



## Sostenibilidad energética de la EDAR Murcia Este

**Autor:** Francisco J. Navarro

**Institución:** Aguas de Murcia

**Otros autores:** Marcos Martín González (Aguas de Murcia); Mar Castro García (Aquatec S.A); Teresa R. Serna (Aquambiente)

## Resumen

Aguas de Murcia, consciente de que todas sus actividades deben de desarrollarse de forma respetuosa con el medioambiente, ha implantado en sus instalaciones medidas encaminadas a maximizar la eficiencia energética, optimizando el consumo de recursos y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La empresa gestiona el ciclo integral del agua dentro del municipio de Murcia, incluyendo un total de 16 Estaciones de Depuración de Agua Residual (EDAR).

De las instalaciones gestionadas por Aguas de Murcia, la única que dispone de estabilización de fango mediante digestión anaerobia es la EDAR Murcia Este. En la planta existen tres digestores anaerobios con un volumen total de 18.317 m<sup>3</sup>, en los que se generan 2,5 NHm<sup>3</sup> biogás al año aprox.

En 2011 se firmó un acuerdo entre Aguas de Murcia, el Ayuntamiento de Murcia y ESAMUR para la construcción de una planta de cogeneración en la EDAR Murcia Este, permitiendo así el aprovechamiento energético del biogás. La planta se inauguró en 2012 cubriendo el 40% de la demanda eléctrica de la EDAR y, desde entonces, se han implantado mejoras que han permitido cubrir el 100% de las necesidades térmicas y casi un 50% de la demanda eléctrica de la planta. Las mejoras acometidas han sido: (i) la limpieza de los tres digestores anaerobios, para recuperar el volumen útil de las unidades, (ii) el calorifugado de los digestores y las tuberías de calentamiento de fango, evitando así pérdidas de calor y manteniendo la temperatura de los digestores estable a lo largo del año, (iii) sustitución de los intercambiadores de calor agua-fango por otros con una mayor eficiencia, (iv) pretratamiento del fango que alimenta los digestores mediante un equipo de hidrólisis e(v) instalación de un tamizprensa, para evitar que las fibras lleguen a digestión y produzcan atascos en las conducciones.

Mediante estas actuaciones se ha conseguido un aumento en la producción de biogás y, por tanto, en la energía generada por el sistema de cogeneración. La producción de energía en la EDAR Murcia Este ha evitado en 2013 la emisión de más de 1.500 Tm de CO<sub>2</sub>/año y de más de 37 Tm de SO<sub>2</sub>/año.

**Palabras clave:** Depuradoras, energía, emisiones GEI, sostenibilidad

## **SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA DE LA EDAR MURCIA ESTE**

**Autores: Marcos Martín González, Mar Castro García, Francisco J. Navarro, Teresa R. Serna.**

**PALABRAS CLAVE: Depuradoras, energía, sostenibilidad**

### **RESUMEN**

Aguas de Murcia, consciente de que todas sus actividades deben de desarrollarse de forma respetuosa con el medioambiente, ha implantado en sus instalaciones medidas encaminadas a maximizar la eficiencia energética, optimizando el consumo de recursos y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La empresa gestiona el ciclo integral del agua dentro del municipio de Murcia, incluyendo un total de 16 Estaciones de Depuración de Agua Residual (EDAR).

De las instalaciones gestionadas por Aguas de Murcia, la única que dispone de estabilización de fango mediante digestión anaerobia (DA) es la EDAR Murcia Este. En la planta existen tres digestores anaerobios con un volumen total de 18.317 m<sup>3</sup>, en los que se generan 2,7 NHm<sup>3</sup> biogás al año aprox.

En 2011 se firmó un acuerdo entre Aguas de Murcia, el Ayuntamiento de Murcia y ESAMUR para la construcción de una planta de cogeneración en la EDAR Murcia Este, permitiendo así el aprovechamiento energético del biogás. La planta se inauguró en 2012 cubriendo el 40% de la demanda eléctrica de la EDAR y, desde entonces, se han implantado mejoras que han permitido cubrir el 100% de las necesidades térmicas y casi un 50% de la demanda eléctrica de la planta. Las mejoras acometidas han sido: (i) la limpieza de los tres digestores anaerobios, para recuperar el volumen útil de las unidades, (ii) el calorifugado de los digestores, evitando así pérdidas de calor y manteniendo la temperatura de los digestores estable a lo largo del año, (iii) sustitución de los intercambiadores de calor agua-fango por otros con una mayor eficiencia, (iv) pretratamiento del fango que alimenta los digestores mediante un equipo de hidrólisis e (v) instalación de un tamizprensa, para evitar que las fibras lleguen a digestión y produzcan atascos en las conducciones y pérdidas de volumen útil.

