

05-035

SOFTWARE AGROGAS. NEW COMPUTER TOOL FOR FARMS WITH PRODUCTION OF BIOGAS.

Márquez Pocostales, Francisco Javier ¹; López Rodríguez, Fernando ²; Ruiz Celma, Antonio ²

¹ Agencia Extremeña de la Energía, ² Universidad de Extremadura

Software AGROGAS try to find viable technical solutions for managing of livestock, agricultural and industrial wastes and its energy valorization. These solutions are achieved through anaerobic digestion. It means the reduction of the polluting power of these wastes, value the important volumes of biogas obtained and which can be used to produce heat, electricity, and/or to inject the gas grid after a process of cleansing and purification. AGROGAS SOFTWARE is a tool for the feasibility analysis of biogas plants. The feasibility analysis is made from the technical, economic and environmental points of view. Some of the main parameters used in the calculation of the biogas plant viability are the location of the plant, valorization type of the biogas produced and the type and quantity of treated waste. This tool allows the simulation of various scenarios depending on the use to which it will be intended the biogas produced. At the same time, it allows you to compare up to three different scenarios in the same calculation.

Keywords: *Digestion; anaerobic; biogas; wastes; analysis; viability*

NUEVA HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA EVALUACIÓN DE EXPLOTACIONES GANADERAS CON PRODUCCIÓN DE BIOGÁS. SOFTWARE AGROGAS

Se trata de buscar soluciones técnicas viables para el tratamiento de residuos sólidos agroganaderos, agrícolas e industriales y su valoración energética. Para ello se sigue la tecnología de la digestión anaerobia. Se trata de la disminución del poder contaminante de dichos residuos, de valorizar los importantes volúmenes de biogás que se obtienen y que pueden ser utilizados para producir calor para un proceso demandante del mismo, electricidad para transferir a la red eléctrica, o inyectar a la red gasista tras un proceso de limpieza y depuración. El SOFTWARE AGROGAS es una herramienta informática para el análisis de viabilidad de plantas de biogás. Dicho análisis de viabilidad se realiza desde los puntos de vista técnico, económico y medioambiental. Algunos de los principales parámetros usados en el cálculo de la viabilidad de la planta de biogás son la localización de la planta, el tipo de valoración del biogás producido y la tipología y cantidad de los residuos tratados. Esta herramienta permite la simulación de varios escenarios en función del uso al que vaya a ser destinado el biogás. A su vez, permite comparar hasta tres escenarios distintos en el mismo cálculo

Palabras clave: *Digestión; anaerobia; biogás; residuos; análisis; viabilidad*

Correspondencia: Francisco Javier Márquez Pocostales fjmarquez@agenex.org

Agradecimientos: Dirección General de Agricultura y Ganadería de la Consejería de Agricultura, Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Energía de la Junta de Extremadura; AINIA; CIEMAT y BYDT por participar en el desarrollo de la herramienta.

1. Introducción

Las actividades relacionadas con la cría de ganado, fundamentalmente intensiva, y la elaboración posterior de productos cárnicos conlleva una fuerte influencia sobre la economía regional. Actualmente, en Extremadura se sacrifican al año alrededor de un millón de reses (Instituto Nacional de Estadística [INE], 2013). La cantidad de residuos generados es enorme y con un potencial contaminante muy elevado, tanto en el caso de los residuos sólidos como líquidos en intensivo y extensivo.

La digestión anaerobia (DA) o biodigestión es una tecnología de degradación biológica de la materia orgánica en un medio anóxico; esto es, en ausencia de oxígeno. Presenta dos grandes ventajas, por una parte la de producir lo que conocemos como biogás, que es una mezcla de CO₂ (aproximadamente el 30%) y metano (el 70%) aprovechable energéticamente, y además se genera un lodo efluente con menos olores y rico en nutrientes aprovechable como enmienda orgánica.

