

¿USAMOS TODAS LAS ENERGÍAS RENOVABLES?

DO WE USE ALL THE RENEWABLE ENERGIES?

RESUMEN

Este artículo comienza situando el potencial de la biomasa en el marco de las diversas fuentes de energía sean renovables o no. Se insiste en el concepto de residuo orgánico como biomasa ya que sus posibilidades de valorización son muy importantes.

En la segunda parte se explican los rendimientos de la conversión eléctrica de la biomasa en especial cuando se usa la gasificación como sistema de conversión energética.

Finalmente, se exponen diversos ejemplos de sostenibilidad energética.

Palabras clave: Biomasa, renovables, gasificación, conversión energética.

ABSTRACT

This article begins locating the potential of the biomass in the mark of the diverse energy sources, renewable or not. It is insisted in the concept of organic residual as biomass because their possibilities of evaluation are very important. Furthermore are explained the yields of the electric conversion of the biomass especially when it is used the gasification like system of energy conversion. Finally, diverse examples of energy sustainability are exposed.

Key words: Biomass, Renewable, Gasification, Energy conversion.

1 INTRODUCCIÓN

Para paliar el efecto que puedan tener los gases de efecto invernadero sobre el cambio climático, la UE ha elaborado la Directiva 2003/87/CE en la que fija los cupos de emisión de CO₂ para cada país de la Unión Europea y la cantidad asignada a cada sector. En el caso de España, como en muchos otros países, la mayor parte de la cantidad de CO₂ antropogénico procede del sector de la generación de energía precisamente debido al consumo de los combustibles fósiles. El esquema y el espíritu de la Directiva consiste en fijar unos cupos de emisión de gases

de efecto invernadero (GEI) en términos de CO₂ para cada país que, en caso de ser excedidos, deben compensarse mediante los mecanismos flexibles establecidos: mercado de CO₂, mecanismo de desarrollo limpio e iniciativas de aplicación conjunta. Los estados, por su parte, trasladan a los sectores afectados los cupos de emisión y en el caso de la industria se establecen límites para cada centro productivo emisor. La industria, pues, recurre a los citados mecanismos y al ahorro energético para cumplir con sus obligaciones.

Las nuevas tecnologías deben permitir cumplir con alguno o más de uno de los principales objetivos para la gestión sostenible de la energía, que son:

- Alcanzar un ahorro energético ya sea combinando u optimizando los procesos.
- Diversificar, o mejor adoptar, las tecnologías que permitan la incorporación de fuentes renovables de energía.

Fuente de energía	2001	2010
Minihidráulica (< 10 MW)	415	594
Eólica	623	1.852
Biomasa	3.664	9.465
Biogás	114	150
Biocombustibles	51	500
Solar fotovoltaica	2	19
Solar térmica	35	336
Solar termoeléctrica	0	180
RSU	247	415
Geotérmica	8	3
TOTAL	5.159	13.514

Tabla 1. Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000 - 2010. Valores en Ktep. (Fuente IDAE)

- Ambientalizar los procesos. No es suficiente el cambio de recurso energético sino que este proceso debe hacerse de forma respetuosa con el medio ambiente.

Se considera que las fuentes de energía renovable tienen un importante papel que desempeñar en la diversificación del suministro de la energía en la UE. Por ello, en los últimos años, se han fijado tres objetivos:

- Para 2005, el 2% de toda la gasolina y el gasóleo que se utiliza en el transporte por carretera debe sustituirse por biocombustible, elevándose esta cifra al 5,75% en 2010 (Directiva 2003/30/CE). En España, la cifra del 2% quedó lejos de su objetivo en 2005. Es de esperar que el cumplimiento en 2010 sea más real.
- Para 2010, el 22,1% de la electricidad deberá generarse a partir de fuentes de energía renovables (Directiva 2001/77/CE). Este punto constituye la columna vertebral de este artículo.

- En 2010, el 12% del consumo interior bruto de energía primaria deberá proceder de fuentes renovables.

En la práctica se considera que, en España, tan sólo la energía procedente de la biomasa y la eólica tienen posibilidades reales de crecimiento.

Los elementos básicos de una correcta política energética deberán ser:

- Propiciar el crecimiento económico de manera que el suministro de energía nunca sea un cuello de botella.

Xavier Elías
Ingeniero Industrial
Director de la Borsa de Subproductos
de Catalunya

Recibido: 29/5/06

Aceptado: 22/9/06



		Flujo (Potencia) TW	
		Mínimo	Máximo
Solar	Flujo en tierra	27.000	81.900
	Flujo en mar	53.000	720.000
Viento	tierra	100	3.000
Olas		200	6.000
Biomasa		30	900
Hidroeléctrica		40.000	1.200.000
Mareas		3	90
Geotérmica	Hidrotérmica	3	75
	Roca caliente	30	900
COMBUSTIBLES FÓSILES	10	300	
TOTAL		120.376	2.013.165
% combustibles fósiles		0,008 %	0,015 %

Tabla 2. Escenarios de generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables

- Garantizar la seguridad de suministro en condiciones adecuadas y asumibles en términos de calidad y precio, a pesar de la muy elevada dependencia exterior.

- Compatibilizar el consumo de la energía con una protección efectiva del medio ambiente, de manera que se cumplan las exigencias de un desarrollo sostenible a largo plazo.