Mediante estas actuaciones se ha conseguido un aumento en la producción de biogás y, por tanto, en la energía generada por el sistema de cogeneración. La producción de energía en la EDAR Murcia Este ha evitado en 2013 la emisión de más de 1.500 Tm de CO<sub>2</sub>/año y de más de 37 Tm de SO<sub>2</sub>/año.

### **INTRODUCCIÓN**

El propósito principal del paquete de legislación de la Unión Europea (UE) en materia de energía y cambio climático es la introducción de una serie de medidas que garanticen el cumplimiento de los compromisos asumidos por el Consejo Europeo en marzo de 2007, para reducir las emisiones globales de efecto invernadero en Europa en un 20% para 2020, con respecto a los niveles registrados en 1990. Por otra parte, en el marco de la Política Común de la Energía (CEP), el Consejo Europeo está promoviendo el objetivo de que el 20% del consumo total de energía de la UE proceda de fuentes de energía renovable antes de 2020.

En el ámbito nacional el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, aprobado en noviembre de 2011, promociona el uso del biogás. Desde un punto de vista técnico, la eficiencia energética de su uso directo para calefacción/refrigeración se ha incrementado de manera significativa, por lo que es necesario avanzar en la consolidación de un marco legislativo adecuado para promover el uso del recurso con garantías de calidad y seguridad, como en el desarrollo de tecnologías para reducir la costos asociados a la limpieza y el enriquecimiento.

En el contexto del desarrollo sostenible, la energía debe ser considerada no sólo en términos de reducción de los consumos, sino también en términos de producción y uso de energía "verde". En España los consumos energéticos de la depuración del agua residual suponen el 1% del total de los consumos energéticos nacionales y las perspectivas apuntan a un incremento de la demanda energética, fruto de las mayores exigencias en la calidad del agua tratada (IDAE, 2010).

Las tendencias tecnológicas deben centrarse en reducir este incremento mediante una mayor eficiencia energética y optimizar los métodos existentes e identificar nuevos usos para el aprovechamiento energético de los subproductos generados en el proceso.

La materia orgánica contenida en el agua residual puede ser considerada una fuente de energía. La DA es el conjunto de procesos biológicos en los que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno, y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone para dar lugar a una mezcla gaseosa denominada biogás ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , etc.), y un residuo sólido, denominado digestato.

El potencial energético del biogás está directamente ligado al contenido en metano ( $\text{CH}_4$ ) y su composición es muy variable. En el caso concreto del biogás generado en EDAR, la calidad depende del agua residual tratada, el sistema de digestión, la temperatura, tiempo de retención, etc.

Aguas de Murcia es la empresa mixta, participada en un 51% al Ayuntamiento de Murcia y el 49% por Hidrogea (Grupo Agbar), que gestiona el ciclo integral del agua en el municipio de Murcia. La empresa gestiona 16 plantas depuradoras de aguas residuales, de las cuales la EDAR Murcia Este es la única que dispone de DA de lodos.

Desde el año 2004 la empresa ha venido desarrollando estudios de I+D+i encaminados a identificar alternativas para poner en valor el biogás generado en la digestión anaerobia de los fangos.

En 2011 se firmó un acuerdo entre Aguas de Murcia, el Ayuntamiento de Murcia y la Entidad de Saneamiento de la Región de Murcia para la construcción de una planta de cogeneración en la EDAR Murcia Este, permitiendo así su aprovechamiento energético.

Desde su puesta en marcha en 2012, la empresa ha implantado diversas acciones encaminadas a aumentar la producción de biogás y, por tanto, la producción de energía.

