	3
Francia																		1			1
Grecia																1			3		4
India			1	1		1															3
Holanda																		2	1		3
Italia				1									1			3	5	9	3		22
Japón														2	2	1	5	2	2	2	16
México															1						1
Noruega																				1	1
N. Zelanda																	1			1	2
Reino Unido											1	1	1	1	3	2		1	1	1	12
Suecia									1								1			1	3
Suiza															1	1	3				5
Tailandia																			1		1
Nº Publ.	1	1	1	1	1	3	1	1	2	3	2	6	4	7	10	18	23	29	20	14	148

Tabla 11: Número de publicaciones científicas por instituciones

Institución	Nº Publ.	Institución	Nº Publ.
ABB AB (Suecia)	1	Queens RMC Fuel Cell Research Centre, FCRC (Canadá)	3
AIST (Japón)	4	Royal Military College Canada (Canadá)	1
BASF Fuel Cell, GmbH (Alemania)	1	RWE Fuel Cells, GmbH (Alemania)	3
BHKW-Infozentrum Rastatt (Alemania)	1	Sapporo Breweries, Ltd. (Japón)	1
Biogasbrennstoffzellen, GmbH (Alemania)	1	Siemens Power Generation (Alemania)	1
Chinese Academy of Sciences (China)	1	Smart Fuel Cells, AG (Alemania)	1
CH2M Hill (EE.UU.)	1	Southern Research Inst. (EE.UU.)	1
CIEMAT (España)	2	Sulzer Hexis, Ltd. (Suiza)	1
CISE-Technologie Innovative, S.p.a. (Italia)	1	Sus. Tech. Corp. (EE.UU.)	1
CPERI-CERTH (Grecia)	2	T.B.E. (Alemania)	1
DLR (Alemania)	3	Technische Hochschule Darmstadt (Alemania)	1
Edison Company (EE.UU.)	1	Thermo Electron Corp. (Holanda)	1
EnBW AG (Alemania)	2	Toshiba Co. Ltd. (Japón)	2
ENEA (Italia)	4	Univ. Applied Sciences South Westfalia (Alemania)	1
EPFL (Suiza)	4	Univ. Aristóteles de Tesalónica (Grecia)	1
EREP SA (Suiza)	2	Univ. Birmingham (Reino Unido)	2
ESA-ESTEC Advanced Concepts Team (Holanda)	1	Univ. Canterbury (Nueva Zelanda)	2
EWE AG (Alemania)	1	Univ. Columbia (EE.UU.)	1
Federal Agricultural Research Centre, FAL (Alemania)	3	Univ. Connecticut (EE.UU.)	5
Federal Institute of Technology (Suiza)	1	Univ. Duisburg-Essen (Alemania)	2
Fortum (Suecia)	1	Univ. Florencia (Italia)	2
Fuelcell Energy Inc. (EE.UU.)	6	Univ. Ghent (Holanda)	2
GEW Köln AG (Alemania)	2	Univ. Hiroshima (Japón)	1
Greenfinch Ltd (Reino Unido)	1	Univ. Hokkaido (Japón)	1
Haubenschild Dairy (EE.UU.)	1	Univ. Kagoshima (Japón)	1
Hayden-Wegman Consulting Engineers (EE.UU.)	1	Univ. Keele (Reino Unido)	7
HC to H2 Consulting (EE.UU.)	1	Univ. Kyushu (Japón)	4
HGC Hamburg Gas Consult., GmbH (Alemania)	1	Univ. La Sapienza de Roma (Italia)	2
Htceramix, SA (Suiza)	2	Univ. Loughborough (Reino Unido)	1
Hydrogen Source Corp. (EE.UU.)	2	Univ. Lyon, CNRS (Francia)	1
ICP, CSIC (España)	2	Univ. Minnesota (EE.UU.)	2
Inst. of Agricultural Engineering Postdam-Bornim e.V., ATB (Alemania)	5	Univ. of Natural Resources and Applied Life Sciences, BOKU (Austria)	1
Inst. for Analytical Sciences (Alemania)	1	Univ. Nápoles Federico II (Italia)	2
Inst. Paul Scherrer (Suiza)	1	Univ. Obihiro (Japón)	2
Inst. Rochester of Technology (EE.UU.)	1	Univ. Patras (Grecia)	1

Inst. Royal of Technology (Suecia)	2	Univ. Perugia (Italia)	16
Inst. Tata of Energy Research (India)	3	Univ. Rutgers State (EE.UU.)	1
Inst. Tecnol. & Estudios Super. Monterrey (México)	1	Univ. Queens (Canadá)	1
Inst. Zivatech (EE.UU.)	4	Univ. Sherbrooke (Canadá)	1
Int. Fuel Cells Corp./ONSI (EE.UU.)	7	Univ. Siena (Italia)	1
Joanneum Research, Graz Institut fuer Energieforschung (Austria)	1	Univ. Southern California (EE.UU.)	1
KEMA Inc. (EE.UU.)	1	Univ. Strathclyde (Reino Unido)	2
King County (EE.UU.)	1	Univ. Técnica de Creta (Grecia)	2
King Mongkut´s Univ. of Technology Thonbury (Tailandia)	1	Univ. Técnica de Graz, TU Graz (Austria)	1
M-C Power Corporation (EE.UU.)	1	Univ. Texas (EE.UU.)	1
Milwaukee School of Engineering (EE.UU.)	1	Univ. Umea (Suecia)	1
Minnesota Department of Agriculture (EE.UU.)	2	Univ. Yamanashi (Japón)	1
MTU CFC Solutions, GmbH (Alemania)	5	US EPA (EE.UU.)	12
Mull and Iona Community Trust (Reino Unido)	1	VDI-GET-Fachausshusses Brennstoffzellen (Alemania)	1
NFCRC (EE.UU.)	1	VGB PowerTech, e.V. (Alemania)	1
Norwegian Univ. Sci. & Technol. (Noruega)	1	VKU, e.V. (Alemania)	2
NYPA (EE.UU.)	1	ZBT, GmbH (Alemania)	1
Profactor Produktionsforschung, GmbH (Austria)	2	ZHW (Suiza)	1
Proton Motor Fuel Cell, GmbH (Alemania)	1	ZSW (Alemania)	1
Prototech, AS (Noruega)	1	**Nº TOTAL PUBLICACIONES**	**148**

El análisis de las publicaciones científicas también ha permitido identificar la relación y grado de colaboración existente entre las distintas instituciones (Figura 9). Resulta sumamente significativa la escasa colaboración que existe entre ellas y que, además, tiene lugar, preferentemente, entre las pertenecientes a un mismo país. Solamente 19 instituciones, de las 109 totales, han tenido una cierta colaboración con otras extranjeras. Además, en la Figura 9 también se observa que EE.UU. y Alemania son los países con más instituciones trabajando en este campo, con 26 y 25 centros, respectivamente.

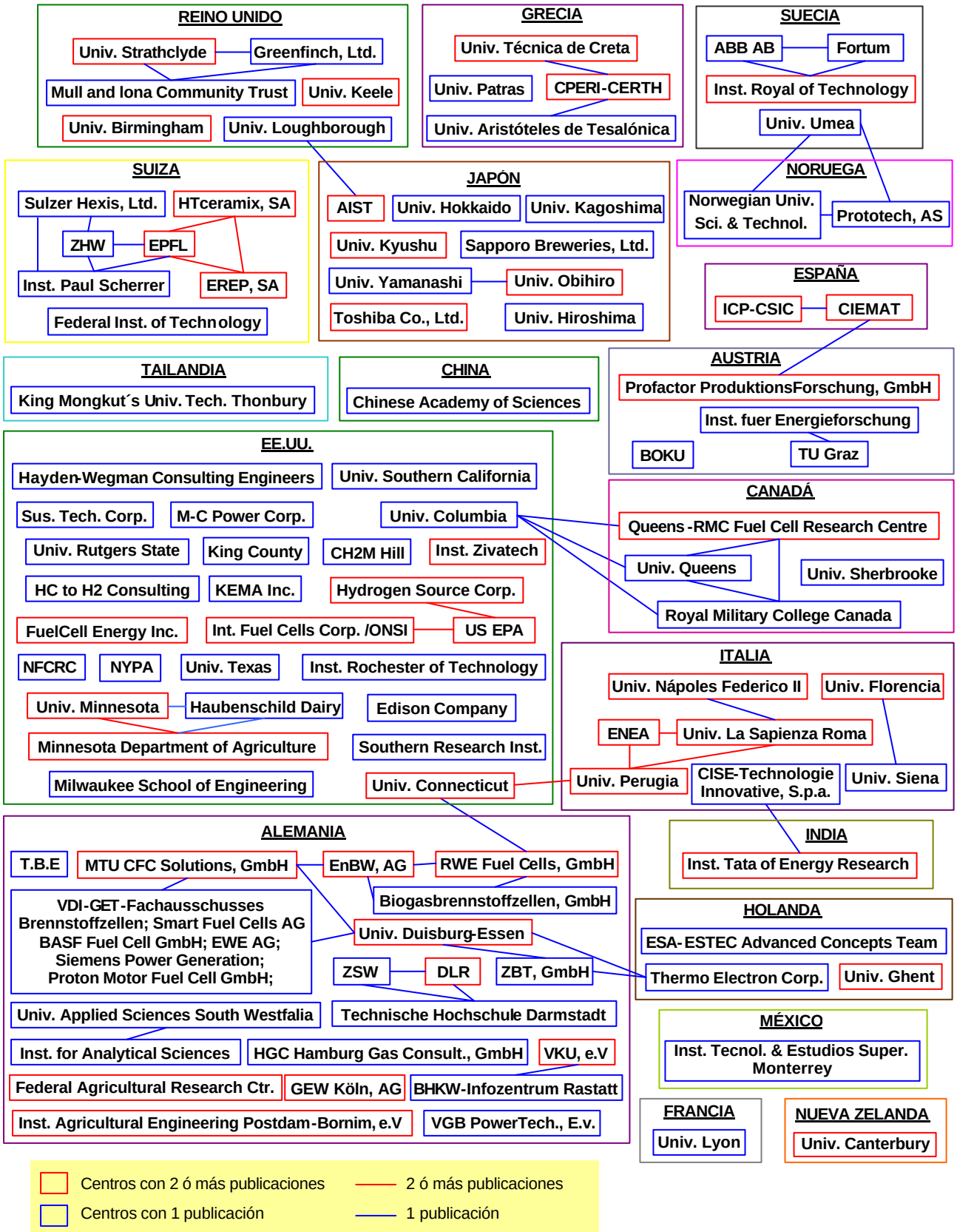


Figura 9: Colaboraciones entre las diferentes instituciones -agrupadas por su país de origen-

El análisis de las publicaciones permite generar información acerca de los temas de especialización tecnológica de las diferentes instituciones, de manera que éstas se clasificaron atendiendo a las líneas de trabajo de la Tabla 12.

En relación al uso de biogás en pilas de combustible de óxido sólido (SOFC) caben destacar la Universidad de Keele (Reino Unido), que ha trabajado con una SOFC microtubular alimentada directamente con el biogás procedente del vertedero de Cannok, y el EPFL (Suiza), que ha desarrollado un pequeño sistema de cogeneración basado en una SOFC alimentada con el biogás producido en granjas.

En el desarrollo de nuevos materiales para su utilización como electrodos en pilas de combustible de óxido sólido desempeñan tareas de investigación el Federal Institute of Technology (Suiza), la Universidad Técnica de Creta (Grecia), la Universidad de Kyushu (Japón) y la Universidad de Lyon (Francia), por ejemplo.

Entre los centros que desarrollan su actividad científica en el uso de las pilas de combustible de membrana polimérica (PEMFC) para producir energía a partir de biogás, cabe destacar el Instituto de Ingeniería Agrícola de Bornim (Alemania), que desarrolló un sistema basado en una pila de combustible de 1 kW alimentada con el hidrógeno producido a partir del biogás procedente de residuos sólidos de granjas. Asimismo, el AIST (Japón) centra su investigación en los métodos de obtención de hidrógeno a partir de biogás que posteriormente se utiliza para alimentar este tipo de pilas de combustible. También cabe destacar las instituciones de Suecia: Royal Inst. Technol., ABB AB y Fortum, que desarrollaron un sistema constituido por una pila de combustible de 4 kW alimentada con hidrógeno producido mediante energía solar fotovoltáica y biogás procedente de los residuos municipales de Hammarby Sjostad (Estocolmo). En el caso de España, el CIEMAT y el ICP (CSIC), también cuentan con publicaciones sobre este tipo de pilas de combustible.

