

**Purificación y usos del biogás**

***Purification and use of biogas***



# Purificación y usos del biogás

## *Purification and use of biogas*

David Gabriel y Hugo Sierra

Editores

Luis Arellano, Antonio David Dorado,  
Marc Fortuny, David Gabriel, Xavier Gamisans,  
Armando González-Sánchez, Sergio Hernández,  
Javier Lafuente, Oscar Monroy, Mabel Mora,  
Sergio Revah y Hugo Sierra

Autores

**UAB**

Universitat Autònoma de Barcelona

Primera edició: abril de 2017

Edició i impressió:

Universitat Autònoma de Barcelona

Servei de Publicacions

Edifici A. 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès). Spain

Tel. 93 581 10 22. Fax 93 581 32 39

sp@uab.cat

<http://publicacions.uab.cat/>

Imatge de la coberta:

Inauguració-Reivindicació Planta Biogàs Torregrossa, Lleida (abril de 2014)

© Som Energia Cooperativa



Imprès a Espanya. Printed in Spain

Dipòsit legal: B-2677-2017

ISBN 978-84-490-6961-1

# Contenido

Prólogo . . . . .	9
Los autores . . . . .	11
Resumen . . . . .	13
Abstract . . . . .	14
Nomenclatura . . . . .	15
1. Introducción . . . . .	19
1.1 ¿Qué es el biogás? . . . . .	19
1.2 Panorama y demanda potencial de biogás . . . . .	20
2. Composición y principales características del biogás. . . . .	25
2.1 Principales compuestos indeseables del biogás y sus efectos sobre la salud, el medioambiente y los materiales . . . . .	31
2.2 Procedimientos de análisis de la composición del biogás . . . . .	33
3. Tecnologías de purificación del biogás . . . . .	39
3.1 Eliminación de agua (secado del biogás). . . . .	44
3.1.1 Métodos físicos de secado (condensación) . . . . .	45
3.1.2 Métodos de secado químico (adsorción o absorción) . . . . .	46
3.2 Eliminación del H <sub>2</sub> S mediante procesos físico-químicos y biológicos. . . . .	48
3.2.1 Minimización in situ de la producción de H <sub>2</sub> S . . . . .	50
3.2.2 Tratamientos físico-químicos . . . . .	51
3.2.3 Eliminación del H <sub>2</sub> S después de la digestión . . . . .	55
3.2.4 Eliminación del H <sub>2</sub> S mediante procesos biológicos . . . . .	58
3.3 Eliminación del CO <sub>2</sub> . . . . .	69
3.3.1 Absorción con agua. . . . .	71
3.3.2 Absorción física (disolventes orgánicos) . . . . .	71
3.3.3 Absorción química (disolventes orgánicos) . . . . .	71
3.3.4 Adsorción por oscilación de presión . . . . .	72
3.3.5 Separación con membrana . . . . .	74
3.3.6 Separación criogénica . . . . .	76
3.3.7 Absorción alcalina con regeneración . . . . .	77
3.3.8 Adición de propano . . . . .	79
3.3.9 Ventajas y desventajas del uso de la tecnología de membranas. . . . .	79
3.4 Eliminación de otras impurezas (compuestos minoritarios) . . . . .	81
3.4.1 Eliminación de siloxanos . . . . .	81
3.4.2 Eliminación de hidrocarburos halogenados (HC y HCH) . . . . .	85

3.4.3 Eliminación del oxígeno/aire . . . . .	85
3.4.4 Eliminación de $\text{NH}_3$ . . . . .	85
<b>4. Generación y usos del biogás en Iberoamérica . . . . .</b>	<b>87</b>
4.1 Unión Europea . . . . .	87
4.2 España . . . . .	91
4.3 Cataluña . . . . .	95
4.4 Casos prácticos . . . . .	103
4.4.1 Estaciones depuradoras de aguas residuales . . . . .	103
4.4.2 Vertederos . . . . .	104
4.4.3 Plantas de tratamiento de residuos urbanos . . . . .	105
4.4.4 Entorno agropecuario . . . . .	106
4.4.5 Entorno industrial . . . . .	107
4.5 Otros escenarios del uso del gas en países europeos y de ultramar . . . . .	108
4.6 Escenario del uso del biogás en China . . . . .	116
4.7 Escenario del uso del biogás en Latinoamérica . . . . .	116
4.7.1 Brasil . . . . .	116
4.7.2 Chile . . . . .	117
4.7.3 México . . . . .	118
4.7.4 Programas de pequeña escala . . . . .	120
<b>5. Almacenaje del biogás . . . . .</b>	<b>121</b>
5.1 Propósito del almacenamiento . . . . .	121
5.2 Tipos de almacenamiento . . . . .	121
5.2.1 Uso directo . . . . .	121
5.2.2 Almacenaje de baja presión . . . . .	122
5.2.3 Almacenaje de media presión . . . . .	123
5.2.4 Almacenaje de alta presión . . . . .	124
5.2.5 Almacenamiento por absorción . . . . .	124
5.2.6 Licuefacción . . . . .	125
<b>6. Discusión y conclusión . . . . .</b>	<b>127</b>
<b>7. Apéndice . . . . .</b>	<b>129</b>
7.1 Fundamentos de tratamientos biológicos . . . . .	129
7.1.1 Microbiología . . . . .	129
<b>8. Bibliografía . . . . .</b>	<b>135</b>

## Prólogo

Existen multitud de residuos orgánicos que pueden aprovecharse para producir biogás mediante el bien establecido proceso de digestión anaerobia. A parte de estabilizar parcialmente residuos, el principal valor añadido del proceso es la obtención de biogás, una fuente de energía renovable con multitud de posibles usos, como la producción de energía eléctrica, de energía calorífica o de biocombustible para vehículos, entre otros. Independientemente del uso final del biogás, son necesarias una o varias etapas para acondicionar el biogás producido con el objetivo de eliminar impurezas antes de su uso. Tecnológicamente, existen numerosas alternativas tanto físico-químicas como biológicas para purificar el biogás. El grado de acondicionamiento y las tecnologías utilizadas a tal efecto son altamente dependientes de factores tales como las características de partida y el destino final del biogás.

