



Iniciativas para el aprovechamiento energético del biogás generado en una EDAR

Francisco J. Navarro responsable de Depuración en Aguas de Murcia
Mar Castro técnica de I+D+i de Depuración en Aquatec
Teresa R. Serna técnica de I+D+i de Depuración en Aquambiente

Hay una tendencia creciente en considerar las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) como sistemas de recuperación de recursos, en lugar de únicamente instalaciones para la prevención de emisión de contaminantes al medio ambiente. Aguas de Murcia, como empresa mixta que gestiona el ciclo integral del agua en el municipio de Murcia, ha desarrollado desde 2004 en la EDAR Murcia Este diversas iniciativas dirigidas a poner en valor el biogás generado durante la digestión anaerobia (DA) de los lodos. En septiembre de 2012 se inauguró una planta de cogeneración con una potencia eléctrica instalada de 1 MW, cubriendo así el 100% de las necesidades de calor y generando una parte importante de la electricidad que se consume. En 2014, gracias al aprovechamiento energético del biogás, ha sido posible reducir las emisiones de la planta en 2.055 toneladas de CO₂ y se han dejado de emitir más de 37 toneladas de SO₂.

Palabras clave

EDAR, biogás, energía, proyectos I+D+i.

Energetic valorization of biogas generated in WWTP

There is a growing tendency towards considering wastewater treatment plants (WWTP) as resource recovery systems, instead of just facilities for preventing emission of pollutants to the environment. Aguas de Murcia is the company managing the integrated water cycle in the municipality of Murcia. Since 2004 the company has developed in the WWTP Murcia several projects aimed to valorize the biogas generated during the anaerobic digestion (AD) of sludge. In September 2012 a Combined Heat and Power (CHP) plant (1 MW) was started, covering 100% of the heat requirements and generating a significant part of the electricity consumed. In 2014, energetic use of biogas has allowed to reduce emissions in 2,055 tons of CO₂ and over 37 tons of SO₂.

Keywords

WWTP, biogas, energy, R&D projects.



1. Introducción

Entre los subproductos del proceso de depuración de los que es posible obtener un valor añadido, se encuentra el biogás generado durante la DA del fango. La DA es un proceso bioquímico a través del cual microorganismos anaerobios descomponen la materia orgánica compleja en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y un digestato que, si reúne las características adecuadas, puede ser utilizado como fertilizante en agricultura. El proceso controlado de DA es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos y la estabilización y reducción de lodos generados.

El biogás está compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). Su alto contenido en metano (entre un 50-70%) se traduce en un poder calorífico entre 6-7 kWh/Nm³, por lo que es susceptible de un aprovechamiento energético, como sustituto de los combustibles fósiles tradicionales, ya sea solo o mezclado con otro combustible.

En el contexto del desarrollo sostenible, la energía debe concebirse en términos de reducción del consumo, pero también hay que considerarla en términos de producción y uso de energía 'verde'. En un futuro no muy lejano las EDAR no se considerarán como el fin de un ciclo, sino como centros de recuperación de recursos (biorefinerías), recuperando biogás, y utilizando los nutrientes, contenido grasos, aceites y grasas en el agua residual como fuentes de energía (Olsson, 2012).

De las tecnologías para el uso de biogás en EDAR las más implantadas son la combustión en calderas, generando el calor necesario para mantener la temperatura de los digestores, plantas de cogeneración,

produciendo calor y electricidad, y, más recientemente, las microturbinas (de Arespachoga *et al.*, 2012).

El enriquecimiento del biogás para obtener una calidad similar a la del gas natural (biometano) y su utilización como combustible de automoción o la inyección a una red de gases, de las opciones existentes, la que más ha aumentado su potencial, con diversas experiencias exitosas a escala industrial en países como Alemania, Suecia, Suiza y Dinamarca (Pettersson *et al.*, 2009).

Debido a su alta eficiencia eléctrica y el reducido impacto ambiental, las pilas de combustible están llamadas a convertirse en una alternativa interesante para su implantación en EDAR (Spiegel *et al.*, 1999), aunque es necesario un mayor esfuerzo en su desarrollo para que sean una opción económicamente competitiva. También parece prometedora la posibilidad de utilizar biogás purificado como combustible adicional en centrales eléctricas termosolares.