Entre los centros con actividad en el campo de las pilas de combustible de carbonatos fundidos destacan, entre otros, la Universidad de Perugia, ENEA, la Universidad la Sapienza de Roma y la Universidad Federico II de Nápoles (Italia). La mayoría de los artículos de estos centros son estudios comparativos con otro tipo de tecnologías de generación de energía. En Alemania, cabe destacar la actividad desarrollada por MTU CFC Solutions y RWE Fuel Cells en la aplicación de este tipo de pilas de combustible a gran escala, al igual que FuelCell Energy en EE.UU.

En España, el grupo de pilas de combustible constituido por el CIEMAT-ICP cuenta con publicaciones sobre el aprovechamiento del biogás de vertedero para la producción de energía eléctrica mediante una pila de combustible de carbonatos fundidos.

En la tecnología de las pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC) destacan la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (US EPA) y Southern California Edison Company (EE.UU.); GEW Köln, T.B.E y VGB Power Tech. (Alemania); así como la Universidad Aristotélica de Tesalónica y el CPERI-CERTH (Grecia), el Royal Inst. (Suiza), Shizuoka Brewery (Japón), el Inst. Tata of Energy Research (India) y CISE Technologie Innovative (Italia). Las instituciones Edison Company, GEW Köln, Shizuoka Brewery y la Agencia Americana de Medioambiente (US EPA) han aplicado este tipo de pilas de combustible a gran escala, tal como se muestra en la Tabla 9 (apartado 3.2). Así, la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (US EPA) cuenta con publicaciones sobre sus instalaciones de pilas de combustible tipo PC25C de 200 kW (comercializada por UTC Fuel Cells) en la planta de tratamiento de agua de Yonkers (Nueva York) y en los vertederos de Penrose (Sun Valley) y de Groton (Connecticut). Asimismo, GEW Köln ha publicado resultados de su unidad PC25C en la planta de tratamiento de aguas de Köln-Rodenkirchen y la industria Sapporo Brewery de la que dispone para aprovechar el biogás obtenido mediante digestión anaeróbica de la materia orgánica de las aguas residuales de sus instalaciones.

Respecto a los sistemas de pretratamiento del gas para su posterior utilización en pilas de combustible de ácido fosfórico cabe señalar que la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (US EPA) desarrolló una unidad de que ha sido patentada (WO9601300, véase apartado 3.4., Tabla 14).

En cuanto al uso de biogás en pilas de combustibles alcalinas, señalar que no existen muchas publicaciones, de modo que sólamente se han identificado la Universidad Strathclyde, Mull and Iona Community y Greenfinch (Reino Unido).

Asimismo, a nivel nacional destacar los estudios llevados a cabo en el ICP (CSIC) sobre catalizadores de reformado seco de biogás.

Por último, conviene reseñar que es posible que debido a las limitaciones inherentes a las herramientas de búsqueda y a los contenidos de las bases de datos bibliográficas, determinados libros y algunas comunicaciones a congresos no han podido ser considerados en la realización de este estudio. Esto puede dar lugar a que algún grupo con actividad en este campo haya sido omitido o bien que en alguno de los incluidos no figuren todas sus líneas de trabajo.

Tabla 12: Líneas temáticas de las publicaciones en que participan las distintas instituciones

	Pilas de Combustible							Biogás					
	Tipo					Escala		Origen				Procesos de Pretratamiento	
	SOFC	MCFC	PEMFC	PAFC	AFC	< 10 kW	> 10 kW	Simulado	Vertedero	Lodos de EDAR	Agrícola/ Ganadero	Reformado	Purificación[1]
ABB AB (Suecia)			X			X				X		X	
AIST (Japón)			X			X						X	X
Biogasbrennstoffzellen, GmbH (Alemania)		X					X		X				
Chinese Academy of Sciences (China)	X												
CH2M Hill (EE.UU.)		X					X			X			
CIEMAT (España)		X	X									X	
CISE-Technologie Innovative (Italia)				X								X	
CPERI-CERTH (Grecia)	X			X				X				X	X
DLR (Alemania)									X	X			
EDISON Company (EE.UU.)				X			X		X				
EnBW, AG (Alemania)		X					X		X				
ENEA (Italia)		X							X	X			
EPFL (Suiza)	X		X				X			X		X	X
EREP, SA (Suiza)	X						X			X		X	
ESA-ESTEC (Holanda)	X												
Federal Agricultural Research Centre, FAL (Alemania)											X		
Federal Inst. of Technology (Suiza)	X											X	
Fortum (Suecia)			X			X						X	
FuelCell Energy Inc. (EE.UU.)		X	X				X			X		X	X

	Pilas de Combustible							Biogás					
	Tipo					Escala		Origen				Procesos de Pretratamiento	
	SOFC	MCFC	PEMFC	PAFC	AFC	< 10 kW	> 10 kW	Simulado	Vertedero	Lodos de EDAR	Agrícola/ Ganadero	Reformado	Purificación[1]
GEW Köln, AG (Alemania)				X						X			X
Greenfinch, Ltd. (Reino Unido)					X				X				
Haubenschild Dairy (EE.UU.)											X		X
Hayden-Wegman Consulting Engineers (EE.UU.)									X				
HC to H2 Consulting (EE.UU.)	X	X	X						X	X		X	
HGC Hamburg Gas Consult., GmbH (Alemania)				X			X			X			X
HTCeramix, SA (Suiza)	X						X			X		X	
Hydrogen Source Corp. (EE.UU.)				X					X				X
ICP, CSIC (España)			X									X	
Inst. Agricultural Engineering Postdam- Bornim e.V., ATB (Alemania)			X			X				X		X	X
Inst. for Analytical Sciences (Alemania)												X	
Inst. Paul Scherrrer (Suiza)	X		X									X	X
Inst. Rochester of Technology (EE.UU.)	X	X	X						X	X		X	
Inst. Royal of Technol. (Suecia)				X				X				X	
Inst. Tata of Energy Research (India)				X								X	
Inst. Tecnol. & Estudios Super. Monterrey (México)								X					
Inst. Zivatech (EE.UU.)	X								X			X	X
Int. Fuel Cells Corp./ONSI (EE.UU.)				X			X		X	X			X

	Pilas de Combustible							Biogás					
	Tipo					Escala		Origen				Procesos de Pretratamiento	
	SOFC	MCFC	PEMFC	PAFC	AFC	< 10 kW	> 10 kW	Simulado	Vertedero	Lodos de EDAR	Agrícola/ Ganadero	Reformado	Purificación[1]
Joanneum Research, Graz Institut fuer Energieforschung (Austria)											X		
KEMA Inc. (EE.UU)		X		X			X			X			
King County (EE.UU.)		X								X			
King Mongkut´s Univ. of Technology Thonbury (Tailandia)		X					X			X			X
M-C Power Corporation (EE.UU.)		X					X			X			
Milwaukee School of Engineering (EE.UU.)							X						
Minnesota Department of Agriculture (EE.UU.)			X			X						X	
MTU CFC Solutions, GmbH (Alemania)		X								X			
Mull and Iona Community Trust (Reino Unido)					X					X			
NFCRC (EE.UU.)					X				X				
Norwegian Univ. Sci. & Technol. (Noruega)	X												X
NYPA (EE.UU.)										X			
Profactor Produktionsforschung, GmbH (Austria)		X											X
Prototech, AS (Noruega)	X												X
Queens RMC Fuel Cell Res. Ctr. (Canadá)	X							X				X	X
Royal Military College Canada (Canadá)	X							X				X	X
RWE Fuel Cells, GmbH (Alemania)		X		X			X		X				

	Pilas de Combustible							Biogás					
	Tipo					Escala		Origen				Procesos de Pretratamiento	
	SOFC	MCFC	PEMFC	PAFC	AFC	< 10 kW	> 10 kW	Simulado	Vertedero	Lodos de EDAR	Agrícola/ Ganadero	Reformado	Purificación[1]
Sapporo Breweries, Ltd. (Japón)				X									
Southern Research Inst. (EE.UU.)				X					X				
Sulzer Hexis, Ltd. (Suiza)	X		X									X	X
Sus. Tech. Corp. (EE.UU.)							X				X		
T.B.E., GmbH (Alemania)				X			X			X			
Technische Hochschule Darmstadt (Alemania)										X			
Termo Electron Corp. (Holanda)													X
Toshiba Co., Ltd. (Japón)			X	X						X	X		X
Univ. Applied Sciences South Westfalia (Alemania)												X	
Univ. Aristóteles de Tesalónica (Grecia)				X								X	X
Univ. Birmingham (Reino Unido)	X								X				
Univ. Canterbury (Nueva Zelanda)	X									X			
Univ. Columbia (EE.UU.)	X							X				X	X
Univ. Connecticut (EE.UU.)	X	X		X				X	X				
Univ. Duisburg-Essen (Alemania)													X
Univ. Florencia (Italia)									X			X	
Univ. Ghent (Holanda)	X											X	
Univ. Hiroshima (Japón)										X			
Univ. Kagoshima (Japón)	X												
Univ. Keele (Reino Unido)	X								X			X	

	Pilas de Combustible							Biogás					
	Tipo					Escala		Origen				Procesos de Pretratamiento	
	SOFC	MCFC	PEMFC	PAFC	AFC	< 10 kW	> 10 kW	Simulado	Vertedero	Lodos de EDAR	Agrícola/ Ganadero	Reformado	Purificación[1]
Univ. Kyushu (Japón)	X							X				X	X
Univ. La Sapienza de Roma (Italia)	X	X							X				
Univ. Loughborough (Reino Unido)					X							X	
Univ. Lyon, CNRS (Francia)	X							X				X	
Univ. Minnesota (EE.UU.)			X			X						X	
Univ. Natural Resources and Applied Life Sciences, BOKU (Austria)													X[2]
Univ. Nápoles Federico II (Italia)		X							X	X			
Univ. Obihiro (Japón)			X									X	
Univ. Perugia (Italia)	X	X					X		X	X	X	X	X
Univ. Queens (Canadá)	X							X				X	X
Univ. Sherbrooke (Canadá)	X											X	
Univ. Siena (Italia)		X							X				
Univ. Southern California (EE.UU.)									X				X
Univ. State Rutgers (EE.UU.)									X				
Univ. Strathclyde (Reino Unido)					X				X				
Univ. Técnica de Creta (Grecia)	X							X				X	
Univ. Técnica de Graz, TU Graz (Austria)											X		
Univ. Umea (Suecia)	X												X
Univ. Yamanashi (Japón)												X	

	Pilas de Combustible							Biogás					
	Tipo					Escala		Origen				Procesos de Pretratamiento	
	SOFC	MCFC	PEMFC	PAFC	AFC	< 10 kW	> 10 kW	Simulado	Vertedero	Lodos de EDAR	Agrícola/ Ganadero	Reformado	Purificación[1]
US EPA (EE.UU.)				X			X		X	X			X
VGB PowerTech., e.V. (Alemania)				X			X			X			X
VKU, e.V.	X	X	X										
ZBT, GmbH (Alemania)													X
ZHW (Suiza)	X		X									X	X
ZSW (Alemania)										X			

[1] Entiéndase purificación del biogás previa a la etapa de reformado
[2] Publicación relativa a modelización del proceso de digestión anaeróbica para producir un biogás libre de impurezas

3.4. PATENTES

La búsqueda de patentes a nivel mundial relativas a la utilización de biogás en pilas de combustible se realizó utilizando palabras clave que dieron lugar a las siguientes ecuaciones de búsqueda: biogas AND “fuel cell(s)” /wastewater AND “fuel cell(s)”/ sludge AND “fuel cell(s)”/ garbage AND “fuel cell(s)”/ anaerobic AND “fuel cell(s)”/ methanogens AND “fuel cell(s)”/ sewage AND “fuel cell(s)”/ “landfill gas” AND “fuel cell(s)”/ “digestive gas” AND “fuel cell(s)”/ “digestion gas” AND “fuel cell(s)”/ “digested gas” AND “fuel cell(s)”/ compost AND “fuel cell(s)”/ composting AND “fuel cell(s)”/ fermentative AND “fuel cell(s)”/ fermentation AND “fuel cell(s)”/ digester AND “fuel cell(s)”/ fermenting AND “fuel cell(s)”/ anaerobically AND “fuel cell(s)”/ "organic waste(s)" AND "fuel cell(s)"/ methanisation AND “fuel cell(s)/ “swamp gas” AND “fuel cell(s)”/ “marsh gas” AND “fuel cell(s)”/ biomethanisation AND “fuel cell(s)”.

En la Tabla 13 se muestran los códigos internacionales utilizados en la clasificación de los documentos encontrados.