## **OBJETIVOS**

El objetivo de este documento es describir las iniciativas desarrolladas por Aguas de Murcia para alcanzar la sostenibilidad energética de la EDAR a través del aprovechamiento del biogás generado.

## **DESCRIPCIÓN DE LA EDAR MURCIA ESTE**

La EDAR Murcia Este es una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas generadas en los sistemas de colectores de saneamiento de la ciudad de Murcia. La planta está proyectada para un caudal de diseño de 100.000  $\text{m}^3/\text{d}$  con unas cargas contaminantes, en temporada alta, de 588 mg/l de  $\text{DBO}_5$  y 548 mg/l de Sólidos en Suspensión (SS). El tratamiento del agua se realiza mediante un proceso biológico de fangos activados A2O, que incorpora a la zona aireada tradicional, selectores anóxicos y anaerobios en cabecera de tratamiento, permitiendo una significativa remoción de nutrientes (N y P) en el agua tratada.

La línea de fangos está formada por dos líneas de espesamiento de gravedad, flotación y tambores espesadores y posterior DA. La EDAR dispone de tres digestores anaerobios de mezcla completa con agitación mediante compresores rotativos y lanzas de gas, con un volumen total de 18.317  $\text{m}^3$ .

Finalmente los lodos son deshidratados mediante centrífugas con adición de polielectrolito. La instalación se completa con un sistema de desodorización por vía química de los principales focos de emisión de olores.

Las aguas depuradas son devueltas al Río Segura colaborando activamente a la regeneración y conservación del mismo.



*Figura 1. Vista aérea de la EDAR Murcia Este*

Desde su puesta en marcha en el año 2002, una parte del biogás producido era utilizado para el calentamiento de los fangos, mediante dos calderas de 1.200.000 kcal/h de potencia unitaria, que calentaban el agua procedente de 6 intercambiadores agua-fangos (2 por cada digester). El resto se quemaba en una antorcha para evitar las emisiones a la atmosfera.

Una vez instalada y puesta en servicio de la planta de cogeneración todo el biogás producido es alimentado en dicha instalación para producir calor y energía eléctrica.

### **DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE COGENERACIÓN**

A continuación se describen en detalle las etapas y equipos que componen la instalación:

#### 1. Pretratamiento

La composición del biogás generado en la EDAR se recoge en la Tabla 1. Según estos datos, los componentes mayoritarios del biogás son CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, siendo el poder calorífico de los tres últimos componentes despreciable respecto al del metano.

*Tabla 1. Composición del biogás generado en la EDAR Murcia Este (Datos de julio 2014)*

Metano (CH <sub>4</sub> ) [%]	63,4
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) [%]	34,1
Oxígeno (O <sub>2</sub> ) [%]	0,4
H <sub>2</sub> S [mg/Nm <sup>3</sup> ]	7.378
Σorg.Si-Compuestos (calculado como siloxanos) [mg/Nm <sup>3</sup> ]	1,7

La presencia de H<sub>2</sub>S, tanto solo como con humedad, ocasiona problemas de corrosión y picaduras en las superficies metálicas de los equipos y en tuberías, e impide la eliminación de otros contaminantes, como los siloxanos y los compuestos halogenados. Los siloxanos, aún en pequeñas concentraciones, cuando alcanzan altas temperaturas, se convierten en silicatos y cuarzo microcristalino. Cuando las concentraciones de estos

compuestos exceden los límites críticos, las incrustaciones que generan, pueden producir daños por abrasión en los equipos, aislamiento térmico y eléctrico y, en general, incrementan los costes operacionales y disminuyen la eficiencia de la instalación.

Los fabricantes de los motogeneradores han establecido unos requisitos mínimos de calidad del biogás para evitar su deterioro. Estos límites son: (1) concentración de  $H_2S$  <300 ppmv y (2) concentración de siloxanos <10 mg/Nm<sup>3</sup>.

Para la eliminación de  $H_2S$  se ha instalado un sistema de desulfuración química THIOPAQ™, (Figura 2) que consiste en un lavado químico del biogás con una disolución de sosa (NaOH). La disolución saturada se regenera mediante un proceso biológico y se devuelve al proceso.