Sea cual sea el uso final, la composición de biogás generado durante la DA de los lodos de depuradoras puede variar mucho y presentar trazas de impurezas, por lo que es necesario tratar el gas antes de su utilización para alcanzar unos estándares de calidad, que dependerán fundamentalmente de la tecnología utilizada para la valorización de dichas impurezas, pero también permitirán aumentar el poder calorífico del recurso, homogeneizar la composición del gas y preservar los equipos de los efectos nocivos de los contaminantes.

2. Objeto

Aguas de Murcia es la empresa mixta, participada en un 51% por el Ayuntamiento de Murcia y el 49% restante por Hidrogea (Grupo Agbar), que gestiona el ciclo integral

del agua en el municipio de Murcia.

De las plantas de tratamiento de aguas residuales gestionadas por Aguas de Murcia, la EDAR Murcia Este es la única que dispone de etapa de DA de lodos. En esta EDAR se tratan las aguas residuales urbanas de una población de 960.000 habitantes equivalentes, siendo el caudal de diseño de la planta de 100.000 m³/día. Dispone de tres digestores anaerobios con un volumen total de 18.317 m³ y una producción de biogás de 2,7 NHm³ biogás/año.

La empresa, consciente de que tanto el marco normativo como el contexto económico-político promueven la identificación de nuevas fuentes energéticas que reduzcan la dependencia y que sean medioambientalmente sostenibles, ha venido desarrollando en los últimos años diversos proyectos dirigidos a la valorización energética de residuos y al aprovechamiento de las energías renovables. El objeto de este documento es dar una visión general de las iniciativas de I+D desarrolladas por Aguas de Murcia desde 2004.

Figura 1. Vista parcial de la planta piloto de limpieza de biogás.



3. Descripción de las iniciativas

3.1. Proyecto ABICEC

De 2004 a 2006, Aguas de Murcia desarrolla el proyecto ABICEC con el objetivo de evaluar la viabilidad técnica de un proceso integrado para lograr un uso sostenible del biogás generado en EDAR mediante la eliminación selectiva de compuestos no deseados (Osorio *et al.*, 2009). Para ello se construyó una planta piloto (Figura 1) con capacidad para tratar hasta 10 Nm³ biogás/hora, incluyendo las siguientes etapas:

- Lavado ácido (T1): lavado en contracorriente del biogás con una disolución de ácido sulfúrico (H₂SO₄), para eliminar compuestos traza nitrogenados.

- Lavado oxidativo (T2): lavado en contracorriente del biogás con una solución de hipoclorito sódico (HNaClO) e hidróxido de sodio (NaOH), para eliminar hidrocarburos halogenados y aromáticos, en general, compuestos orgánicos volátiles (COV).

- Lavado básico (T3): lavado en contracorriente del biogás con una disolución de NaOH para eliminar los compuestos traza de azufre.

- Enfriamiento: se hace pasar la corriente de biogás por un intercambiador de calor en el que se reduce la T^º de la corriente hasta los 2°C, condensando la humedad junto con otros compuestos susceptibles de ser licuados al disminuir la temperatura, como los siloxanos y los hidrocarburos de cadena larga.

- Adsorción gas-sólido: se hace pasar el biogás a través de una columna de carbón activo impregnado en sosa bituminosa, quedando retenidos los restos de vapor de agua, trazas de H₂S y otros compuestos de azufre y nitrógeno de la corriente gaseosa.

Durante los ensayos realizados para optimizar el pretratamiento se valoraron distintas secuencias de módulos de lavado y distintos rangos de pH de operación, identificando las condiciones que ofrecen los mejores rendimientos de eliminación de contaminantes. Los puntos de muestreo considerados fueron la entrada a planta, la salida de cada una de las torres de lavado y la salida de la planta.

3.2. Proyecto AMEB

De 2007 a 2010, los esfuerzos se centraron en la evaluación de la viabilidad técnica de obtención de combustible para la automoción (BIOEDAR) a partir del biogás generado en la EDAR Murcia Este. El proyecto, denominado AMEB, permite la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera por el uso del CH₄ y del CO₂ (Osorio *et al.*, 2011; Persson *et al.*, 2006).

Así, a partir del biogás limpio, se obtienen una corriente rica en CH₄ y una corriente rica en CO₂, a través de dos procesos diferentes: la absorción química con aminas; y la absorción física mediante lavado con agua a alta presión (*water scrubbing*). La corriente rica en CH₄ se comprime y almacena en unas botellas especiales y finalmente se utiliza

como combustible para vehículos; la corriente rica en CO₂ se bombea a la cámara de ajuste de pH previa al reactor biológico de la EDAR.