Muchas veces se ha denunciado que las autoridades no responden con decisión al reto que supone la implantación masiva de las energías renovables si bien hay que reconocer tímidos esfuerzos, como el expuesto en el *Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000 - 2010* cuyos objetivos en esta materia se resumen en la tabla 1.

El mismo Plan define la biomasa como: *Residuos agrícolas leñosos, residuos agrícolas herbáceos, forestales y cultivos energéticos*. Éstos últimos no se han considerado en el artículo, al no ser aún habituales, así como tampoco el biogás puesto que se trata de un residuo secundario.

En resumen, el citado Plan pretende multiplicar por 2,6 los recursos para alcanzar el 12% en términos de energía primaria, que es el objetivo que postula el *Libro Blanco de la Energía Renovable* de la UE.

2. LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL MARCO GENERAL DE PRODUCCIÓN

La Tabla 2 reproduce los escenarios entre los que es posible generar ener-

gía eléctrica con la tecnología actualmente disponible.

De la tabla 2 se pueden extraer diversas conclusiones:

- Tanto en el caso del mínimo de producción (la potencia que se podría instalar ahora mismo) como en el escenario de la máxima producción (la potencia posible en el caso de apurar al máximo las posibilidades actuales), se trata de usar unas tecnologías experimentadas.

- El capítulo de la biomasa, a pesar de ser importante, no representa un porcentaje significativo del total.

- Lo más destacado es señalar que las energías fósiles convencionales no alcanzan el 0,008% del total. Si se tuvieran en cuenta los clatratos, cuyo potencial se estima superior al del carbón, gas natural y petróleo juntos, el porcentaje no aumentaría

	kg/día (BH)	% Humedad	kg/día (BS)
RSU	1,4	35,0%	0,91
Fangos de EDAR	0,8	75,0%	0,21
Residuos forestales	1,5	45,0%	0,83
Agricultura	2,4	50,0%	1,20
Cría de ganado	4,6	60,0%	1,84
Mataderos	2,8	65,0%	0,98
	13,5		5,97
BS base seca BH base húmeda			

Tabla 3. Cantidades de residuos orgánicos producidos en España

de forma significativa.

Sin entrar en detalles sobre las particularidades de las diversas alternativas de generación de electricidad a partir de energías renovables, merece la pena resaltar los siguientes extremos:

- La energía eólica, o la de las olas, no generan electricidad de manera continua y, por lo tanto, el sistema de generación deberá diseñarse para suplir las carencias en los períodos de calma del viento.

- La energía hidráulica, a pesar de tener un potencial muy superior a la biomasa, es también dependiente de

la climatología. En España, el año 2004 fue especialmente seco y el suministro de origen hidráulico fue muy inferior al habitual.

- La generación de electricidad a partir de la energía solar térmica tiene un brillante futuro. Sin embargo, su efectividad queda reducida a las horas de insolación. Por el contrario, la biomasa, por naturaleza, tiene un potencial de crecimiento y regularidad no igualados por ninguna otra fuente. En todo caso las líneas de investigación deben dirigirse hacia el desarrollo de tecnologías que permitan mejorar el rendimiento de la conversión química/eléctrica.

3. GENERACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS

Como se indica en la introducción, el mayor esfuerzo para alcanzar los objetivos de producción de energía renovable debería hacerse en la biomasa y por ello se hace hincapié en ella este artículo.

La tabla 3 muestra una estimación de las diversas cantidades de residuos de naturaleza orgánica que se producen (por habitante y día) como media en España. En la columna central se indica la humedad media en la que suelen generarse estos residuos y en la última columna la producción de materia seca.

Los datos han sido extraídos de diversas fuentes y algunos son de elaboración propia. Se trata de valores promediados a escala nacional pero las cifras a que dan lugar son de tal envergadura que, aunque se minimizarán, el resultado seguiría siendo sorprendente.

El propio *Plan de Energías Renovables* especifica lo que se incluye en alguna de estas variedades de biomasa:

- RSU, son los residuos domésticos. En 2004 la media en el Área Metropolitana de Barcelona sobrepasó los 1,6 kg/hab y día. Por otra parte, el PCI va en constante aumento debido al incremento de material combustible (envases y embalajes) en los RSU.

	PCI útil (kcal/kg)	PCI (kW/kg)
RSU	2.065	2,40
Fangos de EDAR	425	0,49
Residuos forestales	1.930	2,24
Agricultura	1.200	1,40
Cría de ganado	1.040	1,21
Mataderos	1.010	1,17

Tabla 4. Poder calorífico útil de los residuos orgánicos

- Los fangos de EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las directivas europeas obligan a depurar las aguas residuales, lo que se traduce en un incremento de los fangos, si bien la gran cantidad de agua asociada supone un inconveniente para la valorización energética. En esta partida también debe añadirse la gran cantidad de residuos fangosos orgánicos procedentes de las actividades industriales y alimentarias.

- Residuos forestales, donde también se incluyen las podas y las industrias silvícolas.

- Residuos de la actividad agrícola, muy atrayentes desde la óptica de la explotación cuando presentan cierto grado de concentración. Los cultivos energéticos, en caso de estar incluidos en la tabla, deberían integrarse en este apartado.

- La cría y alimentación del ganado constituye una partida muy importante puesto que la materia prima usada genera mucho residuo secundario, como los purines.