Tabla 13: Códigos internacionales de las patentes

Temática de referencia de los IPCs	CÓDIGOS INTERNACIONALES (IPCs)		
Producción de metano por tratamiento anaerobio de lodos	C02F11/04		
Equipos para enzimología/ microbiología con medios para recoger los gases de fermentación	C12M1/107	C12M1/00	
Preparación de hidrocarburos. Producción de metano por tratamiento anaerobio de las aguas de alcantarilla	C12P5/00	C12P5/02	
Combustibles gaseosos; Gas natural	C10L3/00	C10L3/06	C10L3/10
Carbono; Sus compuestos. CO2	C01B31/00	C01B31/20	
Destrucción de desechos sólidos o su transformación en algo útil o no nocivo	B09B3/00		
Microorganismos, p.ej. protozoos; Composiciones que los contienen	C12N1/00		
Tratamiento del agua, agua residual o de alcantarilla o fangos. Procedimientos de digestión anaerobios	C02F1/24	C02F1/461	C02F1/463
	C02F1/465	C02F1/467	C02F3/00
	C02F3/28		
Hidrógeno; Mezclas gaseosas que contienen hidrógeno; Separación del hidrógeno a partir de mezclas que lo contienen; Purificación del hidrógeno	C01B3/00	C01B3/02	C01B3/26
	C01B3/32	C01B3/38	C01B3/40
	C01B3/48	C01B3/50	C01B3/52
	C01B3/56		
Electrodos para pilas de combustible	H01M4/02	H01M4/06	H01M4/08
	H01M4/10	H01M4/12	H01M4/18
	H01M4/22	H01M4/24	H01M4/86
	H01M4/88		
Elementos con combustible. Fabricación.	H01M8/00	H01M8/04	H01M8/06
	H01M8/10	H01M8/12	H01M8/16
Generadores electroquímicos de corriente o tensión	H01M14/00		
Células o acoplamientos de células; Elementos de estructura de las células; Acoplamientos de elementos de estructura	C25B9/06	C25B9/08	
Dispositivos de control de alimentación o evacuación.	B01J4/00		
Composiciones absorbentes	B01J20/10		
Separación de gases. Depuración química o biológica de gases residuales	B01D53/02	B01D53/04	B01D53/06
	B01D53/08	B01D53/14	B01D53/22
	B01D53/34	B01D53/47	B01D53/48
	B01D53/52	B01D53/81	
Procedimientos químicos o físicos en general, llevados a cabo en presencia de fluidos y partículas sólidas	B01J8/00		
Procedimiento de separación que utilizan membranas semipermeables	B01D61/14		

Con las estrategias de búsqueda señaladas se identificaron 98 invenciones, agrupadas por familias en la Tabla 14. Estas invenciones dieron lugar a 210 solicitudes de patente y 45 patentes concedidas. De las solicitudes, 23 corresponden a solicitudes de patente internacional y 23 a solicitudes de patente europea.

La Figura 10 muestra la distribución del número de documentos encontrados (solicitudes de patente y patentes concedidas) por su año de publicación. Respecto al número de solicitudes, se observa que existe un incremento considerable entre 2002 y 2004, año en el que se alcanza el valor máximo (38). A partir de entonces, se empieza a producir un importante descenso. En el caso de las patentes concedidas, su número comienza a aumentar a partir de 2002, alcanzándose el valor máximo en el año 2006 (10). No obstante, cabe indicar que en 2007 ya se ha podido identificar la concesión de 6 patentes.

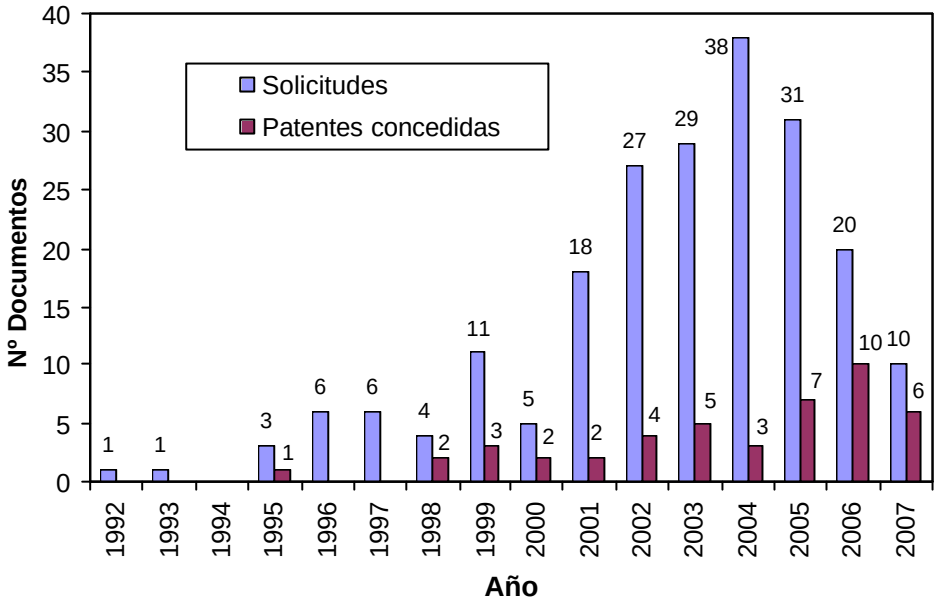


Figura 10: Distribución del número de solicitudes/patentes por su fecha de publicación

Tabla 14: Solicitudes y patentes concedidas agrupadas por familias

Nº Publicación	Fecha		Título	Solicitante	
	Publicación solicitud[1]	Publicación concesión[2]		Organismo	País
DE102006024034	28-06-2007	-	Production of mixed, recycled fiber suspension for papermaking machine, employs sufficient stages to maximize fibrous content in waste portion used for thermal and electrical energy generation (1)	Voith Patent GmbH	Alemania
EP1801284	27-06-2007	-	Method for producing pulp for a papermaking machine (2)	Voith Patent GmbH	Alemania
CN1971996	30-05-2007	-	Proton exchange membrane fuel cell (PEFFC) electric heat combined supply system using biologic garbage	Univ. Shanghai Jiaotong	China
JP2006272160	12-10-2006	-	Control equipment of biogas plant, and control process of biogas plant	Sanyo Electric Co.; Shimizu Construction Co. Ltd.; Iwatani Int. Corp.; Orion Machinery Co. Ltd.	Japón
US2006127747	15-06-2006	-	Ceramic anode solid oxide fuel cell	-	Italia
JP2006504236T	02-02-2006	-		-	
BR0315571	23-08-2005	-		Pirelli & C SPA	
RU2005115858	10-11-2005	-		-	
EP1554770	20-07-2005	-		Pirelli & C SPA	
AU2003274051	13-05-2004	-			
CA2502738	06-05-2004	-			
WO2004038844[3]	06-05-2004	n.a*		Pirelli & C SPA; Arico Antonino Salvatore	
WO2004049491[3]	10-06-2004	n.a*	Solid oxide fuel cell with cermet Cu/Ni alloy anode	Arico Antonino Salvatore; Gullo Laura Rosalba	
EP1620906	01-02-2006	-	Co-production of hydrogen and electricity in a high temperature electrochemical system (1)	Ion America Corp.	EE.UU.
US2004202914	14-10-2004	-			
WO2004093214[3]	28-10-2004	n.a*			
US2007196702	23-08-2007	-	Low pressure hydrogen fueled vehicle and method of operating same (2)	Bloom Energy Corporation	EE.UU.
EP1784882	16-05-2007	-	Method of optimizing operating efficiency of fuel cells (3)	Ion America Corp.	EE.UU.
WO2006001863[3]	05-01-2006	n.a*			
US2004224193	11-11-2004	-			
US2006096175	11-05-2006	-	Feedforward control processes for variable output hydrogen generators	-	EE.UU.

EP1525154	27-04-2005	-	(1)	Hyradix Inc.; Rusell Bradley P; Harness John R; Blommel Paul G; Sioui Daniel R; Abdo Suheil F	
AU200302308	30-06-2004	-		Sioui Daniel R; Abdo Suheil F; Vanden Bussche Kurt M; Sanger Robert J; UOP LLC; Russell Bradley P; Harness John R; Blommel Paul	
CA2511936	24-06-2004	-		Hyradix Inc.	
WO2004054013[3]	24-06-2004	n.a*		Sioui Daniel R; Abdo Suheil F; Vanden Bussche Kurt M; Sanger Robert J; UOP LLC; Russell Bradley P; Harness John R; Blommel Paul G	
US2004020124	25-02-2004	-	Process for maintaining a pure hydrogen stream during transient fuel (2)	-	EE.UU.
DE60116602T[4]	-	09-11-2006	Fuel cell power generation method and system	Ebara Corp.	Japón
ES2255543T[4]	n.a*	01-07-2006			
AT315835T[4]	n.a*	15-02-2006			
EP1259994	27-11-2002	11-01-2006			
CN1215592C	02-07-2003	17-08-2005			
US6969562	05-02-2004	29-11-2005			
JP2004525478T	19-08-2004	-			
AU3606001	12-09-2001	-			
CA2401758	07-09-2001	-			
WO0165621[3]	07-09-2001	n.a*		Ebara Corp.; Su Qingquan	
JP2006147265	08-06-2006	-	Fuel cell power generador	Fuji Electric Holdings	Japón
DE10393940T[4]	-	08-03-2007	Fuel mixing control for fuel cell power plants operating on multiple	UTC Fuel Cells LLC	EE.UU.
JP2006511923T	06-04-2006	-			
CN1748333	13-05-2006	-			
KR20050084383	26-08-2005	-			
US6890671	24-06-2004	10-05-2005		-	
AU2003297884	29-07-2004	-		UTC Fuel Cells LLC	
WO2004062058[3]	22-07-2004	n.a*			
CN1823005	23-08-2006	-	Fuel treatment device and fuel treatment method	Toshiba Fuel Cell Power System	Japón
EP1659095	24-05-2006	-			

KR20060029185	04-04-2006	-			
WO2005005313[3]	20-01-2005	n.a*		Toshiba Internal Fuel Cells Co.; Miyahara Hideo	
US2006115412	01-06-2006	-	Fuel processing system and method thereof	-	
JP3745078B2	12-11-2002	15-02-2006	Method and device for mixing and recycling food-related and good-related wastes	Kajima Corp.; Japan Steel Works Ltd.	Japón
JP2006169053	29-06-2006	-	Method and system producing hydrogen gas	Jipangu Energy KK	Japón
US2004058203	25-03-2004	-	Mixed reactant fuel cells	-	Reino Unido
CN1237644C	25-06-2003	18-01-2006		Scient Generics Ltd.	
EP1266419	18-12-2002	-			
AU4258401	08-10-2001	-			
CA2403935	04-10-2001	-			
WO0173880[3]	04-10-2001	n.a*		Scient Generics Ltd.; Priestnall Michael Alexander	
JP2004501480T	15-01-2004	-	Mixed reactant fuel cells with flow through porous electrodes	-	
JP2004500691T	08-01-2004	-			
US2003165727	04-09-2003	-			
BR0109513	10-06-2003	-		Scient Generics Ltd.	
EP1266420	18-12-2002	-			
AU4259001	08-10-2001	-			
CA2403938	04-10-2001	-			
WO0173881[3]	04-10-2001	n.a*		Scient Generics Ltd.; Priestnall Michael Alexander	
CN1419717	21-05-2003	-	Mixed reactant fuel cells with magnetic curren channel porous	Scient Generics Ltd.	
WO2006049795[3]	11-05-2006	n.a*	Pre-processing assembly for pre-processing fuel feedstocks for use in a fuel cell system	FuelCell Energy Inc.	EE.UU.
EP1819430	22-08-2007	-			
US2006090398	04-05-2006	-		-	
DE602004005306D	26-04-2007	-	Process for generating electricity and concentrated carbon dioxide	Shell Int. Research	Holanda
AT357062T[4]	n.a*	15-04-2007			
EP1584122	10-12-2005	14-03-2007			
US2006159967	20-07-2006	-			
JP2006515106T	18-05-2006	-			