Partiendo de la instalación construida para el desarrollo del proyecto ABICEC, se amplió la planta para realizar ensayos mediante las dos tecnologías de enriquecimiento de biogás, tal y como se puede observar en la Figura 2.

La utilización de disoluciones de aminas para la eliminación de H₂S y CO₂ de una corriente de gas natural es un proceso ampliamente empleado y presenta la ventaja de que, a altas temperaturas, es posible revertir el proceso. De acuerdo con los estudios de Astarita *et al.* (1983) alrededor del 10-20% de la inversión inicial asociada a una unidad de tratamiento de gases mediante aminas dependerá de los requerimientos energéticos asociados a la regeneración. Además, aproximadamente un 70% de los costes de operación, corresponden a esta fase del proceso.

La corriente de biogás se introduce en las columnas de absorción donde se pone en contacto en contracorriente con la disolución de amina. Si la calidad del biogás obtenido cumple con los requisitos para poder ser utilizado como combustible para automoción, se proce-



Figura 2. Vista de la planta piloto para el enriquecimiento del biogás.



Desde 2004, la empresa mixta Aguas de Murcia ha desarrollado diversos proyectos dirigidos a la valorización energética de residuos y al aprovechamiento de las energías renovables

derá a la compresión. Si no es así, se quemará en una antorcha. Uno de los requisitos fundamentales para que el aprovechamiento sea eficiente es que la humedad relativa de la corriente rica en CH_4 sea inferior al 10%. Por tanto, es necesario un sistema de secado que lo garantice. A la salida de la torre de absorción se ha instalado un intercambiador de calor ($1\text{-}2^\circ\text{C}$), condensando así la fracción de agua, y una columna de absorción con gel de sílice, que asegura el cumplimiento de los límites de humedad.

Además, para que el proceso sea sostenible, la disolución de amina saturada necesita ser regenerada. El proceso es reversible a altas T^a , por eso se hace pasar la amina saturada por un intercambiador de calor y por una torre de desorción. En la torre de desorción se obtienen una corriente gaseosa rica en CO_2 , que se envía mediante un compresor a la cámara de ajuste de pH previa al reactor biológico de la EDAR, y la amina regenerada, que se enfría y se devuelve al proceso.

Las aminas estudiadas fueron: monoetanolamina (MEA), dietanolamina (DEA) y metildietanolamina (MDEA), a concentraciones del 20 y el 40% en volumen y estableciendo en el proceso de desorción temperaturas superiores a 90°C .

El proceso de enriquecimiento del biogás a través de absorción con agua a alta presión se basa en el hecho de que el CO_2 tiene una mayor solubilidad en agua que el CH_4 . En la columna de absorción se pone en contacto en contracorriente, el bio-

gás limpio y el agua a alta presión, el CO_2 queda retenido en el agua y la corriente rica en CH_4 se envía a la etapa de secado.

El agua que sale de la columna de absorción se transfiere a un tanque *flash*, donde parte del CO_2 se disuelve, y de ahí a una torre de desorción donde se separan el resto del CO_2 y el agua regenerada. El CO_2 se envía a la cámara de ajuste de pH previa al reactor biológico de la EDAR y el agua regenerada se devuelve al proceso.

3.3. Proyecto Sostaqua

De 2007 a 2010 Aguas de Murcia participó en el proyecto Sostaqua: desarrollos tecnológicos hacia el ciclo del agua urbano autosostenible (www.sostaqua.com), financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), entidad pública empresarial dependiente del Ministerio de Economía y Competitividad. Uno de los objetivos de Aguas de Murcia dentro de este proyecto era la conversión del biogás en hidrógeno mediante un proceso de reformado, y su transformación en energía mediante sistemas de transformación eficiente. Algunas tareas del proyecto Sostaqua demandaban una alta especialización, por lo que Aguas de Murcia estableció un convenio de colaboración con el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP), centro de investigación que pertenece al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), para desarrollar un catalizador específico que permitiera el reformado seco del biogás.