*Figura 2. Detalle del sistema de desulfuración con regeneración biológica de sosa.*

Una vez que se ha eliminado el  $H_2S$  en el biogás, pasa a través de un intercambiador de calor gas-líquido refrigerante y un enfriador del líquido refrigerante para conseguir disminuir la temperatura del biogás hasta aproximadamente 5-10°C (Figura 3). 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 se satura, se hace pasar el biogás por el segundo y el primero se regenera, garantizando el suministro de biogás limpio a los motores de cogeneración.



*Figura 3. Detalle del intercambiador de calor y de las columnas de carbón activo.*

## 2. Motores.

Se han instalado dos unidades de motogeneradores de biogás de depuradora de la marca MWM y del modelo TCG2016C V12 de 500 kWh cada uno, cabinados de forma independiente en contenedores (Figura 4), eliminando así problemas de contaminación acústica en el entorno de la EDAR.

Los motogeneradores son de 4 tiempos, ciclo Otto, encendido automático para el accionamiento de un alternador asíncrono trifásico.



*Figura 4. Vista frontal de las cabinas de los motores instalados en la EDAR Murcia Este.*

### 3. Aprovechamiento de calor.

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.

Todas las tuberías de los circuitos de recuperación térmica van calorifugadas, con objeto de conseguir el máximo rendimiento energético. A lo largo de las líneas se han distribuido equipos de medida (termómetros de campo, termopares, termorresistencias, manómetros, etc.) con objeto de controlar y asegurar el correcto funcionamiento de la instalación.

## **MEDIDAS PARA INCREMENTAR LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**

### 1. Limpieza de los digestores

En el interior del digestor se generan, además del fango estabilizado y el biogás, materia inorgánica, debido a la mineralización de la materia orgánica alimentada al digestor. Parte de la alimentación al digestor son inertes (arenas, madejas de fibras y pelos, etc.), no susceptibles de digerirse. Toda esta materia se acumula en los laterales y el fondo de los digestores, reduciendo el volumen útil de las unidades.

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es el tiempo que un caudal de fango determinado permanece dentro del reactor. El TRH y la extensión de cada una de las reacciones que componen el proceso de digestión anaerobia propiamente dicho están muy directamente relacionados, de tal forma que el rendimiento del proceso depende de este factor.

Tras diez años de funcionamiento de la planta se había producido una pérdida de volumen útil de las unidades en torno al 30% y se decidió realizar la limpieza de los digestores anaerobios en la EDAR Murcia Este (Figura 5). La limpieza de un digestor es una operación bastante costosa, que no solo implica los propios costes de la limpieza, sino también por el tiempo que la unidad necesita estar inutilizada: el vaciado, la limpieza, el llenado, el tiempo necesario para que se restablezcan las condiciones óptimas de operación, etc.

Al abrir los digestores para proceder a su vaciado, se descubrió que parte de las lanzas de gas instaladas en el interior para agitar el fango, se habían desprendido. Así que durante la misma intervención se aprovechó para recuperar el volumen útil y mejorar la agitación del fango.



*Figura 5. Actuación para realizar la limpieza de digestores.*

### 2. Calorifugado de digestores



En los procesos de digestión de alta carga el contenido del reactor se calienta para optimizar el proceso (condiciones mesofílicas, 33-37°C) y se mezcla de forma completa mediante distintos sistemas como pueden ser la recirculación del gas generado, mezcladores mecánicos, bombeo, etc. Para cubrir la demanda de calor del proceso de digestión anaerobia se aprovechaba inicialmente el calor generado en las calderas y, desde la puesta en marcha de la planta de cogeneración, el calor producido por los motogeneradores y los gases de escape.

Una parte importante del volumen de los digestores se encontraba a la intemperie provocando unas pérdidas térmicas significativas. Para evitar estas pérdidas, en 2013 se calorifugaron las paredes de los 3 digestores de 26 metros de diámetro y 8,5 metros de altura mediante paneles de lana de roca de 80 mm de espesor y acabado con chapa de aluminio ondulada de 0,7 mm de espesor, sujeta a pernos de acero inoxidable fijados con tacos (Figura 6).