- Residuos de mataderos. Las actuales normas de calidad sanitaria suponen una gran producción de residuos (los rechazos en los vertederos son cada vez mayores).

La tabla 4 reproduce el poder calorífico útil de los residuos indicados en la Tabla 3:

Multiplicando las cifras unitarias de producción de residuos por los habitantes, 40.000.000, y por los días del año se obtienen los datos de la Tabla 5, que indica que la cantidad de biomasa generada en España se acerca a los 200 millones de toneladas con un PCI útil ponderado de 1,4 kW/kg.

La energía térmica disponible aparece en la columna central de la tabla 5, mientras que la última columna indica la energía eléctrica potencial que puede obtenerse con la tecnología hoy

en día disponible partiendo de una tasa de conversión eléctrica del 19%. No deja de sorprender que el resultado final indica que el potencial de generación equivale a seis centrales nucleares.

3.1. OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO

Como salta a la vista, el gran problema del aprovechamiento energético de los residuos orgánicos es la humedad, por lo que, en los últimos

	t/año (BH)	MW/año	MW(e)
RSU	20.440.000	49.079.767	1.065
Fangos de EDAR	12.264.000	6.060.698	131
Residuos forestales	21.900.000	49.147.674	1.066
Agricultura	35.040.000	48.893.023	1.060
Cría de ganado	67.160.000	81.216.744	1.762
Mataderos	40.880.000	48.010.233	1.041
TOTAL	197.684.000	282.408.140	6.125

Tabla 5. Potencial eléctrico de los residuos orgánicos

años, se han desarrollado muchos prototipos de secadores y se ha profundizado en los sistemas de secado a partir de una fuente inagotable de energía: el Sol.

La **Universidad de Hohenheim** y la empresa **Thermo-System** desarrollaron en la década de los 90 un sistema de secado de fangos de EDAR por

acción de la radiación solar. El fango se halla depositado en una nave recubierta por un plástico resistente, u otros materiales similares, que deja pasar la radiación solar y hace las veces de invernadero. La energía consumida oscila de 17 a 28 kW-h/t de H₂O evaporada frente a los 70 – 120 que consumen los secados térmicos convencionales. El proceso es interesante para su aplicación a depuradoras urbanas que dispongan de espacio suficiente para la instalación.

El sistema consiste en esparcir los fangos, con un espesor entre 15 y 50 cm en el interior de una nave cuyo pavimento varía en función del fango a tratar. En el caso de fangos muy líquidos, el suelo filtrante deja pasar el líquido y retiene las partículas sólidas. Si se trata de fangos deshidratados, el pavimento está preparado para impedir la lixiviación. Sobre el lecho de fangos circula un robot equipado con una finas ruedas metálicas y diferentes herramientas específicas para cada tipo de fango que actúan a modo de

aradas, que va removiendo constantemente el fango. Durante el proceso, el fango es trasladado y mezclado hasta doce veces al día. Para ello el robot recorre toda la superficie de la nave comandado por un motor eléctrico que sigue las instrucciones de un programa informático. El programa se autocorrigie en función de los valores de temperatura y humedad que va tomando constantemente.



Figura 2. Entrada de fango decantado en nave-invernadero con suelo filtrante.



Figura 3. Robot para remover fangos.

El sistema es apto para trabajar con fangos tratados de forma aerobia con el 3% de materia seca, en cuyo caso el recinto se llena a razón de $0,425 \text{ m}^3/\text{m}^2$ (Con el aspecto que muestra la foto de la figura 2), o bien fangos digeridos anaerobiamente con un contenido de materia seca del 24 – 28%, en cuyo caso la tasa de ocupación es de $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^2$. El fango seco obtenido tiene el aspecto de material granulado.

La eficacia energética depende, claro está, de las condiciones meteorológicas del lugar, pero los experimentos realizados en Centroeuropa han funcionado con intensidades de radiación entre 1 y 5 kWh/día, que ha logrado temperaturas en el interior del invernadero entre 0 °C de mínima y casi 50 °C de máxima. El ciclo de secado es de 21 días para alcanzar una concentración de sólidos del 85%, lo que corresponde a una evaporación real de 6,3 kg de agua por metro cuadrado y día.

El consumo eléctrico medio es del orden de 20 kWh/t H_2O evaporada. El 40% de esta cantidad corresponde al motor eléctrico del robot y el resto a los ventiladores. Éstos aspiran aire ambiente, lo hacen recircular por el interior a una velocidad óptima para arrastrar el vapor producido y lo conducen a un biofiltro antes de ser emitido a la atmósfera. Obviamente las instalaciones son completamente herméticas y no producen olores.

Las necesidades de espacio dependen de las condiciones climáticas del lugar y, naturalmente, de los re-

querimientos de sequedad del fango. No obstante, en la UE se consideran normales valores entre 0,5 y 1,2 t de agua evaporada por metro cuadrado de invernadero y año,

3.2. ESCENARIOS DESPUÉS DEL SECADO

El sistema descrito se ha diseñado para fangos o materiales de tamaño de partícula muy pequeño. Es obvio

	% Humedad	PCI (kW/kg)	MW/año	MW e
RSU	20	3,1	63.696.744	1.382
Fangos de EDAR	15	3,4	41.141.442	892
Residuos forestales	30	2,6	57.805.814	1.254
Agricultura	35	2,4	84.136.744	1.825
Cría de ganado	30	2,6	177.271.163	3.845
Mataderos	20	3,1	127.393.488	2.763
TOTAL			551.445.395	11.961

Tabla 6. Potencial eléctrico de residuos orgánicos secos

que el encarecimiento o escasez de combustible agudizará el ingenio de los diseñadores para el desarrollo de sistemas novedosos de secado de otros materiales, como pueden ser los RSU, los residuos agrícolas o los forestales, a base de aire calentado por artilugios solares.