3.4. Proyecto BIOCELL

Desde 2009 a 2012, Aguas de Murcia participó en el proyecto BIOCELL (www.life-biocell.eu). Este estudio ha sido posible gracias a la financiación del programa LIFE+ (BIOCELL Project LIFE07 ENV/E/000847), y su objetivo ha sido demostrar la viabilidad industrial de la producción de energía a partir de biogás de EDAR mediante pilas de combustible de óxido sólido (SOFC) y de intercambio polimérico (PEMFC) y el desarrollo de herramientas adecuadas para su aplicación industrial.

El carácter innovador del estudio desarrollado por Aguas de Murcia reside en que el hidrógeno (H_2) con el que se alimentan las pilas se obtiene mediante un proceso de reformado seco, ya que el método habitual es mediante reformado húmedo. El reformado seco permite aprovechar el CO_2 presente en el biogás como oxidante durante la reacción, evitando las emisiones de este gas a la atmósfera.

Para llevar a cabo los ensayos se construyó en la EDAR una instalación experimental compuesta de tres etapas: pretratamiento de biogás; procesador de combustible, formado por tres reactores independientes (REformado, Water Gas Shift (WGS) y OXidación PReferencial de monóxido de carbono (CO, COPROX) y dos PEMFC. A continuación se describe en mayor detalle el proceso.

De acuerdo con las características del biogás disponible, la bibliografía consultada, las recomendaciones de los fabricantes del catalizador desarrollado en el marco del proyecto Sostaqua y experiencias previas de valorización del biogás desarrolladas por Aguas de Murcia, se establecieron unos límites de calidad a la entrada del procesador de reformado relativos a contenido de $[\text{H}_2\text{S}] < 0,1$ ppm y siloxanos, $[\text{Si}] < 0,2$ mg/Nm³.

El pretratamiento del biogás consiste en: lavado químico básico, intercambiador de calor y adsorción en carbón activo.

La corriente limpia de CH₄ y CO₂ se introduce en un procesador de combustible, con una capacidad de tratamiento de 5 Nm³/h, en el que se obtiene el H₂ a partir del biogás (Martín *et al.*, 2012). El prototipo ha sido diseñado para obtener una alta eficiencia energética, recuperando el excedente de calor del sistema, e incluye las siguientes etapas o unidades: reformado catalítico, purificación de CO y pilas de combustible.

- Reformado catalítico. En esta etapa se produce, fundamentalmente, la transformación catalítica de la corriente de CH₄ y CO₂ en H₂ y CO mediante la **Reacción 1**. La peculiaridad en el diseño de esta unidad es que se trata de un reformado seco, es decir, sin utilizar agua y aprovechando el contenido en CO₂ de la propia corriente de biogás como oxidante. Es una reacción endotérmica y se ve favorecida a temperaturas por encima de 700 °C. El calor necesario se obtiene a través de un quemador, utilizando como combustible los gases de escape del ánodo de la pila de combustible (*offgas*) cuando el proceso está en marcha y parte de la corriente de biogás de alimentación en el proceso de arranque del sistema.

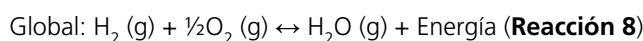
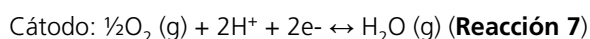
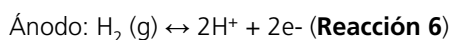
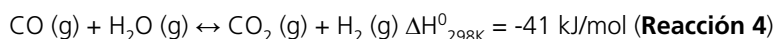
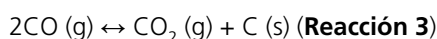
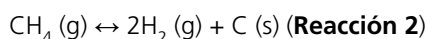
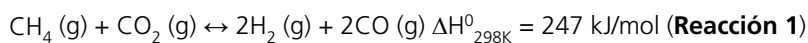
El catalizador de reformado, específico para este proceso, necesita unas condiciones de alimentación de CH₄:CO₂ en relación 1:1 para evitar la deposición de carbón a causa de reacciones secundarias como el *cracking* del CH₄ (**Reacción 2**) y de Boudard (**Reacción 3**). Los depósitos de carbón se acumulan en forma de fibras sobre la superficie del catalizador, conduciendo a su deterioro y produciendo obstrucciones en los tubos del reformador.

Otro de los inconvenientes a superar es que la composición del biogás bruto varía enormemente, presentando concentraciones de CH₄ muy irregulares. De forma general, la proporción CH₄:CO₂ en el biogás generado en depuradoras es de 3:2. Dado que el contenido en la corriente que alimenta el procesador de combustible debe de ser del 50%, se ha dispuesto una analizador de gases en línea, que determina la composición de la entrada y manda señal al sistema para que suministre el CO₂ adicional necesario desde un depósito de almacenamiento de CO₂ puro.