Estas tecnologías de DA se han utilizado para degradar una gran variedad de residuos de la industria agroalimentaria, como por ejemplo residuos de frutas y vegetales (Bouallagui et al., 2004. Bouallagui et al., 2005. Kaparaju y Rintala, 2005), tratamiento de restos de oliva de almazara (Borja et al., 2002. Ergüder, Güven y Demirer, 2000), etc.

También, la DA se ha utilizado para la biodegradación y valoración energética de residuos sólidos urbanos (RSU) (International Solid Waste Association [ISWA], 2002). Además de estos ejemplos, se pueden encontrar otros muchos más que utilizan la DA para degradar todo tipo de biomasa residual húmeda. En definitiva, se trata de una tecnología versátil con la que se puede realizar una gestión completa e integrada de diferentes tipos de residuos.

El objetivo del presente trabajo ha sido el de proveer de una estrategia útil para el reciclaje de los residuos ganaderos y de la industria agroalimentaria en Extremadura, de modo que el medioambiente sea conservado en las mismas condiciones que permitieron a esta región ser considerada como una reserva ambiental en la Unión Europea

Por todo ello, un consorcio internacional coordinado por la Agencia Extremeña de la Energía y la Dirección General de Agricultura y Ganadería, han creado, dentro del proyecto AGROGAS, el software AGROGAS, cuyo objetivo es llevar a la práctica los resultados obtenidos en proyectos previos del programa SUDOE, para conseguir que los sectores ganadero, agrícola y agroindustrial reduzcan de manera real el impacto medioambiental que producen sus residuos intensivos, al mismo tiempo que se reduce su dependencia energética y se mejora la eficiencia de los recursos energéticos de las zonas rurales.

2. Objetivos

El Software AGROGAS es una herramienta informática para el análisis de viabilidad de plantas de biogás. Dicho análisis de viabilidad se realiza desde los puntos de vista técnico, económico y medioambiental.

La herramienta, cuya pantalla de inicio se puede apreciar en la figura 1, se centra en la búsqueda de soluciones técnicas viables para el tratamiento de los residuos ganaderos, agrícola y agroindustrial y su valorización energética, basándose en la digestión anaerobia, no solo porque conduce a una drástica disminución del poder contaminante de dichos residuos, sino también por los importantes volúmenes de biogás que se obtienen, que puede ser utilizado para transferencia de calor a un proceso demandante, electricidad a la red eléctrica o inyectarlo directamente a la red gasista.

Figura 1: Pantalla de inicio del Software AGROGAS.



En la actualidad y en Extremadura hay 5.409.044 cabezas de ganado entre caprino, bovino, ovino y porcino, en más de 27.000 explotaciones ganaderas y se sacrificaron un total de 1.050.964 reses en el año 2011.

La cantidad de residuos sólidos (estómagos, grasas, vísceras, e intestinos) así como los residuos líquidos (purines, sangre y aguas de lavado) que genera este sector es enorme, y, lo que es peor, con una gran carga contaminante, lo que puede provocar graves problemas ambientales. Teniendo en cuenta la cantidad de reses de cada especie sacrificadas, se puede deducir que la cantidad de residuos sólidos totales generados alcanza cifras que superan las 37.500 toneladas/año, mientras que los purines y aguas de lavado generados alcanzan las 1.250.000 t/año. Este dato refleja la magnitud del problema al que nos enfrentamos, y que es común a otras regiones del mundo con una fuerte dependencia del sector ganadero.

El objetivo del software AGROGAS, como se ha indicado anteriormente, es el de poner de manifiesto una estrategia útil para el reciclaje de los residuos ganaderos y agroalimentarios de Extremadura. Tal estrategia está basada en la digestión anaerobia de desechos que conduce, por una parte, a ratios de descontaminación bastante satisfactorios, y por otra a la valoración energética de los residuos, que favorece la viabilidad económica con períodos de retorno relativamente cortos.

Se trata de una herramienta perdurable en el tiempo y útil en la toma de decisiones de la instalación de una planta de biogás.

Para ello el programa opera en los idiomas español, francés o portugués, dependiendo del idioma del sistema operativo en el que se ejecute. Los datos de entrada son introducidos por el usuario a través de la interfaz, y son editables por el administrador de la herramienta.