A título simplemente ilustrativo, la Tabla 6 muestra las mismas hipótesis de aprovechamiento energético de residuos que las anteriores pero, esta vez a partir de humedades mas reducidas.

En un país soleado como España, dedicando una cantidad de recursos a la energía de la biomasa podrían obtenerse unos resultados importantes y sostenibles tanto desde el punto de

vista ambiental (en los vertederos la materia orgánica es el principal contaminante y además produce ingentes cantidades de gases de efecto invernadero) como económicos. Basta con pensar que esta potencia teórica, casi 12.000 MW(e), equivale a la cuarta parte de la máxima demanda eléctrica española en 2004.

4. SISTEMAS SOSTENIBLES DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Los grandes productores de electricidad, en previsión a las consecuencias que les reportará la puesta en marcha del *Protocolo de Kioto*, han venido desarrollando instalaciones de tecnologías avanzadas que generen menos CO_2 por kilovatio eléctrico producido. Una de estas experiencias es la de **Elcogas**, que recibió el apoyo económico de la UE por medio de un programa *Thermie* para la puesta en marcha de una Central de Ciclo Combinado con Gasificación Integrada (GICC) de 335 MW en Puertollano.

En esencia, el proyecto consiste en gasificar carbón nacional de muy mala calidad en un reactor a presión a alta temperatura. Su interés reside en la similitud entre el carbón (45% de cenizas) y el fango de EDAR y las ventajas ambientales de esta tecnología. El resto del material usado en la gasificación es igualmente interesante, ya que se añade coque de petróleo de la refinería de **Repsol-YPF** con un contenido del 6% en azufre. Como es sabido, en las condiciones reductoras del proceso el azufre se transforma en ácido sulfhídrico (SH_2) y sulfuro de carbonilo (COS), que son eliminados por los sistemas convencionales.

En relación a los resultados ambientales, claves para la viabilidad de

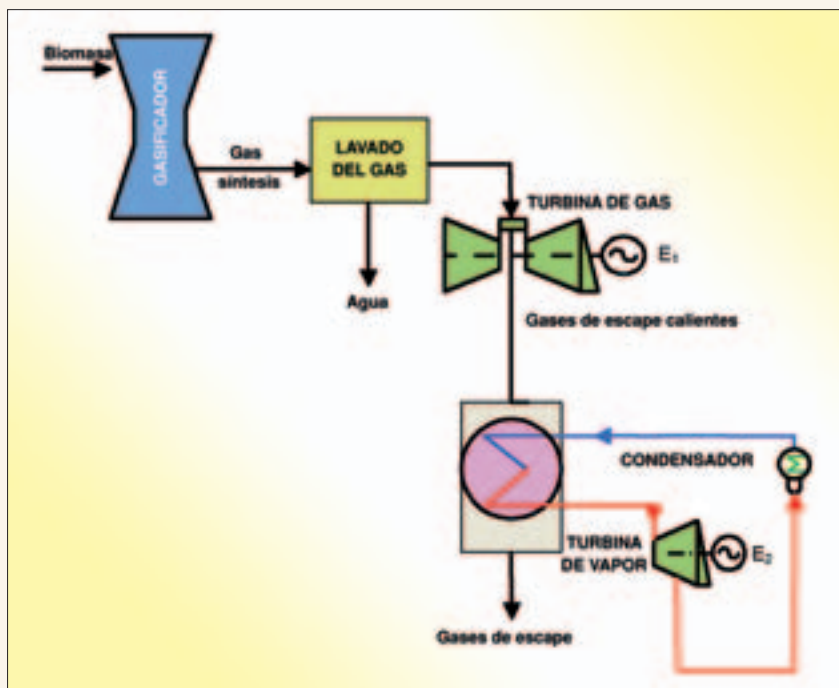


Figura 4 Ciclo combinado aplicado a la biomasa

la tecnología GICC, se ha demostrado el enorme potencial de este método, ya que las emisiones gaseosas finales son comparables a las obtenidas cuando se usa gas natural.

Desde el punto de vista operativo, el proceso más complejo ha sido la adecuación de la turbina de gas al empleo del gas de síntesis. Para ello se han tenido que cambiar los quemadores de la turbina para evitar los problemas de calentamiento y vibraciones que, finalmente, han sido resueltos.

El buen rendimiento energético que se consigue con la aplicación de la tecnología de gasificación en ciclo combinado, hace que las emisiones de CO₂ de una central de GICC se puedan evaluar en un 20% inferior a las correspondientes a una central termoeléctrica convencional de carbón, algo muy interesante en los tiempos que se avecinan.