- Purificación de CO. Consiste en la aplicación de dos procesos, WGS y COPROX, cuyo objetivo es la eliminación, casi en su totalidad, del CO en la corriente que alimentará a la pila, debido a que este compuesto constituye un veneno para las pilas PEM. Los niveles de tolerancia al CO típicos para este tipo de dispositivos se sitúan por debajo de 50 ppm. El CO es absorbido en el ánodo de platino (Pt) de la pila PEM, inhibiendo la disociación del H₂ en protones y en electrones. Las reacciones principales que se dan en esta etapa son:

- WGS: consiste en la oxidación del CO, producido en la reacción anterior, a CO₂ mediante el desplazamiento de dicha reacción con vapor de agua (**Reacción 4**), produciendo H₂ adicional y reduciendo la concentración de CO por debajo del 2% de la corriente a la salida. En este reactor se añaden grandes cantidades de agua para provocar el desplazamiento del equilibrio hacia los productos. Tras realizar ensayos en laboratorio, se ha establecido que la cantidad de agua necesaria debe ser 7 veces la cantidad estequiométrica. Se ha identificado el rango de temperatura que conduce a los resultados más favorables entre 300 y 350 °C.

- COPROX: consiste en la oxidación preferencial o combustión catalítica del CO (**Reacción 5**). En esta etapa se inyecta aire en exceso para que el O₂ reaccione con el CO, hasta alcanzar los niveles adecuados para evitar la desactivación del catalizador de Pt. Aunque se establece un nivel máximo de CO en la alimentación a las PEMFC de 50 ppm, se han identificado concentraciones inferiores a 10 ppm a la salida de este reactor.





- Pilas de combustible: el gas procedente del procesador de combustible está formado por una mezcla de H_2 y CO_2 . Esta corriente se utilizará para alimentar directamente dos pilas PEMFC, cuyo principio de funcionamiento es inverso al de la electrólisis (**Reacciones 6, 7 y 8**). Las pilas utilizadas en estos ensayos son dos dispositivos comerciales de la marca MES, de 1,5 kW_e de potencia nominal cada una. Estas pilas utilizan aire como oxidante y la mezcla obtenida en el reformado como combustible. La refrigeración, necesaria para mantener la T^a óptima de operación, se obtiene directamente del aire. El consumo nominal a carga máxima, es decir, a 36 V, 42 A y 1.500 W, alcanza los 20 NL/min. Normalmente, las PEMFC operan con la salida del ánodo cerrada, a presión constante y consumiendo el H_2 en función de la demanda. En este caso, las pilas disponen de una válvula de tres vías que permite purgar, de forma periódica, parte de la corriente, para eliminar las posibles impurezas que se alimenten junto al H_2 y recircular el que no haya reaccionado a la entrada de la pila de combustible.

En la **Figura 3** puede observarse una vista de la instalación experimental construida para el desarrollo del proyecto BIOCELL.

3.5. Planta de cogeneración

A escala industrial, en septiembre de 2012 se puso en marcha una planta de cogeneración en la EDAR Murcia Este con una potencia eléctrica instalada de 1 MW.

Los fabricantes de los motogeneradores han establecido unos requisitos mínimos de calidad del biogás para evitar su deterioro. Estos límites son: concentración de H_2S <300 ppm_v; y concentración de siloxanos <10 mg/Nm³.



Figura 3. Vista de la planta piloto construida para el desarrollo del proyecto BIOCELL.

Para la eliminación de H_2S se ha instalado un sistema de desulfuración química Thiopaq, que consiste en un lavado químico del biogás con una disolución de NaOH. La disolución saturada se regenera mediante un proceso biológico y se devuelve al proceso, combinando un alto rendimiento de eliminación y bajos costes operacionales.

Una vez que se ha eliminado el H_2S en el biogás, pasa a través de un intercambiador de calor para conseguir disminuir la temperatura del biogás hasta aproximadamente 5-10 °C. Con estas temperaturas se alcanza un valor de humedad relativa menor del 50%, necesario para el óptimo funcionamiento de los siguientes módulos de pretratamiento.