NO20053812	12-08-2005	-			
CA2513205	29-07-2004	-			
WO2004064220[3]	29-07-2004	n.a*			
US2007029264	08-02-2007	-	Processing biological waste materials to provide energy	Accentus PLC	Reino Unido
EP1636869	22-03-2006	-			
NO20056062	20-12-2005	-			
CA2526300	06-01-2005	-			
WO2005001976[3]	06-01-2005	n.a*			
EP1808410	18-07-2007	-	System for generating hydrogen fuel to a fuel cell	Volvo Technology Corp.	Suecia
CN1288072C	13-07-2005	06-12-2006		Volvo Technology Corp.	
JP2005519012T	30-06-2005	-			
US2005000161	06-01-2005	-			
EP1480907	01-12-2004	-			
SE523260	-	06-04-2004		Volvo Teknisk Utveckling AB	
AU2003217097	09-09-2003	-		Volvo Technology Corp.	
CA2476020	04-09-2003	-			
WO03072493[3]	04-09-2003	n.a*		Volvo Technology Corp.; Petersson Martin	
SE0200589	28-08-2003	-		Volvo Teknisk Utveckling AB	
US2006182680	17-08-2006	-	Systems and processes for providing hydrogen to fuel cells	Questair Technologies Inc.	Canadá
US7041272	25-07-2002	09-05-2006		-	
JP2004512650T	22-04-2004	-		-	
WO0235623[3]	02-05-2002	n.a*		Questair Technologies Inc.; Keefer Bowie	
EP1344270	17-09-2003	-		Questair Technologies Inc.	
AU1485802	06-05-2002	-			
CA2424615	02-05-2002	-			
CA2324699	27-04-2002	-	Carbon monoxide removal from hydrogen feed to fuel cell		
CA2324702	27-04-2002	-	Reformate purification and heat recovery for fuel cell		
DE102005012367	14-09-2006	-	Two-stage fermentation process and assembly to generated hydrogen and methane from biological residues	Tutech Innovation Gmbh; Tech. Uni. Hamburg Harburg	Alemania
CN1259156C	21-04-2004	14-06-2006	Waste materials treating sys tems	Sanyo Electric Co	Japón

US6852226	11-03-2004	08-02-2005	Waste treatment system for treatment of organic waste and digested liquid thereof		
JP2004154762	03-06-2004	-	Waste treatment system		
JP2005327684	24-11-2005	-	Air cleanning filter and fuel cell system	Sanyo Electric Co.	Japón
JP2005135728	26-05-2005	-	Biogas fuel cell power generating device, and biogas hydrogen manufacturing device	Fuji Electric Holdings	Japón
JP2005129304	19-05-2005	-	Biogas fuel cell power generation system	Fuji Electric Holdings	Japón
JP2005125185	19-05-2005	-	Biogas generator and biogas power generation system	City Net KK; Nagano M & A CT KK	Japón
CA2503655	06-10-2005	-	Carbon sequestration and dry reforming process and catalysts to produce same	Univ. Sherbrooke	Canadá
US2005220695	06-10-2005	-			
JP3609961B2	26-01-2001	12-01-2005	Fuel cell power generating system	Mitsubishi Electric Corp.	Japón
US6878362	09-10-2003	12-04-2005	Fuel processor apparatus and method based on autothermal cyclic	General Electric Company	EE.UU.
JP2005330334	02-12-2005	-	Fuel gas Supply apparatus for fuel cell power	Fuji Electric Holdings	Japón
JP2005334806	08-12-2005	-	Gas refining apparatus, power genrating system and power generating method	Ebara Corp.	Japón
JP3680106B2	27-08-1996	10-08-2005	House having converting system	Plus Soken KK	Japón
EP1446358	18-08-2004	-	Integrated anaerobic system	Ainsworth Jack L; Atwood Dan; Rideout Tom	EE.UU.
US6569332	27-06-2002	27-05-2003		-	
CA2461395	22-05-2003	-		Ainsworth Jack L; Atwood Dan; Rideout Tom	
WO03042117[3]	23-05-2003	n.a*			
US6299774	-	09-10-2001	Anaerobic digester system		
JP2005216488	11-08-2005	-	Operation method of fuel cell power generation device	Fuji Electric Holdings	Japón
JP2005211727	11-08-2005	-	Operation method of methane fermentation apparatus	Fuji Electric Holdings	Japón
US2005266297	01-12-2005	-	Perovskite-based fuel cell electrode and membrane	Univ. St Andrews	Reino Unido
JP2005535084T	17-11-2005	-			
CN1672284	21-09-2005	-			
EP1532710	25-05-2005	-			
AU2003248994	23-02-2004	-			
CA2493029	12-02-2004	-			
WO2004013925[3]	12-02-2004	n.a*		Univ. Cout; Irving John Thomas	

				Sirr; Tao Shanwen	
KR20050039465	29-04-2005	-	Solid oxide fuel cell (SOFC) for coproducing syngas and electricity by the internal reforming of carbon dioxide by hydrocarbons and electrochemical membrane reactor system (for application)	Korea Inst. Science Technology	Korea
US2005089740	28-04-2005	-			
EP1502317	02-02-2005	-	Solid oxide fuel cell stack assembly for direct injection of carbonaceous fuels	Technology Man Inc.	EE.UU.
WO03096458[3]	20-11-2003	n.a*			
CA2484220	20-11-2003	-			
US2003211375	13-11-2003	-			
AU2003243207	11-11-2003	-			
US7198862	19-12-2002	03-04-2007	(A) Process for preparing a low-sulfur reformate gas for use in a fuel cell system	OMG AG & CO KG	Alemania
BR0202263	25-05-2004	-			
JP2003022836	24-01-2003	-			
CA2390727	15-12-2002	-			
EP1306351	02-05-2003	-	Method for producing low-sulfur reform gas for usage in a fuel cell		
KR20020096932	31-12-2002	-	Preparation method of low-sulfur reformate gas for fuel cell system		
EP1251311	23-10-2002	09-07-2003	Process for the energy supply of a slaughter house	Südfleisch GmbH	Alemania
AT244854T	n.a*	15-07-2003			
DK1251311T	n.a*	03-11-2003			
DE50100364D	14-08-2003	-			
AT411332B	15-05-2003	29-12-2003	Plant separating hydrogen sulfide from biogas using microorganisms, for use in fuel cells, mixes process fluid with oxidant in reactor	Profactor Produktionsforschung	Alemania
JP2004186122	02-07-2004	-	Fuel cell generator and operation control method	Fuji Electric Holdings	Japón
JP2004192824	08-07-2004	-	Fuel cell/methane fermentation cycle system	Chubu Electric Power	Japón
JP2004303482	28-10-2004	-	Fuel cell power generation process and fuel cell system	Mitsui Shipbuilding Eng.; Takahashi Junichi; Umetsu Kazutaka	Japón
JP2004095370	25-03-2004	-	Fuel cell power generation system and its operation method	Toshiba Internat Fuel Cells Co	Japón
JP3516580B2	18-06-1999	05-04-2004	Garbage disposal system and method and device for feeding gas to fuel cell by utilizing garbage	Ekishii KK	Japón
JP2004181295	02-07-2004	-	Garbage treatment system	Toto Ltd	Japón
JP2004043555	12-02-2004	-	Method of desulfurizing biogas	Biotech KK	Japón
AU2002219941B	27-05-2002	04-01-2007[5]	Multipurpos e reversible electrochemical system	Technology Man Inc.	EE.UU.

US6811913	16-05-2002	02-11-2004			
NZ520519	26-03-2004	-			
EP1348243	01-10-2003	-			
WO0241428[3]	23-05-2002	n.a*			
CA2397682	23-05-2002	-			
JP2004185961	02-07-2004	-	Operation method of fuel cell power generation device	Fuji Electric Holdings	Japón
JP2003045470	14-02-2003	-	Digestion gas fuel cell power generation system	Nippon Catalytic Chem. Ind.	Japón
JP2003277779	02-10-2003	-	Equipment for desulfurization of biogas	Mitsubishi Heavy Ind. Ltd.	Japón
JP3882999B2	21-11-2003	21-02-2007	Fuel cell power generation device and its operation control method	Fuji Electric Co. Ltd.	Japón
JP2003086227	20-03-2003	-	Power generation method using fuel cell and power generation system using power generation method	Mitsubishi Heavy Ind. Ltd.	Japón
JP2003001298	07-01-2003	-	System for treatment of organic waste and recycling system	EEWAN KK	Japón
JP2002012878	15-01-2002	-	Apparatus for producing biogas and fuel cell equipment	Sapporo Breweries	Japón
JP2002241775	28-08-2002	-	Apparatus for treating sludge-digested gas	Meidensha Electric MFG Co. Ltd.	Japón
JP2002161572	04-06-2002	-	Biotoilet system	Matsushita Electric Works Ltd.	Japón
DE10113879	26-09-2002	-	District heating system is powered by biogas from fermented organic wastes, and converted by fuel cell to electrical energy	Mannheim Thomas	Alemania
JP2002086101	26-03-2002	-	Food waste treating plant	New Otani Co. Ltd.	Japón
CN1084058C	09-06-1993	01-05-2002	High efficiency energy conversion and treatment of organic waste	Ztek Corp.	EE.UU.
US5500306	19-03-1996	-			
JP2002275482	25-09-2002	-	Method for power generation by digested gas and power generation system	Ebara Corp.	Japón
JP2002216820	02-08-2002	-	Power generating system using livestock excreta disposal digestive gas	Taki Yoshiki; Mitarai Masaaki	Japón
JP2002260703	13-09-2003	-	Power generating system using organic waste disposal and digestion gas	Nat. Inst. of Adv. Ind & Technol.; Sumitomo Metal Minino Co.; Suzuki Shoko KK	Japón
EP0804272	05-11-1997	20-02-2002	Waste gas treatment system and method	Int. Fuel Cells Corp.	EE.UU.
DE69619360T[4]	-	28-11-2002			
US5830423	03-11-1998	-			
WO9718885[3]	29-05-1997	n.a*			
CA2233592	29-05-1997	-			

JP2002151131	24-05-2002	-	Waste treatment power generation system	Mitsubishi Heavy Ind. Ltd.	Japón
JP2001023677	26-01-2001	-	Fuel cell power generating method and fuel cell power generating system	Ebara Corp.	Japón
JP2001212583	07-08-2001	-	Livestock waste treatment system	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
AU5853500	30-01-2001	-	Method for electric power generation using fuel cell and electric power generation system using fuel cell	Ebara Corp.	Japón
WO0104046[3]	18-01-2001	n.a*		Ebara Corp.; Su Qingquan	
JP3193273B2	04-02-1997	30-07-2001	Method for utilizing anaerobic digestion gas	NGK Insulators Ltd.	Japón
JP2001250572	14-09-2001	-	Power generating system for fuel cell	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
JP2001229955	24-08-2001	-	Power generation system	Toto Ltd.	Japón
JP2001259588	25-09-2001	-	Power supply device for garbage disposal	Matsushita Seiko KK	Japón
JP2001275279	05-10-2001	-	Power supply system for cattle stall	Matsushita Seiko KK	Japón
JP3103332B2	11-05-1999	30-10-2000	Fuel cell power generating device	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
DE19857870	21-06-2000	-	Conversion of organic waste into energy and fertilizaer without pyrolysis or incineration	RES & DEV of Renewable Energy	Irlanda
JP2000232892	29-08-2000	-	Disposition of waste substance from a golf course	Tokyo Gas Co. Ltd.	Japón
JP2000090953	31-03-2000	-	Fuel cell power generation facility	Sapporo Breweries; Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
JP2000294266	20-10-2000	-	Method and device for recovering energy	Sumitomo Heavy Industries; Asahi Breweries Ltd.	Japón
JP3064272B2	20-06-2000	12-07-2000	System for recovering energy of garbage	Kajima Corp.	Japón
JP3938223B2	06-01-1999	27-06-2007	Digestive gas -using fuel cell facility	Mitsubishi Kakoki KK	Japón
JP11149933	02-06-1999	-	Fuel cell plant fueled with fermentation gas of organic	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
JP11045732	16-02-1999	-	Fuel cell power generating device	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
JP11045726	16-02-1999	-	Fuel cell power generating installation	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
JP11045731	16-02-1999	-	Fuel cell power generating plant	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
JP11121022	30-04-1999	-	Power generation method using waste	Ebara Corp.	Japón
US5976373	02-11-1999	-	Removal of hydrogen sulfide from anaerobic digester	Int. Fuel Cells Corp.	EE.UU
US5916438	20-06-1999	-			
DK769041T[4]	n.a*	25-05-1999			
DE69504353T[4]	-	05-06-1999			