La transposición de este modelo a la biomasa parece ser el futuro de la generación de electricidad a partir de esta fuente de energía. En este caso, el proceso, como muestra la figura 4, se inicia con la gasificación de la biomasa. El gas de síntesis es preciso lavarlo y, precisamente, el lavado es la etapa técnicamente más delicada ya que requiere obtener un gas con una calidad equiparable al gas natu-

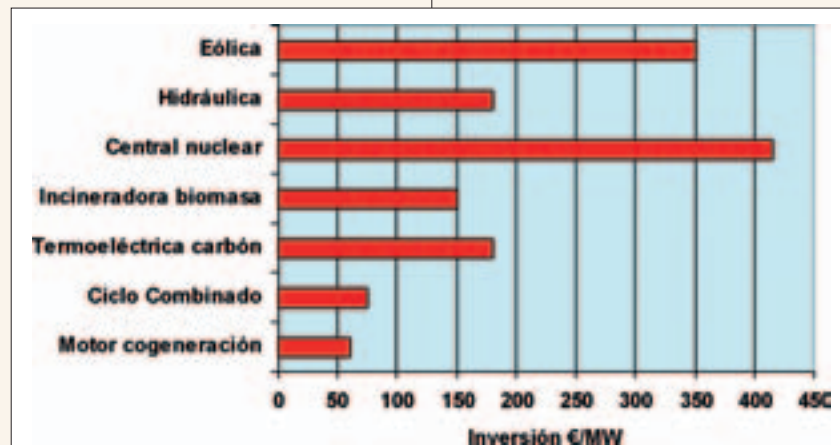


Figura 5. Coste de inversión, aproximado, de los sistemas de generación eléctrica

ral. En esta etapa los contaminantes se extraen en forma de sales y el "subproducto" es agua, de ahí que se trate de un sistema sostenible.

La turbina de gas produce electricidad (E_1) y los gases de escape se envían a una caldera de recuperación, donde se produce vapor de agua que se expande en una turbina de vapor para generar electricidad (E_2).

De acuerdo con el estado de la tecnología actual, el rendimiento eléctrico del sistema está alrededor del 40%. Una simple comprobación servirá para dar significado económico a estas cifras:

- 100 kWh de gas natural cuestan 2,33 € y producen 40 kW(e), es decir,

el coste de generación será de 0,05 €/kWh(e).

- Con una biomasa a 18 €/t y un PCI de 3,5 kW/kg, generar 100 kWh cuesta 0,514 €, o sea, el coste de generación será de 0,013 €/kWh(e).

Atendiendo sólo al precio del combustible, la generación de electricidad en un motor de gas natural de cogeneración resulta 3,8 veces más cara que la producida en un ciclo simple de gasificación y generación de electricidad en un motor de cogeneración. Si a igualdad de rendimiento que un ciclo combinado de biomasa se suma el más que posible aumento del gas natural, la diferencia puede llegar a ser hasta ocho veces superior.

En resumen, es imprescindible fomentar el desarrollo de las energías renovables. Para ello es importante

conocer el nivel de inversión aproximado para cada uno de los sistemas. La gráfica de la figura 5 da una idea de ello partiendo de la base de que los sistemas de generación trabajan 8.000 h/año, a excepción de la eólica, que se calcula con una base de funcionamiento de 2.500 h/año.

En el caso del Estado Español, sólo la energía eólica presenta un nivel de desarrollo que permita cumplir con los objetivos planteados en el *Plan de Energías Renovables*. La biomasa, la mini hidráulica y la fotovoltaica, en cambio, se hallan muy alejadas de los objetivos.

El GICC muestra que la gasificación en ciclo combinado aplicada a

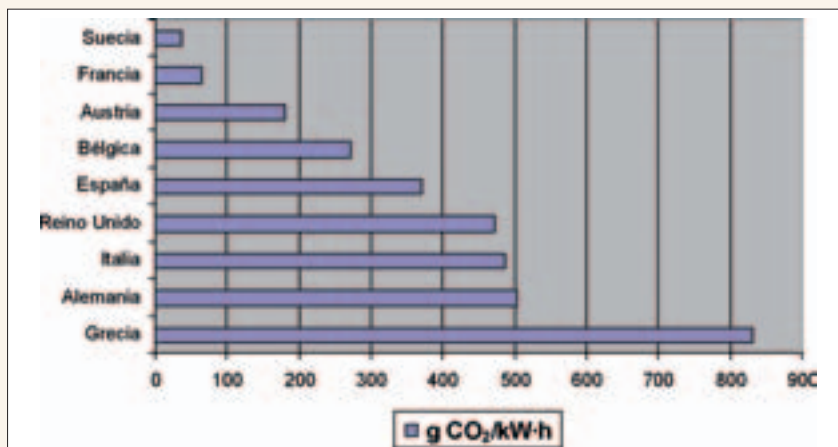


Figura 6. Cantidad de CO₂ por kW·h generado

los residuos permitiría mejorar en gran manera el rendimiento eléctrico. Si la tasa de conversión empleada en las Tablas 5 y 6 pasara del 19% (valor usado) al 40%, es obvio que la cantidad de electricidad generada sería muy superior: 12.894 MW (e) en lugar de los 6.125 MW (e)

4.1. EMISIONES UNITARIAS DE CO₂

El histograma de la figura 6 indica las emisiones unitarias de CO₂ por unidad de kWh generado en diversos países de la Unión Europea.

Como se desprende de la figura 6, las diferencias entre países son notables. Los que ocupan mejores posiciones son los países que tienen una abundante generación hidráulica, a excepción de Francia donde más del 75% de la energía eléctrica producida es de origen nuclear.