*Figura 6. Digestores calorifugados.*

### 3. Sustitución de los intercambiadores de calor

El mantener la temperatura en los digestores es un factor clave para el correcto funcionamiento del proceso. Con este fin se sustituyeron los intercambiadores antiguos, que presentaban bajos rendimientos de transferencia de calor, por otros más eficientes. El tipo de intercambiador de calor instalado es de 2 tubos concéntricos, con tubo interior corrugado para favorecer la transferencia de calor en el lado del fango y fabricado en acero inoxidable (tubo interior en AISI 316L y tubo exterior en AISI 304), modelo TF20 (Figura 7).



*Figura 7. Intercambiador de calor.*

#### 4. Equipo de hidrólisis

El proceso de digestión anaerobia de fangos se compone de cuatro fases consecutivas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, en donde la etapa limitante del proceso es la hidrólisis.

Con el objeto de acelerar esta etapa, se han desarrollado pre-tratamientos en los que se disminuye el tamaño de partículas, favoreciendo la solubilización de la materia orgánica.

Aguas de Murcia ha instalado un equipo de hidrólisis de fangos mediante desintegración a alto voltaje (Figura 8) como tratamiento previo a la digestión. Se trata de una tecnología novedosa que no había sido implantada hasta ahora en España.



*Figura 8. Equipo de hidrólisis de fangos.*

#### 5. Tamizprensa

Las fibras de tamaño reducido y de naturaleza dispersa consiguen atravesar los tamices, llegan a los espesadores de fango primario y de ahí a los digestores anaerobios. Una vez en el interior de los digestores, se agregan y originan madejas fibrosas de gran tamaño y consistencia que además de ocupar volumen útil del digestor, puesto que no se van a degradar en el proceso de digestión, pueden llegar incluso a obstruir conducciones de 200 mm de diámetro.

Los atascos en la línea de fangos y la pérdida de volumen útil ocasionan descensos bruscos en la producción de biogás. Para evitar este problema se ha instalado en la línea de alimentación de fango mixto al digestor el tamiz de fangos HUBERSTRAINPRESS® (Figura 9) .

Este equipo consiste en un separador de gruesos con forma de tubo instalado horizontalmente, compuesto de entrada, zona de transporte, zona de tamizado, zona de prensado y descarga, con un sistema automático de regulación de presión. Tiene

capacidad para tratar 60 m<sup>3</sup>/h de fango y con una luz de malla de filtración que puede retener sólidos de 2 mm, 3 mm o 5 mm.



Figura 9. Instalación del tamizprensa.

## RESULTADOS

En la Figura 10 se puede observar la evolución mensual de la producción de biogás durante 2012 y 2013.