El tratamiento de eliminación de siloxanos consiste en dos filtros de carbón activo en paralelo, de forma que cuando uno de ellos se satura, se hace pasar el biogás por el segundo, mientras que el primero se regenera y así poder garantizar el suministro de biogás limpio a los motores de cogeneración. El biogás limpio permite alimentar dos unidades de motogeneradores de biogás de la marca MWM y modelo TCG2016C V12 de 500 kWh cada uno, cabinados de forma independiente.

El sistema de aprovechamiento de calor se compone de un doble circuito de intercambio, con un intercambiador de calor agua-fango de 1.038 kW. En el circuito secundario se dispone de una bomba de circulación de agua con otra gemela en paralelo para asegurar el funcionamiento continuo.

4. Resultados

En el transcurso del proyecto ABICEC se identificaron las condiciones de operación óptimas, desde un punto de vista técnico y económico, para obtener una corriente de biogás con una calidad adecuada. Combinando el lavado básico, la refrigeración y la adsorción con carbón activo se han obtenido rendimientos de eliminación de H_2S del 99,99%. Estableciendo unas condiciones de pH = 10,5-11 se garantizan concentraciones a la salida inferiores al límite de detección del equipo (0,12 ppm).

La experimentación con aminas llevada a cabo durante el proyecto AMEB ha permitido identificar la amina más adecuada, monoetanolamina (MEA) y la concentración (20%), obteniéndose así una corriente de BIOEDAR con un contenido de CH_4 superior al 96%.

Durante el proyecto Sostaqua se desarrolló un catalizador en base NiLaAl que permite reformar directamente una corriente limpia de CH₄ y CO₂, generando H₂ y CO. Una de las características más atractivas de reformado seco es que el CO₂ del biogás se puede utilizar como oxidante durante la reacción de reformado, evitando las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Alimentando el proceso con una corriente de CH₄ y CO₂ en relación 1:1 y, estableciendo temperaturas de operación superiores a 700 °C, ha sido posible alcanzar conversiones de metano en torno al 75%.

El proyecto BIOCELL ha permitido la implementación a gran escala de la tecnología de pila de combustible en el campo del biogás. El pretratamiento del biogás para poder alimentar el proceso de reformado ha sido altamente flexible, adaptándose a la gran variabilidad de composiciones registradas. Las pilas PEMFC se han alimentado con gas de síntesis antes de instalarse en el procesador de combustible PEMFC y el reformador ha estado funcionando en planta durante 385 h. Debido a problemas técnicos, ha sido imposible alimentar las pilas con gas de reformado.

Desde su puesta en marcha, la planta de cogeneración permite cubrir el 100% de las necesidades de calor de la EDAR Murcia Este y generar una parte importante de la electricidad que se consume en la planta. En 2014 se han generado 5.707 MWh, reduciendo así las emisiones generadas en la instalación en 2.055 toneladas de CO₂ (OCCC, 2015).

También se evitan las emisiones de SO₂ derivadas de la combustión en la antorcha del biogás sin pretratar. Las emisiones de SO₂ son parcialmente responsables de las lluvias ácidas y de los episodios de contaminación fotoquímica de los núcleos

urbanos. En 2014 se han dejado de emitir 37,68 toneladas de SO₂.

5. Conclusiones

La mitigación del calentamiento global es una de las principales prioridades en las políticas energéticas y medioambientales de la UE. Además de evitar las emisiones de gases de efecto invernadero, la producción y uso de biogás permitirá crear beneficios económicos y ambientales a escala local. Se espera, según lo establecido en el PER 2011-2020, que durante los próximos años la producción y el uso de biogás sean incentivados por el Gobierno español, estableciendo el marco legal y políticas tarifarias. Se estima que en 2020, biomasa, biogás y residuos sólidos urbanos representarán una producción de energía de hasta 12.000 GWh (2.010, 4.228 GWh).

La variedad de los proyectos desarrollados por Aguas de Murcia ha permitido que la compañía atesore una gran experiencia en cuanto a técnicas de acondicionamiento de biogás y de tecnologías de aprovechamiento del recurso.

La cogeneración parece ser hoy en día la tecnología más madura y rentable a implantar en EDAR de tamaño medio y grande para la valorización del biogás.

El desarrollo de redes locales de inyección de gas también supone una alternativa de aprovechamiento del recurso muy prometedora, una vez definidas las especificaciones de calidad del gas procedente de fuentes no convencionales introducido en el sistema gasista (BOE núm. 6, 2013).