Este libro aborda la temática de la purificación realizando una detallada revisión de las principales tecnologías para la mejora de la calidad del biogás, desde las clásicas hasta las alternativas de última generación o en vías de desarrollo. Las tecnologías presentadas demuestran la elevada madurez de las diferentes opciones tecnológicas para alcanzar el grado de purificación deseado, lo que permite al lector valorar la tecnología o la combinación de varias tecnologías que permitan definir el acondicionamiento del biogás en función de las necesidades particulares de cada caso. El libro se complementa con un importante trabajo original de análisis de datos acerca de la situación particular en diferentes escenarios, como la Unión Europea, España y Cataluña, y muestra ejemplos de diferentes casos prácticos de purificación y uso del biogás, así como la evaluación de la situación en diferentes países latinoamericanos, como Brasil, Chile o México.

Este manual permitirá obtener una visión general sobre las alternativas tecnológicas de purificación y uso del biogás, así como una visión particular de diferentes casuísticas. Está dirigido tanto a estudiantes de grado, máster y doctorado, como a técnicos de la administración pública y profesionales del sector energético. Los autores esperamos que todos y cada uno de ellos disfruten de su lectura.





## Los autores

**Luis Arellano** es doctor ingeniero químico por la Universidad Autónoma Metropolitana (México) (2014). Actualmente es investigador postdoctoral en el Departamento de la Tierra e Ingeniería Ambiental de la Universidad de Columbia, EUA.

**Antonio David Dorado** es doctor ingeniero químico por la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) (2010). Actualmente es profesor agregado en el Departamento de Ingeniería Minera, Industrial y TIC de la UPC, Cataluña.

**Marc Fortuny** es doctor en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma de Barcelona (2009). Desde 2009 trabaja como ingeniero de proyectos de tratamiento de olores y biogás en las empresas Aeris Tecnologías Ambientales, SL y Bionik Filtersysteme GmbH.

**David Gabriel** es doctor ingeniero químico por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) (2000). Actualmente es profesor agregado en el Departamento de Ingeniería Química, Biológica y Ambiental de la UAB, Cataluña.

**Xavier Gamisans** es doctor ingeniero químico por la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) (2001). Actualmente es profesor titular en el Departamento de Ingeniería Minera, Industrial y TIC de la UPC, Cataluña.

**Armando González** es doctor ingeniero químico por la Universidad Autónoma Metropolitana (México) (2007). Actualmente es investigador asociado en el Instituto de Ingeniería (Ingeniería Ambiental) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

**Sergio Hernández** es máster en Ingeniería Química por la Universidad Autónoma Metropolitana – Iztapalapa (2002) y actualmente es técnico académico titular del Departamento de Procesos y Tecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, México.

**Javier Lafuente** es doctor ingeniero químico por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) (1988). Actualmente es catedrático del Departamento de Ingeniería Química, Biológica y Ambiental de la UAB, Cataluña.

**Oscar Monroy** es ingeniero químico y doctor en Biotecnología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es profesor distinguido en el Departamento de Biotecnología de la Universidad Autónoma Metropolitana, México.

**Mabel Mora** es doctora en Ciencia y Tecnología Ambientales (UAB) (2014). Actualmente es investigadora postdoctoral en el Departamento de Ingeniería Química, Biológica y Ambiental de la UAB, Cataluña.

**Sergio Revah** es doctor en Bioprocesos por la Universidad de Tecnología de Compiègne, Francia (1986). Actualmente es profesor titular en la Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, México.

**Hugo Sierra Goldberg** es ingeniero agrónomo por la Universidad Católica de Valparaíso, Chile (1978). Es doctor en Ciencias Silvoagropecuarias y Veterinarias (2010) y magíster en Ciencias Agropecuarias, Mención Producción Frutícola (1998), por la Universidad de Chile; y magíster en Gestión Tecnológica, con énfasis en Biotecnología, por la Universidad de Talca, Chile (2007). Actualmente es investigador asociado en el Centro de Agricultura y Medio Ambiente - AGRIMED de la Universidad de Chile, y profesor en La Facultad Tecnológica de la Universidad de Santiago de Chile.

## Resumen

El presente libro aborda la obtención y el aprovechamiento del biogás como fuente energética, que se produce por digestión anaeróbica de material orgánico proveniente de distintas fuentes (vertederos, plantas de tratamiento de residuos urbanos, residuos agroindustriales y cultivos energéticos, entre otras). La Unión Europea, China y, en menor extensión, Norteamérica son actualmente los principales productores de biogás. Recientemente, Italia, México, Nepal y Eslovenia han incrementado de forma significativa su participación en la producción global de biogás al pasar el umbral del 2 %. Se describen y discuten las técnicas disponibles para el tratamiento del biogás basadas en: contaminantes presentes, como el sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y otros, y su variación en concentración según la fuente de origen y los daños que estos provocan; las tecnologías disponibles de purificación y enriquecimiento a biometano; una discusión sobre el uso óptimo de las tecnologías de tratamiento según el tamaño de la planta productora de biogás, las formas de utilización, ya sea mediante uso directo o inyección en red, y el almacenamiento según el tipo de consumo energético.

**Palabras clave:** biogás; desulfuración; desulfuración biológica; enriquecimiento del biogás