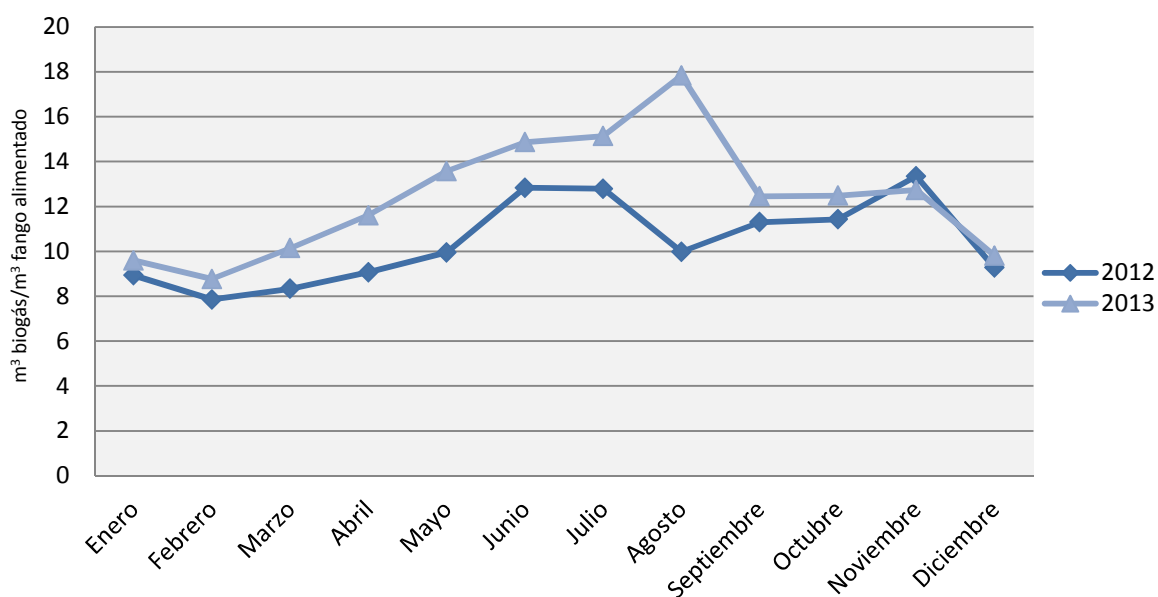


Figura 10. Evolución de la producción de biogás [ $\text{Nm}^3/\text{m}^3$  de fango alimentado]

Se puede observar que las medidas implantadas han repercutido notablemente en la producción de biogás en planta, registrándose un incremento promedio del 14,62% en 2013.

En la Tabla 2 se pueden apreciar datos del fango enviado a digestión, producción de biogás y de energía, correspondientes al año 2013:

Tabla 2. Producción de fangos y biogás. Rendimientos del proceso.

	Fango a digestión	Materia Volátil eliminada	Biogás producido	Energía producida	Ratios de producción			
	[m <sup>3</sup> /mes]	Tm Mve	[Nm <sup>3</sup> /mes]	kWh/mes	(Nm <sup>3</sup> /d)/Tm MVe/d	Nm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> fango	kWh/m <sup>3</sup> fango	kWh/Nm <sup>3</sup> biogás
Enero	21.362	7,21	204.980	398.000	0,99	9,60	18,63	1,94
Febrero	22.232	6,22	194.827	309.600	1,12	8,76	13,93	1,59
Marzo	22.168	8,99	224.916	322.000	0,81	10,15	14,53	1,43
Abril	21.998	9,22	255.299	442.684	0,92	11,61	20,12	1,73
Mayo	21.717	8,41	294.755	573.316	1,13	13,57	26,40	1,95
Junio	18.933	7,54	281.459	569.000	1,24	14,87	30,05	2,02
Julio	15.967	9,28	241.664	483.000	0,84	15,14	30,25	2,00
Agosto	9.714	5,91	173.186	340.000	0,94	17,83	35,00	1,96
Septiembre	16.605	4,88	206.839	409.000	1,41	12,46	24,63	1,98
Octubre	21.194	7,03	264.553	516.000	1,21	12,48	24,35	1,95
Noviembre	18.942	6,30	241.134	486.000	1,28	12,73	25,66	2,02
Diciembre	22.740	6,44	222.998	464.000	1,24	9,81	20,40	2,08

Las actuaciones desarrolladas han permitido producir 2.806.610 Nm<sup>3</sup> de biogás en 2013, generándose 5.312.600 kWh. Esto supone un ratio de producción de 23,66 kWh por m<sup>3</sup> de fango alimentado a los digestores.

## CONCLUSIONES

Con la puesta en marcha de la planta de cogeneración en 2012 se cubrieron el 40% de la demanda eléctrica de la EDAR y prácticamente el 100% de las necesidades térmicas. Desde entonces las mejoras implementadas han permitido cubrir el 100% de las necesidades térmicas y casi un 50% de la demanda eléctrica de la planta.

Con la puesta en marcha de la planta de cogeneración y todas las mejoras posteriores se ha conseguido un aumento en la producción de biogás y, por tanto, en la energía generada por el sistema de cogeneración. Se ha conseguido un aumento en la producción de biogás, de un 3,8% con respecto a los valores de diseño de la planta y, por tanto, en la energía generada.

La producción de energía en la EDAR Murcia Este ha evitado en 2013 la emisión de más de 1.500 Tm de CO<sub>2</sub>/año y de más de 37 Tm de SO<sub>2</sub>/año.

## REFERENCIAS

*Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020. Publicaciones del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE). Disponible en: <http://www.idae.es> (Última consulta: 08/10/2014).*  
*Estudio de prospectiva: Consumo energético en el sector del agua. Publicaciones del Instituto para la diversificación y el ahorro de la energía (IDAE). Disponible en: <http://www.idae.es> (Última consulta: 08/10/2014).*