España, en generación eléctrica, se sitúa en una posición intermedia en cuanto a emisiones por unidad de energía producida. En cambio, a diferencia de otros países, está en clara desventaja por lo que respecta a la generación total de CO₂. Además, carece de mecanismos para reducir el valor total de emisión de gases de efecto invernadero por lo que la aplicación del *Protocolo de Kioto* va a ser, necesariamente, traumática y cara.

4.2. FACTORES DE EMISIÓN

En la Decisión 2004/156/CE de 29/01/2004 se establecen las directrices para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de conformidad con la Directiva 2003/87/CE a partir de los factores de emisión. La Tabla 7 muestra los fac-

Combustible	Factor de emisión tCO ₂ /TJ	Fuente del factor de emisión
Petróleo bruto	73,3	IPCC, 1996
Gasolina	69,3	IPCC, 1996
Queroseno	71,9	IPCC, 1996
Gasóleo	74,1	IPCC, 1996
Fuelóleo	77,4	IPCC, 1996
Coque de petróleo	100,8	IPCC, 1996
Antracita	98,3	IPCC, 1996
Lignito	101,2	IPCC, 1996
Esquisto bituminoso	106,77	IPCC, 1996
Monóxido de carbono	155,2	Basado PCI 10,12 TJ/t
Gas natural (seco)	56,1	IPCC, 1996
Metano	54,9	Basado PCI 10,12 TJ/t
Hidrógeno	0	Sustancia sin carbono

Tabla 7 Factores de emisión

tores de emisión orientativos de diversos combustibles.

Es obvio que la biomasa, al tratarse de un combustible renovable, tiene un factor de emisión cero.

5. PROCESOS DE CONVERSIÓN DE LA BIOMASA EN ENERGÍA

Los procesos convencionales de conversión termoquímica de energía son la incineración y la gasificación. La primera es la más extendida y produce en primera etapa calor y después vapor y electricidad en ciclo de **Rankine**. Todo ello supone que el rendimiento sea del orden del 20 %, es decir, cada 100 kW de biomasa va a producir 20 kW eléctricos. Además, debe valorarse el factor ambiental, ya que los gases se depuran al final del proceso.

En el caso de la gasificación en ciclo abierto, en cambio, primero se depura el gas de síntesis y seguidamente se produce electricidad. El rendimiento es del 30 % si se emplea turbina de gas o mayor si se usa motor. Es por ello que, al tratarse de un proceso más sostenible, este artículo hace referencia exclusiva a la gasificación.

5.1 LA GASIFICACIÓN

La gasificación es un proceso térmico que convierte, mediante oxidación parcial a temperatura elevada, una materia combustible o residual en un gas de moderado poder calorífico. Las combustiones, ya sean con defecto o con exceso de aire, son reacciones en estado gaseoso. De ahí que la gasificación tenga como finalidad convertir las sustancias combustibles sólidas en gaseosas.

Las etapas principales del proceso de gasificación son:

- Secado: Evaporación de la humedad contenida en el sólido. El grado de sequedad depende de la tecnología de gasificación.

- Craqueo: Degradación térmica en ausencia de oxígeno.

- Gasificación: Oxidación parcial de los productos de pirólisis.

La figura 7 muestra el esquema de un reactor de gasificación diseñado para el tratamiento de biomasa.

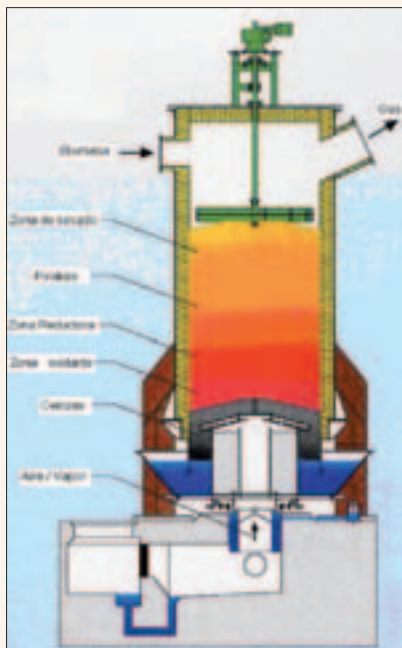


Figura 7. Reactor de gasificación de biomasa

El gas obtenido, llamado gas de síntesis, tiene un PCI moderado, sobretudo si el agente gasificante ha sido el aire. Sin embargo, se puede oxidar perfectamente en una cámara de oxidación y valorizarlo en una caldera de vapor, o bien enfriarlo y, una vez depurado, valorizarlo en un motor de combustión interna.

Una ventaja adicional de la gasificación consiste en la posibilidad de producir el gas de síntesis para un empleo diferente al de la generación eléctrica, es decir, usarlo para aplicaciones térmicas directas. Tal sería el caso de la oxidación del gas de síntesis en una caldera o en el interior de un horno.

Con el gas de síntesis se puede generar fácilmente electricidad por los sistemas convencionales tras una

imprescindible depuración del gas para el correcto funcionamiento de la turbina de gas o el motor de cogeneración. En ese caso, tras la valorización energética no será necesaria una limpieza de los gases exhaustos de la combustión. Si la valorización del gas de síntesis se realiza en ciclo de **Ran-kine**, generando calor mediante la combustión del gas de síntesis para generar vapor y así producir electricidad, la limpieza de los gases debe producirse antes de su liberación a la atmósfera. En este último escenario debe añadirse que, la cantidad de gases procedentes de una incineración siempre son mucho mayores que los resultantes de una gasificación, lo que se traduce en una estación de depuración de gases más reducida.