JP2848708B2	03-03-1998	20-01-1999			
ES2122660T[4]	n.a*	16-12-1998			
EP0760941	23-04-1997	26-08-1998			
WO9601300[3]	18-01-1996	n.a*			
JP11275965	12-10-1999	-	System for cultivating plant	Sanyo Electric Co.	Japón
DE19649244	28-05-1998	-	Machine for converting a mixture of biological waste and renewable materials into, e.g. oil, hydrogen, methane, proteins and heat	Schiff Gerhard Dipl. Ing. Agr	Alemania
JP10334937	18-12-1998	-	Fuel cell power plant and operation control method therefor	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
JP9097622	08-04-1997	-	Fuel cell facilities	Mitsubishi Kakoki KK	Japón
AU2948895	05-01-1996	-	Landfill gas treatment system	Int. Fuel Cells Corp.	EE.UU.
WO9534372[3]	21-12-1995	n.a*			
US5451249	-	19-09-1995			
DE1951669	31-10-1996	18-07-2002	Generation of electrical energy from biomass fermentation	Ingbüero Dipl. Ing. Rudolf Loock	Alemania
DE19511734	02-10-1996	-	Processing waste organic materials for fuel cells and for mfg. biogas	Prof. Dr. Bannwarth Horst	Alemania
JP7118669	09-05-1995	-	Fuel gas-producing system	Hitachi Ltd.	Japón
JP7169495	04-07-1995	-	Chemical power generating system utilizing waste fermentation gas	Tokyo Shibaura Electric Co.	Japón
JP4002058	07-01-1992	-	Waste fuel cell	Kubota KK	Japón

[1] Normalmente se refiere a la fecha de publicación de documento no examinado que no ha dado lugar a la concesión de la patente en dicha fecha o con anterioridad a ella. En algún caso, podría tratarse de la fecha de publicación de dicho documento ya examinado
[2] Normalmente se refiere a la fecha de publicación de documento de patente que ha dado lugar a la concesión de un título de propiedad industrial en dicha fecha o con anterioridad a ella. En algún caso, podría tratarse de la fecha de puesta a disposición del público de dicho documento previa a su publicación
[3] Solicitud Internacional publicada en virtud del tratado de cooperación en materias de patentes (PCT)
[4] Traducción del fascículo de Patente Europea
[5] Fecha de puesta a disposición del público por impresión o un procedimiento similar del documento de patente examinado y aprobado
* No aplica

Cabe destacar que, hasta el momento, tan solo 12 países disponen de algún organismo/institución con alguna patente o solicitud de patente en este ámbito, de modo que el 64.3 % de las invenciones pertenecen a empresas japonesas (Figura 11 a). EE.UU. ocupa la segunda posición (15.3 % de las invenciones); seguida de Alemania (8.2 %), Reino Unido (3.1 %) y Canadá (2.0 %), con contribuciones muy inferiores.

En lo que se refiere al número de solicitudes asociadas a las invenciones, las empresas de Japón ostentan, de nuevo, el primer lugar (Figura 11 b), correspondiéndoles el 36.2 % del total. A continuación, se encuentran las de EE.UU. (24.3 %) y, posteriormente, con un número considerablemete inferior, las del Reino Unido (12.9 %), Alemania (7.1 %), Canadá (5.2 %), Italia (4.3 %), Suecia (4.3 %) y Holanda (3.3 %).

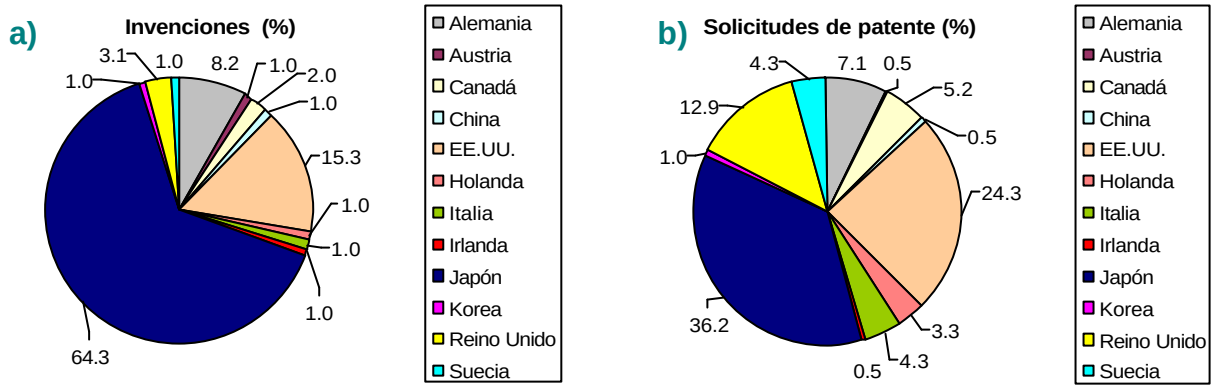


Figura 11: Distribución de las invenciones (a) y sus solicitudes asociadas (b) por el país del solicitante

En la Tabla 15 se muestra la evolución con el tiempo del número de solicitudes y de patentes concedidas de cada organismo solicitante. Cabe señalar la empresa americana UTC Fuel Cells, al ser la que presenta el mayor número de documentos de patente, seguida de la japonesa Ebara Corp. A continuación, se sitúan Technology Man. Inc. (EE.UU.), Scient Generics Ltd (EE.UU.) y Tokio Shibaura Electric Co. (Japón), aunque la actividad de esta última empresa parece haberse detenido desde 2001.

Tabla 15: Distribución temporal del número de solicitudes y patentes concedidas clasificadas por el solicitante (nº solicitudes + nº patentes concedidas)

Solicitante		Año																Total
Oganismo	País	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
Accentus PLC	Reino Unido														3+0	1+0	1+0	5+0
Ainsworth Jack L	EE.UU.										0+1		2+0	1+0				3+1
Asahi Breweries Ltd	Japón									1+0								1+0
Biotech KK	Japón													1+0				1+0
Bloom Energy Corporation	EE.UU.																1+0	1+0
City Net KK	Japón														1+0			1+0
Chubu Electric Power	Japón													1+0				1+0
Ebara Corp.	Japón								1+0		6+0	2+0	1+0	2+0	1+2	0+4		13+6
EEWAN KK	Japón												1+0					1+0
Ekishii KK	Japón								1+0					0+1				1+1
Fuelcell Energy Inc.	EE.UU.															1+0	1+0	2+0
Fuji Electric Holdings/Fuji Electric Co.	Japón												1+0	2+0	5+0	1+0	0+1	9+1
General Electric	EE.UU.												1+0		0+1			1+1
Hitachi Ltd.	Japón				1+0													1+0
Hyradix Inc.	EE.UU.													1+0	1+0			2+0
Ingbüero Dial. Ing. Rudolf Loock	Alemania					1+0						0+1						1+1
Ion America Corp.	EE.UU.													3+0		2+0	1+0	6+0
Iwatani Int. Corp.	Japón															1+0		1+0
Japan Steel Works Ltd.	Japón											1+0				0+1		1+1
Jipangu Energy KK	Japón															1+0		1+0
Kajima Corp.	Japón									1+1		1+0				0+1		2+2
Korea Inst. Science Technology	Korea														2+0			2+0
Kubota KK	Japón	1+0																1+0
Mannheim Thomas	Alemania											1+0						1+0
Matsushita Electric Works Ltd.	Japón											1+0						1+0
Matsushita Seiko KK	Japón										2+0							2+0
Meidensha Electric Mfg Co. Ltd.	Japón											1+0						1+0
Mitsubishi Electric Corp.	Japón										1+0				0+1			1+1
Mitsubishi Heavy Ind. Ltd.	Japón											1+0	2+0					3+0
Mitsubishi Kakoki KK	Japón						1+0		1+0								0+1	2+1
Mitsui Shipbuilding Eng.	Japón													1+0				1+0

Nagano M & A CT KK	Japón														1+0			1+0
Nat. Inst. of Adv. Ind. & Technol.	Japón												1+0					1+0
New Otani Co. Ltd.	Japón											1+0						1+0
NGK Insulators Ltd.	Japón						1+0				0+1							1+1
Nippon Catalytic Chem. Ind.	Japón												1+0					1+0
OMG AG & CO KG	Alemania											3+0	2+0	1+0			0+1	6+1
Orion Machinery Co. Ltd.	Japón															1+0		1+0
Pirelli & C SPA	Italia													3+0	2+0			5+0
Plus Soken KK	Japón					1+0									0+1			1+1
Profactor Produktionsforschung GmbH	Austria												1+1					1+1
Prof. R. Bannwarth Horst	Alemania					1+0												1+0
Questair Technologies Inc.	Canadá											5+0	1+0			1+0		7+0
Res. & Dev. OF Renewable Energy	Irlanda									1+0								1+0
Sanyo Electric Co.	Japón								1+0					3+0	1+1	1+1		6+2
Sapporo Breweries	Japón									1+0		1+0						2+0
Scient Generics Ltd.	Reino Unido										6+0	2+0	3+0			0+1		11+1
Shell Int. Research	Holanda													2+0	2+0	1+0	1+2	6+2
Shimizu Construction Co. Ltd.	Japón															1+0		1+0
Südfleisch GmbH	Alemania											1+0	1+3					2+3
Sumitomo Heavy Industries	Japón												1+0					1+0
Sumitomo Metal Mining Co.	Japón									1+0								1+0
Suzuki Shoko KK	Japón												1+0					1+0
Schiff Gerhard Dipl. Ing. Agr.	Alemania							1+0										1+0
Taki Yoshiki	Japón											1+0						1+0
Technology Man. Inc.	EE.UU.											4+0	5+0	1+1	1+0		0+1	11+2
Tokyo Gas Co. Ltd.	Japón									1+0								1+0
Tokyo Shibaura Electric Co. (Toshiba)	Japón				1+0			1+0	5+0	1+1	2+0							10+1
Toshiba Fuel Cell Power System	Japón															3+0		3+0
Toshiba Internat. Fuel Cells Corp.	Japón													1+0	1+0			2+0
Toto Ltd.	Japón										1+0			1+0				2+0

Tutech Innovation GmbH	Alemania															1+0		1+0
Univ. Cout	Reino Unido													1+0				1+0
Univ. St. Andrews	Reino Unido													2+0	4+0			6+0
Univ. Shanghai Jiatong	China																1+0	1+0
Univ. Sherbrooke	Canadá														2+0			2+0
Univ. Tech. Hamburg.	Alemania															1+0		1+0
UOP LLC	EE.UU.													2+0				2+0
UTC Fuel Cells LLC/Int. Fuel Cells Corp.	EE.UU.				1+1	2+0	4+0	2+2	2+3			0+2		2+0	1+0	2+0	0+1	16+9
Voith Patent GmbH	Alemania																2+0	2+0
Volvo Technology Corp./Volvo Teknisk Utveckling AB	Suecia												4+0	1+1	2+0	0+1	1+0	8+2
Ztek Corp.	EE.UU		1+0			1+0						0+1						2+1
n.d[1]												2+0	1+1	6+0	2+1	6+1	1+0	18+3
Solicitudes compartidas										2		1	1		1	3		7+0
Patentes compartidas																		0+0
Nº total documentos		1+0	1+0	0+0	3+1	6+0	6+0	4+2	11+3	5+2	18+2	27+4	29+5	38+3	31+7	20+10	10+6	210+45

[1] No disponible

4. CONCLUSIONES

- La utilización de biogás en pilas de combustible, especialmente formando parte de sistemas híbridos de pila de combustible y turbina de gas o vapor, se contempla como una vía prometedora de generación combinada de calor y electricidad de elevada eficiencia y bajo impacto ambiental. Estos sistemas, previsiblemente, podrían a llegar a sustituir a la tecnología convencional. A medio plazo, los sistemas potencialmente competivos en términos de costes y de eficiencia son los híbridos de pila de combustible de óxido sólido (SOFC) y microturbina de gas.

- Ambas líneas de desarrollo (biogás y pilas de combustible) gozan de un extraordinario apoyo desde las administraciones a nivel mundial, existiendo numerosos programas en los que se tratan como temas de carácter prioritario. Japón y EE.UU. son los pioneros en este ámbito.

- En el año 2006 se identificaron un total de 36 instalaciones de pilas de combustible alimentadas con biogás, resultando una generación global de potencia eléctrica superior a 8 MW. En la inmensa mayoría de los casos se trata de pilas de combustible de ácido fosfórico (PAFC) alimentadas con biogás procedente de la digestión anaeróbica de lodos de depuradoras de aguas residuales. EE.UU y Japón son los países que cuentan con un mayor número de instalaciones. En Europa cabe destacar Alemania.

- A nivel mundial, hasta Diciembre de 2007 se han identificado 148 publicaciones relacionadas con la utilización de biogás en pilas de combustible. EE.UU es el país que se encuentra a la cabeza, participando en el 29 % de las publicaciones. A continuación, se encuentran Alemania (19 %), Italia (15 %), Japón (11 %) y Reino Unido (8 %).