En cuanto a las pilas de combustible, la experimentación ha permitido concluir que la tecnología no está lo suficientemente desarrollada para su implantación a escala industrial, pero se espera que a medio y largo plazo se consolide.

Bibliografía

- [1] Astarita, G.; Savage, D.W.; Bisio, A. (1983). Gas treating with chemical solvents. J. Wiley and Sons.
- [2] Bauer, F.; Hultheberg, C.; Persson, T.; Tamm, D. (2013). Biogas upgrading - Review of commercial technologies. SGC Rapport 2013:270. Disponible en: http://vav.griffel.net/filer/C_SGC2013-270.pdf. Consultado el 10 de octubre de 2014.
- [3] de Arespacochaga, N.; Cortina, J.L.; Mesa, C.; Martín, M.; Peregrina, C.; Bouchy, L. (2012). Are fuel cells the best technology for cogeneration from sewage biogas? Benchmarking against other options based on real field data. Libro de comunicaciones del IWA World Water Congress & Exhibition Busan 2012.
- [4] Deublein, D.; Steinhäuser, A. (2008). Biogas from waste and renewable resources - An introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH. Weinheim.
- [4] Resolución de 21 de diciembre de 2012, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se modifica el protocolo de detalle PD-01 Medición, Calidad y Odorización de Gas" de las normas de gestión técnica del sistema gasista. Boletín Oficial del Estado, 7 de enero de 2013, 6, págs. 889-892.
- [5] Instituto para la diversificación y el ahorro de la energía (IDAE). Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020. Publicaciones del IDAE. Disponible en: www.idae.es. Consultado el 9 de octubre de 2014.
- [6] Martín, M.; Castro, M.; de Arespacochaga, N.; Moya, N. (2012). Pretratamientos del biogás de depuradora para su uso en pilas de combustible. Comunicaciones del Congreso Nacional de Pilas de Combustible (CONAPPICE) 2012, C-140.
- [7] Martín, M.; Serna, T.R.; de Arespacochaga, N.; López-Guillén, I. (2012). Valorización del biogás de depuradora mediante pilas de combustible. Comunicaciones del Congreso Nacional de Pilas de Combustible (CONAPPICE) 2012, C-165.
- [8] Oficina Catalana del Cambio Climático (OCCC). 2015. Guía de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Disponible en: www.canviclimatic.gencat.cat. Consultado el 31 de marzo de 2014.
- [9] Olsson, G. (2012). Water and energy - threats and opportunities. IWA Publications.
- [10] Osorio, F.; Torres, J.C. (2009). Biogas purification from anaerobic digestion in a wastewater treatment plant for biofuel production. Renewable Energy, núm. 34(10), págs. 2.164-2.171.
- [11] Osorio, F.; Sánchez, M.; Torres, J.C. (2011). Preliminary studies for the obtention of biofuel by absorption with mono-ethanol-amine from a wastewater treatment plant. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and anaerobic digestion biogas in Environmental Effects. Disponible en: www.smallwat.org. Consultado el 28 de noviembre de 2012.
- [12] Persson, M.; Jönsson, O.; Wellinger, A. (2006). Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection. Publicaciones IEA Bioenergy, Task 37: Energy from Biogas and Landfill Gas. Disponible en: www.iea-biogas.net. Consultado el 28 de noviembre de 2012.
- [13] Petterson, A.; Wellinger, A. (2009). Biogas upgrading technologies-developments and innovations. IEA Bioenergy, Task 37: Energy from biogas and landfill gas. Disponible en: www.iea-biogas.net. Consultado el 28 de noviembre de 2012.
- [14] Proyecto BIOCELL: Energy self-sustaining and environmental footprint reduction on wastewater treatment plants via fuel cells (BIOCELL). Disponible en: www.life-biocell.eu. Consultado el 17 de julio de 2013.
- [15] Proyecto Sostaqua. Desarrollos tecnológicos hacia el ciclo urbano del agua autosostenible. Disponible en: www.sostaqua.com. Consultado el 9 de octubre de 2014.
- [16] Spiegel, R.J.; Thorneloe, S.A.; Trocciola, J.C.; Preston, J.L. (1999). Fuel cell operation on anaerobic digester gas: conceptual design and assessment. Waste Management, núm. 19, págs. 389-399. 