Dispone de dos versiones, la opción resumida, puede ser utilizada por personas sin experiencia (agricultores, ganaderos, etc.), mientras que la opción detallada, requiere un mayor conocimiento técnico sobre la digestión anaerobia.

Se puede desarrollar en cualquier equipo con sistema operativo Windows XP, MS Office 2003 y Plataforma Java (Java Standard Edition versión 7) o superiores.

3. Desarrollo

El software AGROGAS calcula la viabilidad de la planta de biogás en función de la localización de la planta, el tipo de valorización del biogás producido y los residuos tratados.

En función de la localización de la planta, la herramienta asigna ciertos valores por defecto (editables en la opción detallada), como por ejemplo, los precios de los productos obtenidos en la futura planta de biogás (electricidad, calor, biometano y digerido).

Permite la simulación de la planta hasta en 8 escenarios distintos. Entre ellos se encuentra el que utiliza el biogás para producir calor mediante una caldera de gas, siendo este calor autoconsumido o vendido; el que usa el biogás para producir electricidad y calor, que puede autoconsumirse y/o venderse, mediante cogeneración con un MCIA (Motor de Combustión Interna Alternativo); y el de uso directo del biogás (transformado en biometano tras el consecuente proceso de depuración), como combustible de automoción (biofuel) o el de inyección directa a red de gas natural. Los escenarios se resumen en la tabla 1.

Tabla 1: Escenarios posibles en el Software AGROGAS

Nº	Valorización	Electricidad	Calor	Biometano
1	Caldera	--	Autoconsumo	--
2		--	Venta	--
3	Cogeneración	Autoconsumo	Autoconsumo	--
4		Venta	Autoconsumo	--
5		Autoconsumo	Venta	--
6		Venta	Venta	--
7	Biometano	--	--	Inyección a red
8		--	--	Biocombustible

La herramienta permite la selección de 3 escenarios a la vez, lo que facilitará la comparación entre ambos. No obstante, caso de necesitar comparar más de 3 escenarios, o incluso los 8 posibles, tan sólo habrá que generar varios informes con los mismos datos.

También existe la opción de incorporar “externalidades económicas” en forma, por ejemplo, de subvenciones y/o ayudas en la reducción del tipo de interés, para el análisis de la viabilidad económica. Incorporar inversiones relacionadas con la construcción de la planta como pueden ser las infraestructuras de evacuación de la energía y/o gas producido.

Además de los datos de entrada introducidos por el usuario, el programa utiliza bases de datos. Entre ellas una base de datos geográfica, referida al suroeste europeo (región SUDOE), o una base de datos de sustratos.

La base de datos de sustratos contiene 225 residuos, entre los que se encuentran los residuos agrícolas, ganaderos y agroindustriales más representativos de la región SUDOE. Los datos principales de estos residuos, que aparecen en la herramienta, son el porcentaje en materia seca, materia orgánica digerible, potencial de producción de metano, contenido en nitrógeno y nitrógeno amoniacal, etc.

El usuario debe conocer la cantidad de residuos que produce al año, el coste de adquisición de estos residuos (caso de que exista) y la distancia de transporte de los residuos (caso de que exista).

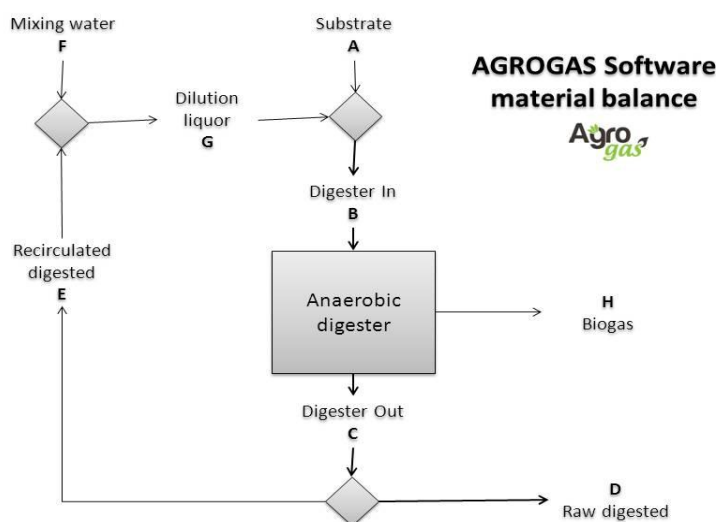
El programa permite al usuario seleccionar hasta seis tipos de sustrato en codigestión, cuyas características puede definir él mismo (en la opción detallada) o bien tomar de la base de datos de sustratos.