- En relación a las instituciones que participan en estas publicaciones, la Universidad de Perugia (Italia) es el centro puntero en este campo, participando en el 11 % de las publicaciones. A continuación, se encuentra la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (8 %); seguida de la Universidad de Keele (Reino Unido) e Int. Fuel Cells Corp/ONSI (EE.UU.), participando ámbas en el 5 % de las publicaciones. España cuenta con dos instituciones con artículos en este ámbito, el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP, CSIC) y el CIEMAT, que participan en el 1 % de las publicaciones. Cabe señalar un bajo índice de colaboración entre los distintos centros.

- Asimismo, en este campo se han identificado 98 invenciones que dieron lugar a 210 solicitudes de patente y 45 patentes concedidas distribuidas por todo el mundo, de modo que el 64 % de las invenciones pertenecen a empresas japonesas. EE.UU. ocupa una lejana segunda posición (15 % de las invenciones), seguida de Alemania (8 %), Reino Unido (3 %) y Canadá (2 %).

5. BIBLIOGRAFÍA

? Publicaciones del anexo y referencias a pie de figuras y páginas.

? Otras publicaciones:

- Baker A., Adamason K. A. "Fuel Cell Today Market Survey. Large Stationary Applications". Fuel Cell Today 2 November 2005 (disponible en http://www.fuelcelltoday.com/FuelCellToday/FCTFiles/FCTArticleFiles/Article_1046_largestationary2005.pdf)
- Boletín Oficial del Estado del 29 de Enero de 2003. Ayudas concedidas convocatoria PROFIT 2001 (Ministerio de Ciencia y Tecnología)
- Boletín Oficial del Estado del 9 de Julio de 2004. Ayudas concedidas convocatoria PROFIT 2002 (Ministerio de Educación y Ciencia)
- Boletín Oficial del Estado del 28 de Diciembre de 2004. (http://www.mec.es/ciencia/jsp/plantilla.jsp?area=proyectosID&id=21)
- Boletín Oficial del Estado del 17 de Junio de 2005. Ayudas concedidas convocatoria PROFIT 2004 (Ministerio de Educación y Ciencia)
- Boletín Oficial del Estado del 9 de Diciembre de 2005. (http://www.mec.es/ciencia/jsp/plantilla.jsp?area=proyectosID&id=21)
- Boletín Oficial del Estado del 26 de Abril de 2006. Ayudas concedidas convocatoria PROFIT 2005 (Ministerio de Educación y Ciencia)
- Boletín Oficial del Estado del 15 de Mayo de 2006. Ayudas concedidas convocatoria PROFIT 2005 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio)
- Boletín Oficial del Estado del 11 de Octubre de 2006. (http://www.mec.es/ciencia/jsp/plantilla.jsp?area=proyectosID&id=21)
- Boletín Oficial del Estado del 11 de Abril de 2007. Ayudas concedidas convocatoria PROFIT 2006 (Ministerio de Industria, Turismo y Comercio)
- Campos Pozuelo A. E. "Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria". Tesis Doctoral. Universidad de Lleida
- Carrillo L. "Energía de biomasa". Edición del autor, S.S. JUJUY, 2004, 82P
- Daza L. "Low Temperatura Fuel Cells", en Biofuels for Fuel Cells Part. 3, pág. 271-286. IWA Publising, ISBN 1-84339-092-2, London (UK), 2005
- Escudero M.J., Soler J., Daza L. "Biogas powered fuel cells as a technical solution", en Biogas Powered Fuel Cells Part 3, pp. 28-83. Trauner Verlag, ISBN 3-85487-626-2, Linz (Austria), 2004
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. "Renewable biological systems for alternative sustainable energy production" (FAO Agricultural Services Bulletin - 128)
- Ferreira-Aparicio P., Benito M., Daza L. "The hydrogen and fuel cell perspectives for Europe", en Biogas Powered Fuel Cells Part 2, pp. 9-27. Trauner Verlag, ISBN 3-85487-626-2, Linz (Austria), 2004
- IDAE (2005). Eficiencia energética y energía renovables. Boletín IDAE. Septiembre 2005
- Jiménez S., Soler J., Valenzuela R.X., Daza L. "Assessment of the performance of a PEMFC in the presence of CO". Journal of Power Sources 145, 108, 2005
- Kazama T. "Fuel Cells: Business opportunities and Issues to Be Resolved". Nomura Research Institute. NRI Papers No. 80, September 1, 2004 (disponible en http://www.nri.co.jp/english/opinion/papers/2004/pdf/np200480.pdf)
- OECD/ IEA. "Hydrogen and fuel cells". Review of nacional R&D programs. 2004
- Plan de Energías Renovables en España (2005-2010)

? Páginas Web:

Asociación de productores de energías renovables:

- http://www.appa.es

Información general sobre el biogás:

- http://www.geocities.com/institutoingefor2/cursos/curso01/biogas1.html?20077

Información sobre sistemas de utilización energética del biogás:

- http://www.epa.gov/agstar/pdf/handbook/chapter3.pdf

Proyectos de demostración de pilas de combustible alimentadas con biogás:

- http://dodfuelcell.cecer.army.mil/climate/recipients.php4
- http://www.fuelcells.org/info/charts/FCInstallationChart.pdf
- http://www.manuremanagement.cornell.edu/Docs/Fuel%20Cell%20Fact%20Sheet%20-%205-3-05.pdf
- http://www.mtu-friedrichshafen.com/cfc/en/proj/pics/projects.pdf
- http://www.nfcrc.uci.edu/fcresources/FCexplained/stationary-applications.htm
- http://www.unu.edu/hq/japanese/gs-j/gs2005j/tohoku4/nakamura-j.pdf
- http://www.utcpower.com/fs/com/Attachments/PP_NYPAW.pdf
- http://www.futureenergies.com/modules.php?op=modload&name=News&file=article&sid=959
- http://biopact.com/2007/01/biogas-fuel-cell-delivers-heat-and.html
- http://biopact.com/2007/05/biogas-powered-fuel-cell-wins-award.html
- http://biopact.com/2007/09/german-it-firm-uses-biogas-fuel-cell-to.html Proyectos europeos 1999-2002 sobre pilas de combustible e hidrógeno:
- http://ec.europa.eu/research/energy/nn/nn_pu/article_1260_en.htm

ANEXO I: SIGLAS

ATB.- Agrartechnik Bormim (Inst. of Agricultural Engineering Bornim)
AIST.- Inst. Natl. of Advanced Industrial Science and Technology
BOKU.- Universität für Bodenkultur Wien (University of Natural Resources and Applied Life Sciences)
CERTH.- National Centre for Research and Technology Hellas
CIEMAT.- Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas
CPERI.- Chemical Process Engineering Research Institute
DLR.- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (The German Aerospace Center)
ENEA.- Nacional Agency for New Technology, Energy and Environment
EPFL.- Ecole Polytecnique Fédérale de Lausanne
ESA.- European Space Agency
ESTEC.- European Space Researchand Technology Centre
FAL.- Federal Agricultural Research Centre
FCRC.- Fuel Cell Research Centre
ICP.- Inst. Catálisis y Petroleoquímica
NFCRC.- Natl. Fuel Cell Research Center
NYPA.- New York Power Authority
T.B.E.- Technische Beratung Energie
TU Graz.- Technische Universität Graz (Graz University of Technology)
US EPA.- Environmental Protection Agency
VKU- Verband kommunaler Unternehmen
ZBT.- Zentrum für BrennstoffzellenTechnik (Centre for Fuel Cell Technology)
ZSW.- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung

ANEXO II: RELACIÓN DE PUBLICACIONES ENCONTRADAS

Título	Autores	Centros	Año
Building as a power plant: Modeling and selection of a combined heat and power system for an advanced commercial building	Egan B, Dechant S, Damm C	- Milwaukee School of Engineering (EE.UU.)	2007
Influence of hydrogen sulfide in fuel on electric power of solid oxide fuel cell	Nagamori M, Hirata B, Sameshima S	- Univ. Kagoshima (Japón)	2007
High temperature stability of n-decanethiol by adsorption on nickel powders used as reforming catalysts in solid oxide fuel cells (SOFC)	Oudghiri-Hassani H, Abatzoglou N, Rakass S, Rowntree P	- Univ. Sherbrooke (Canadá)	2007
Biogas for fuel cells - First experience with a pilot project in the fermentation plant Leonberg	Kaufmann L, Kessler A, Bagin W	- RWE Fuel Cells GmbH (Alemania) - EnBW AG (Alemania) - Biogasbrennstoffzellen GmbH (Alemania)	2007
Farm-based biogas production, processing, and use in polymer electrolyte membrane (PEM) fuel cells	Schmersahl R, Mumme J, Scholz V	- Inst. Agricultural Engineering Potsdam-Bornim, e.V. (Alemania)	2007
Prospects of high-efficient utilization of biogas through solid oxide fuel cells	Zhu QS	- Chinese Academy of Sciences (China)	2007
Recent development of anaerobic digestion processes for energy recovery from wastes	Nishio N, Nakashimada Y	- Hiroshima University (Japón)	2007
Renewable hydrogen from fuel cells at wastewater treatment plants	Rickerson W, Cohan S	- KEMA Inc, (EE.UU.)	2007
Fuel cells, [a survey of the developments in the field in Germany in 2006]	Wendt H , Barth, T , Heidelberg F , Goetz M , Heinzel A, Henschel C , Hoffman J , Huppmann G, Mueller J	- VDI-GET-Fachausschusses Brennstoffzellen (Alemania) - EWE AG (Alemania) - Proton Motor Fuel Cell GmbH (Alemania) - Universitaet Duisburg (Alemania) - BASF Fuel Cell GmbH (Alemania) - Siemens Power Generation (Alemania) - CFC Solutions GmbH (Alemania) - Smart Fuel Cells AG (Alemania)	2007
Hydrogen and electrical energy from organic waste treatment	Duerr M, Gair S, Cruden A, McDonald J	- Inst. Energy & Environm., Univ. Strathclyde (Reino Unido)	2007
Utilization of biogas generated from Ontario wastewater treatment plants in solid oxide fuel cell systems: A process modeling study	Wheeldon I, Caners C, Karan K, Peppley B	- Queens Univ. (Canadá) - Queens RMC Fuel Cell Res. Ctr.	2007

		(Canadá) - Columbia Univ. (EE.UU.) - Royal Mil. Coll. Canada (Canadá)	
Experimental studies on the influence of H2S on solid oxide fuel cell performance at 800 degrees C	Norheim A, Waernhus I, Brostrom M, Hustad JE, Vik A	- Norwegian Univ. Sci. & Technol. (Noruega) - Umea Univ. (Suecia) - Prototech AS (Noruega)	2007
Development of biogas reforming Ni-La-Al catalysts for fuel cells	Benito M, García-Rodríguez S, Ferreira-Aparicio P, García-Serrano L, Daza L	- Inst. Catálisis y Petroleoquímica, ICP, CSIC (España)	2007
Compact, low energy CO_2 management using amine solution in a packed bubble column	Krumdieck S, Wallace J, Curnow O	- Univ. Canterbury (Nueva Zelanda)	2007
Fuel cells in industrial use. EnBW experiences based on three years pilot operation at Michelin	Kessler A, Berger P	- EnBW AG (Alemania) - MTU CFC Solutions , GmbH (Alemania)	2006
Bonus report: Process and laboratory analyzers: Hydrogen desulfurization extends fuel cell life	Mathiak IJ, Benz, IW, Van Der Saar IK, Van Doeselaar IM	- ZBT, GmbH (Alemania) - Univ. Duisburg-Essen (Alemania) - Thermo Electron Corp. (Holanda)	2006
Biomass digestion in agriculture: A successful pathway for the energy production and waste treatment in Germany	Weiland P	- Federal Agricultural Research Centre, FAL (Alemania)	2006
Greenhouse effect reduction and energy recovery from waste landfill	Lombardi L, Carnevale E, Corti A	- Univ. Florencia (Italia) - Univ. Siena (Italia)	2006
The MTU carbonate fuel cell HotModule: Utilization of biomass and waste originated fuels for polygeneration in fuel cells	Huppmann G	- MTU CFC Solutions GmbH (Alemania)	2006
Economic Utilisation of Biogas as Renewable Fuel for Fuel Cell	Gadde B	- King Mongkut´s Univ. of Technology Thonbury (Tailandia)	2006
Catalytic and electrocatalytic behavior of Ni-based cermet anodes under internal dry reforming of CH_4 + CO_2 mixtures in SOFCs	Goula G, Kiousis V, Nalbandian L, Yentekakis IV	- Univ. Técnica de Creta (Grecia) - CPERI-CERTH (Grecia)	2006
Carbonate fuel cells: Milliwatts to megawatts	Farrooque M, Maru HC	- FuelCell Energy Inc (EE.UU.)	2006
Open- and closed-circuit study of an intermediate temperature SOFC directly fueled with simulated biogas mixtures	Yentekakis IV	- Univ. Técnica de Creta (Grecia)	2006
A methodology for assessing fuel cell performance under a wide range of operational conditions. Results for single cells	Baratella A, Bove R, Lunghi P	- Univ. Perugia (Italia)	2006