6. EJEMPLOS DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA

Este apartado pretende mostrar cómo el uso de los residuos propios generados en una instalación puede disminuir la factura energética en algunos sectores industriales. El artículo intenta presentar un modelo de generación energética relacionado con algunos sectores industriales de manera que la gestión de la energía asociada al tratamiento de sus propios residuos pueda catalogarse de sostenible.

Por lo general, España es un país donde el depósito en vertedero es barato y, además, existe poca tradición de valorización energética. La Directiva 1999/31/CE, relativa al vertido de residuos, incide en esta cuestión y en la práctica ha conducido a que, en la mayoría de los países de la UE, el vertido se encarezca o esté prohibido,

con lo que se potencia la valorización energética.

6.1. OPTIMIZACIÓN DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA EN EL TRATAMIENTO DE LOS FANGOS DE EDAR

Austria ha sido uno de los países pioneros de la UE en prohibir el vertido de fangos de EDAR (en Suiza hace años que está prohibido). Teniendo en consideración que las vías tradicionales de gestión de estos residuos, el destino agrícola y el compostaje, se hallan cada día más restringidas, la valorización energética deviene como única alternativa, sobre todo para los fangos procedentes de áreas urbanas industriales.

Para solucionar el problema, la primera opción ha consistido en secar los fangos hasta una sequedad del 90% (a la salida de la EDAR, lo normal es una sequedad del 23%), lo que ha permitido reducir considerablemente la cantidad de fangos a transportar a depósito controlado. No obstante, esta operación es cara y la introducción de la cogeneración como soporte económico de la gestión se ha revelado poco eficiente.

Finalmente hay que añadir que la gestión de fangos de EDAR tiene un gran impacto económico que irá en aumento, puesto que es obligación de las autoridades ambientales el depurar las aguas residuales.

6.1.1. Valorización energética de los fangos

Siguiendo la lógica de la gestión de los fangos de EDAR, la valorización energética de los mismos debe suministrar la energía suficiente para el secado. El proceso, de acuerdo con el esquema de la figura 8, consiste en la gasificación de los fangos.

La energía contenida en el residuo (fango) se convierte en energía química contenida en un gas. Este gas se puede utilizar de forma muy flexible: como materia prima de procesos químicos o como combustible en calderas, motores, turbinas o pilas de combustible.

Si el objetivo global del proceso es eliminar los fangos, las etapas lógicas del proceso deberían ser:

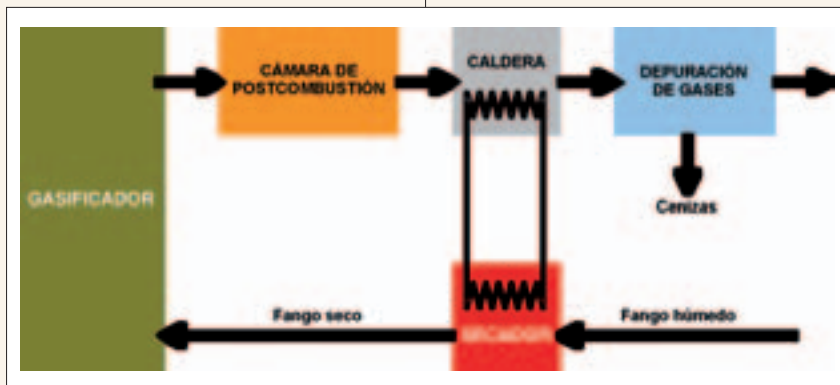


Figura 8. Ciclo energético sostenible de los fangos de EDAR

Residuo/grupo	%
Plásticos y gomas	40 – 80
Polvo	10 – 20
Líquido	15 – 17
Fibras, textiles	4 – 26
Vidrio y cerámica	3 – 16
Metales	0,5 – 20
Pinturas y sellantes	3 – 10

Tabla 8. Caracterización de residuos de fragmentación de VFU

- Aplicar al gas de síntesis las etapas de tratamiento que prescribe el RD 653/2003 en lo referente a la cámara de postcombustión. A la salida de esta cámara el gas, solo contendrá CO₂, H₂O, gases ácidos, metales y material particulado.

- Valorizar el calor sensible del gas en una caldera y producir vapor o, aceite térmico para el secado parcial de los propios fangos. De esta manera se cierra el ciclo energético y no se debe emplear energía externa para el secado de los fangos.

6.1.2 Un modelo energéticamente sostenible

El sistema propuesto en la figura 8 está pensado para el tratamiento de fangos de EDAR húmedos, con una sequedad del 25%. En este caso la instalación de secado puede ser más reducida habida cuenta que la sequedad de entrada al gasificador puede ser del 50 o 60%.

En el caso de tener que tratar fangos secos, los procedentes del secado térmico, la energía generada en el gasificador será muy elevada y el sistema aconsejado para disiparla es la generación de electricidad en un típico ciclo de Rankine.

6.2. LA CONVERSIÓN ENERGÉTICA DE LOS ASR Y NEUMÁTICOS

El residuo de la fragmentación y desguace de automóviles (Vehículos Fuera de Uso) se le conoce como ASR (*Automotive Shredder Residue*), también denominado fluff. Se trata de un conjunto de materiales cuyos márgenes están fijados en la tabla 8.