Por otra parte, el software emite una serie de alertas y avisos para señalar si alguno de los parámetros introducidos impide la realización de los cálculos. Por su parte, los avisos se muestran en los resultados y tienen la finalidad de incitar al usuario a modificar ciertos parámetros para mejorar la viabilidad de la planta.

4. Metodología

El Software AGROGAS se basa en un balance de materia como el que se muestra en la figura 2. Por otra parte, en la tabla 2 aparecen los datos de un balance de materia tipo usado por el Software, con una entrada de 100.000 t/año de sustrato.

Figura 2: Esquema del balance de materia realizado por el Software AGROGAS.



Estos son los principales procesos realizados por el Software, con el fin de conocer la cantidad de biogás generado.

Tabla 2: Escenarios posibles en el Software AGROGAS

Descripción	Masa total (t/año ó Nm3/año)	MS (t/año)	MO (t/año)	Agua (t/año)	Inertes (t/año)	MS (%)	MO (%)
Notación	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>o</i>	<i>a</i>	<i>i</i>	α	β
A Sustrato	100,000	25,000	19,000	75,000	6,000	25.0	76.0
B Entrada digestor	180,490	26,919	20,031	153,571	6,888	14.9	74.4
C Salida digestor	170,795	16,904	10,015	153,892	6,888	9.9	59.2
D Digerido bruto	149,234	14,985	8,985	134,249	6,000	10.0	60.0
E Digerido recirculado	21,562	1,919	1,031	19,643	888	8.9	53.7
F Agua de mezcla	58,929	--	--	58,929	--	--	--
G Licor de dilución	80,490	1,919	1,031	78,571	888	2.4	53.7
H Biogás	7,500,000	--	10,015	320	--	--	--

Por otra parte, para aclarar aún más cómo el Software realiza el cálculo, algunas de las ecuaciones principales utilizadas en el cálculo se muestra en las siguientes líneas. Es necesario prestar atención a la notación de imagen 2 y tabla 2, para obtener una mejor comprensión de las ecuaciones.

Para fijar el balance se utilizan como parámetros de entrada $k_1, k_2, \dots, k_{10}$. Éstos son datos calculados previamente y consignas que se encuentran entre los datos de entrada editables por el administrador (entre paréntesis los valores definidos por defecto):

- k_1 Σ Amount of processed substrate (t/year)
- k_4 Σ DOM/OM (Digestible Organic Matter/ Organic Matter) (%)
- k_9 Water content in biogas (42,7 g/m3)

Así, estos parámetros son usados en las principales ecuaciones del balance:

$$m_A = k_1 \quad (1)$$

$$a_A = m_A - s_A \quad (2)$$

$$\alpha_A = 100 \cdot s_A / m_A \quad (3)$$

$$\beta_A = 100 \cdot o_A / s_A \quad (4)$$

$$m_B = s_B + a_B \quad (5)$$

$$s_B = s_A + s_G \quad (6)$$

$$a_B = a_A + a_G \quad (7)$$

$$m_C = m_B + a_H - o_H \quad (8)$$

$$s_C = o_C + i_C \quad (9)$$

$$o_C = o_B \cdot (1 - k_4/100) \quad (10)$$

$$m_D = m_C - m_E \quad (11)$$

$$s_D = s_C - s_E \quad (12)$$

$$a_D = a_C - a_E \quad (13)$$

$$i_D = i_C - i_E \quad (14)$$

$$m_E = a_E / (1 - a_E/100) \quad (15)$$

$$s_E = m_E - a_E \quad (16)$$

$$a_E = a_G - a_F \quad (17)$$

$$m_G = s_G + a_G \quad (18)$$

$$a_H = m_H \cdot k_9/1000000 \quad (19)$$

Otro de los puntos críticos es el cálculo del volumen del digestor, para el cual se siguen las siguientes ecuaciones:

$$V = 0,25 \cdot \pi \cdot k_{11} \cdot \phi^2 \quad (20)$$

$$\phi = \sqrt{4 \cdot V' / k_{12}} \quad (21)$$

$$V' = (1000/365) \cdot (k_{14}/k_{15}) \cdot (o_A + k_{13} \cdot o_G/100) \quad (22)$$

Donde:

- ϕ Diámetro del digestor (m)
- V Volumen total del digestor (m³)
- V' Volumen efectivo del digestor (m³)

5. Resultados

El programa presenta los resultados en formato de libro Excel, permitiendo incluir texto y datos. Existen dos versiones de informes que el usuario puede seleccionar a través de la interfaz: informe detallado e informe resumido. Así mismo, la selección de uno u otro dará lugar a una versión más detallada o resumida de la interfaz, esta última con menor cantidad de datos a introducir por parte del usuario.

Los resultados se estructuran en tres partes encaminadas a mostrar la viabilidad técnica, económica y medioambiental.

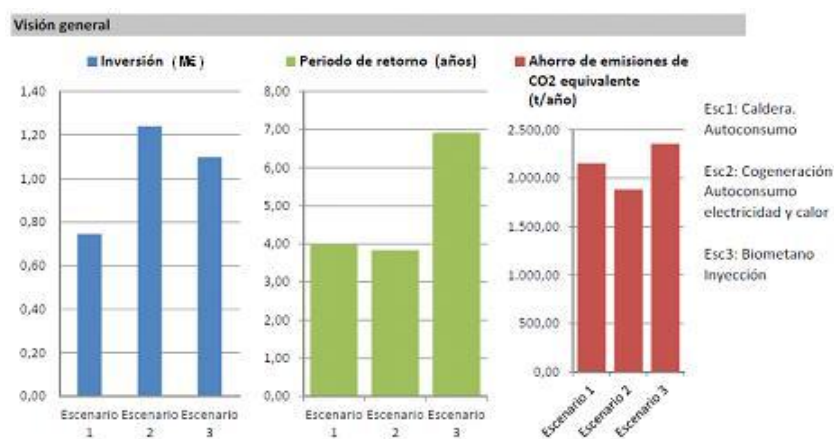
La primera parte es común a todos los escenarios, se ha denominado “digestión anaerobia” y está considerado como el análisis de viabilidad técnico. Muestra las principales características de la planta, como son la producción de biogás anual, el volumen de los digestores, cantidad de sustrato procesado, etc. Además, incluye una breve enumeración de

los principales componentes de la futura planta de biogás. También aparece las cantidades de energía producida, potencia necesaria (caso de aplicarse), etc.

La segunda y tercera parte repiten su estructura para cada escenario. En esta segunda parte (análisis de viabilidad económico); aparece la inversión necesaria, ingresos y costes de operación de la planta de biogás. A su vez se calculan varios índices económicos y financieros para determinar la viabilidad económica de la futura planta de biogás. Alguno de estos índices son el EBIDTA (beneficio antes de intereses, impuestos, depreciaciones y amortizaciones), VAN(Valor Actual Neto) y el Periodo de Retorno de la inversión

En la tercera parte se realiza el análisis medioambiental. En esta, para cada uno de los escenarios simulados se arrojan valores como el ahorro de energía primaria y el ahorro de emisiones de CO₂ equivalentes. Además, se incorporan conceptos nuevos como *coches anuales equivalentes*, esto es el número de coches cuyas emisiones de CO₂ equivalente se corresponden con las ahorradas; entre otros.