Farm-based biogas production, processing and use in PEM fuel cells	Schmersahl R, Scholz V, Mumme J	- Inst. of Agricultural Engineering Bornim e.V., ATB (Alemania)	2006
First European fuel cell instalation with anaerobic digester gas in a molten carbonate fuel cell	Krumbeck M, Klinge T, Doding B	- RWE Fuel Cells (Alemania)	2006
Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies	Bove R, Lunghi P	- Univ. Perugia (Italia)	2006
Biogas as a reproducible energy source: Its steam reforming for electricity generation and for farm machine fuel	Komiyama M, Misonou T, Takeuchi S, Umetsu K, Takahashi J	- Univ. Yamanashi (Japón) - Univ. Obihiro (Japón)	2006
Autothermal sorption-enhanced steam reforming of bio-oil/biogas mixture and energy generation by fuel cells: Concept analysis and process simulation	Iordanidis AA. Kechagiopoulos PN, Voutetakis SS, Lemonidou AA, Vasalos IA	- CPERI-CERTH (Grecia) - Univ. Aristóteles de Tesalónica (Grecia)	2006
$Ni_{1-x-y}Mg_xAl_yO$-ScSZ anodes for solid oxide fuel cells	Shiratori Y, Teraoka Y, Sasaki K	- Univ. Kyushu (Japón)	2006
Biomass for fuel cells: A technical and economic assessment	Peppley BA	- Queens RMC Fuel Cell Research Centre, FCRC (Canadá)	2006
Modeling complex dispersed energy and clean water systems for the US/Mexico border	López HH, Chianelli RR	- Univ. Texas (EE.UU.)	2006
Experience report on five years of operation of a sewage-plant-gas-operated 200 kW fuel cell	Stahl K	- Technische Beratung Energie Gmbh- T.B.E. (Alemania)	2006
Fuel cells for power generation and waste treatment	Gair S, Cruden A, McDonald J, Hegarty T, Chesshire M	- Univ. Strathclyde (Reino Unido) - Mull and Iona Community Trust (Reino Unido) - Greenfinch Ltd (Reino Unido)	2006
Assessing the effect of chlorine on the performance of solid oxide fuel cells: Experimental results	Bove R, Lunghi P, Dozzini M	- Univ. Perugia (Italia)	2005
Poisoning effect of sulfur on SOFC: A comparison between literature data and experimental results	Lunghi P, Bove R, Dozzini M	- Univ. Perugia (Italia)	2005
The role of the carbonate fuel cell hotmodule in the system of stationary energy supply and waste material treatment and utilization	Huppmann G	- MTU CFC Solutions GmbH (Alemania)	2005
Non-isothermal modelling of a solid oxide fuel cell with internal reforming	Stroobsndt A, Steeman H-J, Musa A, De Paepe M	- Univ. Ghent (Holanda)	2005
Micro-tubular Solid Oxide Fuel Cells running off landfill gas	Pusz J, Sammes NM, Bove R	- Univ. Connecticut (EE.UU.)	2005

Fuel cells reach MW class	Skok A, Eschbach SP	- FuelCell Energy Inc. (EE.UU.)	2005
Experimental analysis of an autothermal gasoline reformer for automotive purposes	Caners CG, Peppley BA, Harrison SJ, Oosthuizen PH, McIntyre CS	- Queens RMC Fuel Cell Res. Ctr. (Canadá)	2005
Landfill gas to energy: A demonstration controlled environment agriculture system	Janes H, Cavazzoni J, Alagappan G, Specca D, Willis J	- Rutgers State Univ. (EE.UU.)	2005
Catalytic CO_2 reforming of methane over $Ir/Ce_{0.9}Gd_{0.1}O_{2-x}$	Wisniewski M, Boreave A, Gelin P	- Univ. Lyon, CNRS (Francia)	2005
Testing a PEM Fuel Cell System with Biogas Fuel	Schemrsahl R, Scholz V	- Inst. of Agricultural Engineering Bornim e.V., ATB (Alemania)	2005
Operation of molten carbonate fuel cells with different biogas sources: A challenging approach for field trials	Trogisch S, Hoffmann J, Bertrand LD	- Profactor Produktiopnsforschung Gmbh (Austria) - CIEMAT(España)	2005
Mitigation of methane emission and energy recycling in animal agricultural systems	Takahashi J, Mwenya B, Santoso B, Sar C, Umetsu K, Kishimoto T, Nishizaki K, Kimura K, Hamamoto O	- Univ. Obihiro (Japón)	2005
Experimental comparison of MCFC performance using three different biogas types and methane	Bove R, Lunghi P	- Univ. Perugia (Italia)	2005
Fuel flexibility study of an integrated 25 kW SOFC reformer system	Yi Y, Rao AD, Brouwer J, Samuelsen S	- Natl Fuel Cell Research Center, NFCRC, Univ. Calif. (EE.UU.)	2005
Feasibility of biomass-based fuel cells for manned space exploration	Pipoli T	- ESA-ESTEC Advanced Concepts Team (Holanda)	2005
Optimising H_2 production from model biogas via combined steam reforming and CO shift reactions	Effendi A, Hellgardt K, Zhang Z-G, Yoshida T	- Inst. Natl. of Advanced Industrial Science and Technology, AIST (Japón) - Univ. Loughborough (Reino Unido)	2005
Hydrogen sulphide poisoning on PT in PEMFC	Escudero MJ, Jiménez S, Daza L	- CIEMAT (España) - Inst. Catálisis y petroleoquímica , ICP, CSIC (España)	2005
Fuel cells fed with biofuel: Technical and economic analysis	Buccarella M, Lunhgi P, Bove R, Moreno A	- Univ. Perugia (Italia) - ENEA, National Agency for New Technology, Energy and Environment (Italia)	2005
Hydrogen sulfide and siloxane removal from biogas for its usage in fuel	Ahrer W, Accettola F, Trogisch S	- Profactor Produktionsforsch. Gmbh	2005

cells		(Austria)	
Energy recovery from wastewater treatment biogas: Molten carbonate fuel cell operating with anaerobic digester biogas and integration of an anaerobic digester with high temperature fuel cells	Cerluini E	- Univ. Perugia (Italia)	2005
Emissions from biogas fueled engine generator compared to a fuel cell	Goodrich PR, Huelskamp RJ, Nelson DR, Schmidt D, Morey RV, Haubenschild D, Drewitz M, Burns P	- Univ. Minnesota (EE.UU.) - Haubenschild Dairy (EE.UU.) - Minnesota Department of Agriculture (EE.UU.)	2005
The potential for running landfill gas as a fuel in NiO-8YSZ and NO-3YSZ based anode supported micro-tubular solid oxide fuel cells	Pusz J, Mohammadi A, Sammes NM, Bove R	- Univ. Connecticut (EE.UU.) - Univ. Perugia (Italia)	2005
Molten carbonate fuel cell as resource to stimulate the energetic exploitation of the biogas: Analysis multicriteria applied to a real case	Cigolotti V, Reale F, Moreno A	- Univ. Napoles Federico II (Italia) - ENEA, National Agency for New Technology, Energy and Environment (Italia)	2005
Molten carbonate fuel cell as resource to promote the energetic exploitation of biogas	Pavoni F, Moreno A	- Univ. La Sapienza of Rome (Italia) - ENEA (Italia)	2005
Analysis and comparison between conventional technologies and fuel cells working with landfill-gas	Caruso D	- Univ. Nápoles Federico II (Italia)	2005
Landfill gas energy recovery based on micro-tubular solid oxide fuel cells	Pusz J, Bove R, Sammes NM	- Univ. Connecticut (EE.UU.)	2005
Use of biogas in proton exchange membrane (PEM) fuel cells	Schmersahl R, Scholz V	- Inst. of Agricultural Engineering Bornim e.V., ATB (Alemania)	2005
Combinig fuel cells and digesters: Minnesota dairy runs hydrogen fuel cell on biogas	Drewitz, M, Goodrich, P	- Minnesota Department of Agriculture (EE.UU.) - Univ. Minnesota (EE.UU.)	2005
Combination of biological processes and fuel cells to harvest solar energy	Ihrig DF, Heise HM, Koetter T, Gemuend M, Wilczek D, Brunert U, Poschmann M, Kuckuk R, Stadtlander K	- Univ. Applied Sciences South Westfalia (Alemania) - Inst. for Analytical Sciences (Alemania)	2005
Multifuel clean-up considerations for high temperature fuel cells	Katikaneni SP, Farooque M	- FuelCell Energy Inc. (EE.UU.)	2004
Greenhouse gas emissions and costs of transportation systems with future biofuels in Austria	Jungmeier G, Hausberger S, Koenighofer K, Wenzel A	- Joanneum Research, Graz Institut fuer Energieforschung (Austria) - TU Graz, Graz University of	2004

		Technology (Austria)	
Combined power and heat plants (BHKW) and fuel cells. Motorized combined power and heat plants and stationary fuel cells	Seidel M	- Verband kommunaler Unternehmen e.V., VKU (Alemania)	2004
Multifuel clean-up considerations for high temperature fuel cells	Katikaneni SP, Farooque M.	- FuelCell Energy Inc. (EE.UU.)	2004
Reducing greenhouse effect from waste management system	Corti A, Lombardi L	- Univ. Florencia (Italia)	2004
Biomass reforming process for integrated solid oxide-fuel cell power generation	Vasileiadis S, Ziaka-Vasileiadou Z	- ZIVATECH Corp. (EE.UU.)	2004
Biogas as fuel for a fuel cell system: Investigations and first experimental results for a molten carbonate fuel cell	Bove R, Lunghi P, Lutazi A, Sammes NM	- Univ. Perugia (Italia) - Univ. Connecticut (EE.UU.)	2004
Process development of hydrogenous gas production for PEFC from biogas	Zhang ZG, Xu GW, Chen X, Honda K, Yoshida T	- Inst. Natl. of Advanced Industrial Science and Technology, AIST (Japón)	2004
Producing H-2-rich gas from simulated biogas and applying the gas to a 50W PEFC stack	Xu GW, Chen X, Honda K, Zhang G	- Inst. Natl. of Advanced Industrial Science and Technology, AIST (Japón)	2004
Phosphoric acid fuel cells: Fundamentals and applications	Sammes N. Bove R, Stahl K	- Univ. Connecticut (EE.UU.) - RWE Fuel Cells Gmbh (Alemania)	2004
Life-cycle-assessment of fuel-cells-based landfill-gas energy conversion technologies	Lunghi P, Bove R, Desideri U	- Univ. Perugia (Italia)	2004
Multi-fuel capability of solid oxide fuel cells	Sasaki K, Watanabe K, Shiosaki K, Susuki K, Teraoka Y	- Univ. Kyushu (Japón)	2004
Process flow model of solid oxide fuel cell system supplied with sewage biogas	Van herle J, Marechal F, Leuenberger S, Membrez Y, Bucheli O, Favrat D	- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL (Suiza) - EREP SA (Suiza) - HTceramix SA (Suiza)	2004
Description and modelling of the solar-hydrogen-biogas-fuel cell system in GlashusEtt	Hedstrom L, Wallmark C, Alvfors P, Rissamen M, Stridh B, Ekman J	- Inst. Royal of Technology (Suecia) - ABB AB (Suecia) - Fortum (Suecia)	2004
Novel zero-CO2 emission technology of catalytic production of hydrogen and aromatics from methane and biogas for fuel cell society	Ichikawa M	- Univ. Hokkaido (Japón)	2004
Fuel processing for fuel cell applications	Samanta I, Shah RK, Wagner A	- Inst. Rochester of Technology	2004