Figura 3: Gráficos comparativos del informe emitido por el Software AGROGAS.



Se incorporan varias gráficas, figura 3, que ayudan a comparar los distintos escenarios. Los parámetros mostrados son inversión, periodo de retorno y ahorro de emisiones.

En la tabla 3 se resumen los resultados obtenidos por la Agencia Extremeña de la Energía para dos explotaciones situadas en la provincia de Badajoz. En la primera, una granja con una producción de residuos de 52.000 toneladas/año de purín de cerdo y en la segunda, una granja con una producción de residuos de 600 t/año de estiércol de pollo. Ambos ejemplos han resultado viables tanto técnica como económica y medioambientalmente.

Tabla 3: Ejemplos de resultados emitidos por el Software AGROGAS

Residuos usados	Escenario más rentable	Producción de biogás (Nm ³ /año)	Coste de inversión (€)	Periodo retorno (años)	Ahorro energía primaria (MWh/año)
Purín cerdos	Cogeneración con autoconsumo de electricidad y calor	559.062	1.654.769	13,8	3.440
Estiércol pollo	Cogeneración con autoconsumo de electricidad y calor	146.936	173.456	3,7	886

6. Conclusiones

La herramienta ha sido testada, con datos de varias plantas de biogás en funcionamiento, y presentada en el Workshop AGROGAS de Pamplona. En el testeo se comprobó que los resultados arrojados por la herramienta se aproximan a los datos de funcionamiento de las plantas. Esto evidencia que los cálculos que realiza el Software AGROGAS se aproximan suficientemente a estudios de viabilidad mucho más complejos, realizados por empresas especializadas.

Posteriormente, la herramienta ha sido usada en más de 100 análisis de explotaciones, granjas y agroindustrias, llevados a cabo por los socios del proyecto, con el objetivo de incrementar la cantidad de residuos gestionados de forma sostenible; a la vez que se aumenta la diversificación energética en el medio rural.

Como se ha podido comprobar en las secciones anteriores y en los análisis realizados hasta ahora, la región extremeña (y otras regiones del espacio SUDOE) se postulan como opciones interesantes para el desarrollo de proyectos sobre digestión anaerobia de residuos.

Uno de los escenarios más rentable para las plantas de biogás en España es la cogeneración con autoconsumo del calor y la electricidad producidos. Además, se ha calculado el umbral de prima a la venta de energía que sería necesaria para que una planta de venta de energía fuese rentable. Este umbral, para el escenario de cogeneración con venta de electricidad, se ha situado en los 11,5 c€/kWh.

A la luz arrojada por estos datos, se muestra que el futuro a corto plazo de las instalaciones de biogás pasa por el autoconsumo.

Bibliografía

- Instituto Nacional de Estadística (INE) (2013). Anuario Estadístico de España 2013. Madrid: Instituto Nacional de Estadística
- Bouallagui H., Haouari O., Touhami Y., Ben Cheikh R., Marouani L. & Handi M. (2004) Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. *Process Biochemistry*; 39, 2143-2148
- Bouallagui H., Touhami Y., Ben Cheikh R. & Handi M. (2005) Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. *Process Biochemistry*; 40, 989-995
- Kaparaju P. & Rintala J. (2008) Anaerobic co-digestion of potato tuber and its industrial by-products with pig manure. *Resour Conser Recyc*, 52, 592-600.
- Borja R., Rincón B., Raposo F., Alba J. & Martín A. (2002) A study of anaerobic digestivity of two-phases olive mill solid waste (OMSW) at mesophilic temperature. *Process Biochemistry*, 38, 733-742.
- Ergüder T.H., Güven E. & Demirel G.N. (2002). Anaerobic treatment of olive mill wastes in batch reactor process. *Process Biochemistry*, 36, 243-248.
- International Solid Waste Association (ISWA). (2002) Industry as a partner in sustainable development – waste management. Copenhagen: International Solid Waste Association
- Proyecto AGROGAS (n.d.). Obtenido el 3 de noviembre de 2014, desde <http://www.agrogas.eu/inicio-462.html>