		(EE.UU.) - HC to H2 Consulting (EE.UU.)	
A comparison between life cycle assessment of an MCFC system, an LFG-MCF system, and traditional energy conversion systems	Desideri U, Lunghi P, Zepparelli F	- Univ. Perugia (Italia)	2004
Energy recovery from wastewater treatment biogas: Integration of an anaerobic digester with a high temperature fuel cell	Lunghi P, Bove R, Cerluini E, Moreno A	- Univ. Perugia (Italia) - Univ. La Sapienza of Rome (Italia) - ENEA (Italia)	2004
Biogas as a fuel source for SOFC co-generators	Van Herle J, Membrez Y, Bucheli O	- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL (Suiza) - EREP SA (Suiza) - HTceramix SA (Suiza)	2004
Power generation characteristics of SOFCs for simulated biogas	Uchimura M, Sasaki K, Kusaba H, Teraoka Y	- Univ. Kyushu (Japón)	2004
Fuels for fuel cells: Requirements and fuel processing	Van herle J, Schuler A, Dammann L, Bosco M, Truong TB, De Boni E, Hajbolouri F, Vogel F, Scherer,GG	- EPFL (Suiza) - Sulzer Hexis, Ltd (Suiza) - ZHW (Suiza) - Inst. Paul Scherrer (Suiza)	2004
Bio-gas reforming process for solid oxide-fuel cell power generation	Vasileiadis S, Ziaka Z	- Inst. Zivatech (EE.UU.)	2004
Solid oxide fuel cell architecture and system design for secure power on an unstable grid	Krumdieck S, Page S, Round S	- Univ. Canterbury (Nueva Zelanda)	2004
Perspectives on the use of molten carbonate fuel cells with renewable energy sources	Desideri U	- Univ. Perugia (Italia)	2003
Biomass-landfill gas reforming process for solid oxide-fuel cell power generation	Ziaka-Vasileiadou Z, Vasileiadis S	- ZiVaTech Institute (EE.UU.)	2003
Modelling of the production of gaseous by-products in anaerobic digestion	Strik DP, Domnanovich AM, Pfeiffer B, Karlovitz M, Zani L , Braun R, Holubar P	- Inst. of Applied Microbiology, BOKU-University of Natural Resources and Applied Life Sciences (Austria)	2003
Coming Clean with Fuel Cells	Kishinevsky Y, Zelingher S	- New York Power Authority, NYPA (EE.UU.)	2003
BHKW and Fuel Cells. Blockheizkraftwerke and stationary fuel cells	Seidel M, Gailfuß M	- Verband kommunaler Unternehmen e. V., VKU (Alemania) - BHKW-Infozentrum Rastatt (Alemania)	2003

A novel, highly efficient and environmentally friendly process for combined heat and power production from biomass	Liguras DK, Verykios XE	- Univ. Patras (Grecia)	2003
Overview of direct carbonate fuel cell technology and product - Development	Ghezel-Ayagh H, Leo AJ, Maru H, Farooque M	- FuelCell Energy Inc (EE.UU.)	2003
Clean destruction of waste ammonia with consummate production of electrical power within a solid oxide fuel cell system	Staniforth J, Ormerod RM	- Univ. Keele (Reino Unido)	2003
Energy balance model of a SOFC cogenerator operated with biogas	Van herle J, Marechal F, Leuenberger S, Favrat D	- Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, EPFL (Suiza)	2003
Running solid oxide fuel cells on biogas	Staniforth J, Ormerod RM	- Univ. Keele (Reino Unido)	2003
Biomass-landfill gas reforming process for solid oxide-fuel cell power generation	Vasileiadis S, Ziaka Z	- Inst. Zivatech (EE.UU.)	2003
Perspectives on the use of molten carbonate fuel cells with renewable energy sources	Desideri U	- Univ. Perugia (Italia)	2003
State of the art about the effects of impurities on MCFCS and pointing out of additional research for alternative fuel utilization	Desideri U, Lunghi P, Burzacca R	- Univ. Perugia (Italia)	2003
Anforderungen beim Einsatz von Biogas in Brennstoffzellen	Ott M, Tamm D	- Inst. of Agricultural Engineering Bornim e.V., ATB (Alemania)	2003
Equilibria in fuel cell gases – I. Equilibrium compositions and reforming conditions	Sasaki K, Teraoka Y	- Univ. Kyushu (Japón)	2003
Technical assessment of fuel cell operation on landfill gas at the Groton, CT, landfill	Spiegel RJ, Preston JL	- US EPA (EE.UU.) - Hydrogen Source Corp (EE.UU.)	2003
Technical assessment of fuel cell operation on anaerobic digester gas at the Yonkers, NY, wastewater treatment plant	Spiegel RJ, Preston JL	- US EPA (EE.UU.) - Hydrogen Source Corp (EE.UU.)	2003
Production and energetic use of biogas from energy crops and wastes in Germany	Weiland, P	- Federal Agricultural Research Centre (Alemania)	2003
The biogas plant using animal effluent as fuel	Nagamori Y, Iyasu K, Sano S	- Toshiba Co. Ltd., Power & Ind. Syst. Res. & Dev. Ctr. (Japón)	2002
Hydrogen production from biogas through steam reforming followed by water gas shift reaction and purification with Selective Oxidation reaction	Zhang ZG, Effendi A, Chen X, Honda K, Yoshida, T	- Natl. Inst. Adv. Ind. Sci. & Technol., Hokkaido Collaborat. Ctr. (Japón)	2002
The direct carbonate fuel cell technology: advances in multi-fuel processing and internal reforming	Katikaneni S, Yuh C, Abens S, Farooque M	- FuelCell Energy Inc. (EE.UU.)	2002

New developments for the production and energetic use of biogas from renewable resources	Weiland P, Ahrens T	- Federal Agricultural Research Centre (Alemania)	2002
Reactions of hydrocarbons in small tubular SOFCs	Saunders GJ, Kendall K	- Univ. Birmingham (Reino Unido)	2002
Implications for using biogas as a fuel source for solid oxide fuel cells: internal dry reforming in a small tubular solid oxide fuel cell	Staniforth J, Ormerod RM	- Univ. Keele (Reino Unido)	2002
Effects of dilution on methane entering an SOFC anode	Kendall K, Finnerty CM, Saunders G, Chung JT	- Univ. Birmingham (Reino Unido)	2002
Operating experience with a 250 kW(el) molten carbonate fuel cell (MCFC) power plant	Bischoff M, Huppmann G	- MTU Friedrichshafen GmbH (Alemania)	2002
Life cycle analysis of hydrogen fuel: a methodology for a strategic approach of decision making	Dante RC, Guereca LP, Neri L, Escamilla JL, Aquino L, Celis J	- Inst. Tecnol. & Estudios Super. Monterrey (México)	2002
Materials for methane-fueled SOFC systems	van Herle J, Diethelm S, Sfeir J, Ihringer R	- Federal Institute of Technology (Suiza)	2002
Development of Fuel Cell Power Plant	Shiraiwa Y	- Toshiba Intl. Fuel Cells Co. Ltd. (Japón)	2001
The fuel cell block heating power plant for the liberalized energy market	Gummert G, Winkelmann T	- HGC Hamburg Gas Consult. GmbH (Alemania)	2001
The use of digester gas in a fuel cell: Initial operating results and experience	Langnickel U, Stahl K	- GEW Köln AG (Alemania)	2001
Concepts in innovative biogas utilization - Use of sewage treatment gas in fuel cells	Langnickel U	- German Aerosp. Res. Ctr., DLR (Alemania)	2001
Fuel cell using biogas for distributed heat and power generation	Langnickel U	- VGB PowerTech e.V. (Alemania)	2001
Running fuel cells on biogas – a renewable fuel	Staniforth J, Ormerod RM	- Univ. Keele (Reino Unido)	2001
Fuel cell cogeneration system using biogas from Brewery effluent	Sato H	- Sapporo Breweries Ltd. (Japón)	2001
First European fuel cell application using digester gas	Langnickel U	- Gew Köln AG (Alemania)	2000
Test results for fuel cell operation on anaerobic digester gas	Spiegel RJ, Preston JL	- US EPA (EE.UU.) - ONSI (EE.UU.)	2000
Cannock landfill gas powering a small tubular solide oxide fuel cell – a case study	Staniforth J, Kendall K	- Univ. Keele (Reino Unido)	2000

Thermodynamic analysis of a molten carbonate fuel cell system using waste derived fuel gas	Desideri U, Lunghi P, Ubertini S	- Univ. Perugia (Italia)	2000
Fuel cell operation on anaerobic digester gas: Conceptual design and assessment	Spiegel RJ, Thorneloe SA, Trocciola JC, Preston JL	- Natl. Risk Mgmt. Research Laboratory, US EPA (EE.UU.) - ONSI Corporation (EE.UU.)	1999
Greenhouse Gas (GHG) mitigation and monitoring technology performance: Activities of the GHG Technology Verification Center	Masemore S, Kirchgessner DA	- Southern Research Inst. (EE.UU.)	1999
Ceria catalyst for the internal reforming of biogas in a small tubular solid oxide fuel cell system	Staniforth, J, Kendall K	- Univ. Keele (Reino Unido)	1999
Fuel cell operation on landfill gas at Penrose Power Station	Spiegel RJ, Preston JL, Trocciola JC	- US EPA (EE.UU.) - Int Fuel Cells Corp (EE.UU.)	1999
Fuel cell operation on anaerobic digester gas: conceptual design and assessment	Spiegel RJ, Thorneloe SA, Trocciola JC, Preston JL	- US EPA (EE.UU.) - ONSI (EE.UU.)	1999
Molten carbonate fuel cells: operating on digester gas	Scroppo JA, Laurens RM, Bush G, Reynolds D	- M-C Power Corporation (EE.UU.) - King County (EE.UU.) - CH2M Hill (EE.UU.)	1999
Life cycle assessment of biomass fuels for fuel cell and engine combined heat and power (CHP) production	Kopetz H, Weber T, Palz W, Chartier P, Ferrero GL	- German Aerosp. Res. Ctr., DLR (Alemania)	1998
Biogas powering a small tubular solid oxide fuel cell	Staniforth J, Kendall K	- Univ. Keele (Reino Unido)	1998
A catalytic/sorption hybrid process for landfill gas cleanup	He CT, Herman DJ, Minet RG, Tsotsis TT	- Univ. So California (EE.UU.)	1997
Test results for fuel-cell operation on landfill gas	Spiegel RJ, Trocciola JC, Preston JL	- US EPA (EE.UU.) - Int Fuel Cells Corp (EE.UU.)	1997
Biomass and natural gas as co-feedstocks for production of fuel for fuel-cells vehicles	Borgwardt RH	- US EPA (EE.UU.)	1997
Status of fuel cell development in the United States	Williams MC	- Morgantown Energy Technology Cent. US EPA (EE.UU.)	1995
Fuel processing of biogas for small fuel-cell power-plants	Naumann ST, Myren C	- Royal Inst. Technol. (Suecia)	1995
Landfill gas pretreatment for fuel-cell applications	Sandelli GJ, Trocciola JC, Spiegel RJ	- US EPA (EE.UU.) - Int. Fuel Cells Corp. (EE.UU.)	1994

Mitigation of carbon-dioxide releases from power production via sustainable agri-power - the synergistic combination of controlled environmental agriculture (large commercial greenhouses) and disbursed fuel-cell power-plants	Mulloney JA	- Sus. Tech. Corp. (EE.UU.)	1993
Thermodynamic analysis of hydrogen-production from biogas for phosphoric-acid fuel-cell	Chawla SK, Ghosh KK	- Inst. Tata of Energy Research (India)	1992
Fuel-cell energy recovery from landfill gas	Sandelli GJ, Spiegel RJ	- US EPA (EE.UU.) - Int Fuel Cells Corp (EE.UU.)	1992
Hydrogen and fuel cells - the clean energy system	Rohland B, Nitsch J, Wendt H	- Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung, ZSW (Alemania) - DLR Stuttgart Technische Hochschule Darmstadt (Alemania)	1992
Utilization of landfill gas for small scale power production	Kidwai MAS	- Hayden-Wegman Consulting Engineers (EE.UU.)	1991
Electrical characterizarion of a 2.5 kW phosphoric acid fuel cell stack operating on simulated reformed biogas	Ascoli A, Pandya JD, Redaelli G	- CISE-Technologie Innovative, S.p.a. (Italia) - Inst. Tata of Energy Research (India)	1989
A phosphoric acid fuel cell coupled with biogas	Pandya JD, Ghosh KK, Rastogi SK	- Inst. Tata of Energy Research (India)	1988
Nation´s first fuel cell power plant powered by processed landfill gas	Leeper JD, Engels WW	- Southern California Edison Company (EE.UU.)	1986
Fuel cell cogeneration using anaerobic digester gas	Hirschenhofer J H , Cutting JC, Zemkoski J, Piascik T M	- U.S. Department of Energy, Federal Energy Technology Center (EE.UU.)	1983