El hecho de que en la tabla se reflejen márgenes tan amplios depende

de la forma de selección después de la fragmentación. En cualquier caso, se observa que la fracción de gomas (básicamente neumáticos) y plásticos es mayoritaria. Si a ello se añade la cantidad de papel, fibras y textiles, se concluye que el PCI de este tipo de residuo es muy elevado. Se calcula que siempre está por encima de las 6.000 kcal/kg, o sea, superior al de la mayoría de carbones de origen nacional.

Desde el punto de vista de la conversión energética, el mayor problema proviene de la gran presencia de negro de humo. El negro de humo, variedad del negro de carbón, es esencialmente carbono y, en la práctica, no inflamable y difícil de oxidar. Para su eliminación es preciso un elevado nivel térmico que propicie la vaporización y, una vez lograda ésta fase, sí que se combina con el oxígeno.

Para el proceso de conversión térmica de este residuo no es preciso secarlo, por tanto todo el calor del combustible se transferirá a los gases de combustión. La forma más adecuada de valorizarlos, como indica el esquema de la figura 9, es mediante la producción de vapor y electricidad en ciclo de Rankine.

El esquema de la figura 9 muestra la alimentación del residuo a un gasificador o incinerador. En este caso, debido a la presencia del negro de humo, es más conveniente incinerar

puesto que la gasificación resulta muy complicada y poco efectiva por los motivos antes expuestos. Los gases, después de pasar por la cámara de postcombustión, se envían directamente a la caldera para la generación de vapor y finalmente son depurados antes de su evacuación a la atmósfera.

6.3. RESIDUOS DEL SECTOR PAPELERO

El papel fabricado a partir del recuperado genera una cantidad importante de fangos con una tipología particular. Según **ASPAPPEL** (Patronal del sector), las fábricas que producen papel a partir de papel recuperado generaron en 2001 817.300 t de residuo seco. En realidad, se genera con una humedad próxima al 80%, por lo que la cantidad real de residuo es muy superior.

Estos residuos están constituidos por una fracción orgánica de celulosa (fangos de destintado, cartones, rechazos), una masa bacteriana (de la depuradora) y una fracción inorgánica procedente de las cargas propias del papel.

Además de los fangos del proceso de destintado, los residuos producidos en la fabricación de pasta destintada y papel de recuperación corresponden generalmente a tres tipos:

- Rechazos constituidos por papel, plásticos, metales, fibras y teji-

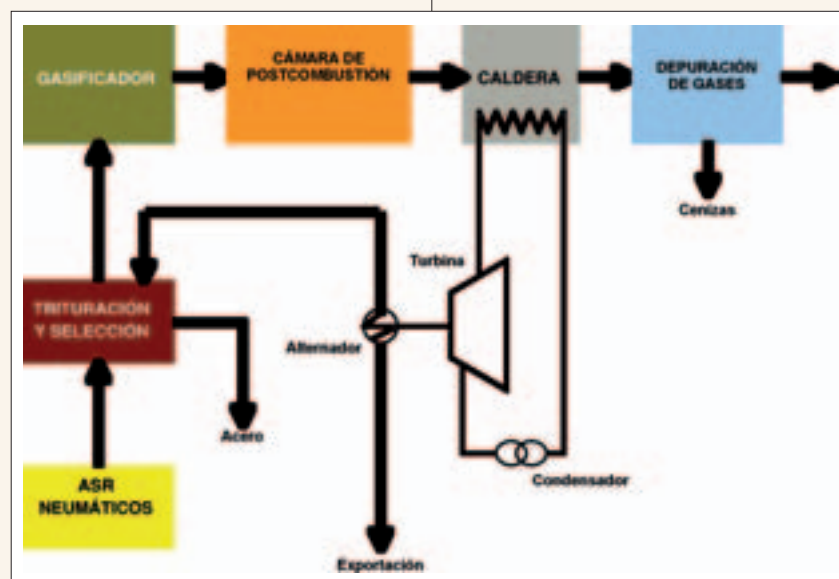


Figura 9. Proceso de conversión energética de los ASR

dos, que corresponden a las impurezas del papel recuperado.

- Fangos primarios, correspondientes a la etapa de tratamiento primario de la depuradora.

- Fangos biológicos, que corresponden a la depuración secundaria. Se estima que su producción, sobre base seca, es del 65 al 70% de la masa de materia eliminada por vía biológica.

Desde el punto de vista de su valorización energética, la cantidad y calidad de los fangos de destintado son máximas en papel tisú, papel de oficina y papel prensa, por este orden si se emplean papeles de recuperación de calidades semejantes. En la fabricación de cartón corrugado, en cambio, se produce poco fango y la proporción de rechazos puede alcanzar valores muy elevados.

Debido a que la fracción orgánica es mayoritaria, los fangos de papelera tienen un PCI notable. El problema está en la humedad, que es tan elevada que se necesitaría todo el poder calorífico de la fracción seca para la evaporación, sin reportar beneficio alguno al proceso. Por ello, y como esquematiza la figura 10, el proceso sugerido arranca con un secador solar.

Una vez la cantidad de agua es la adecuada para el ingreso en el gasificador, se transforma energéticamente y el calor se usa para producir vapor para el proceso.

Con el fin de poder aprovechar el potencial energético de forma sostenible, lo más adecuado es recurrir a un sistema de secado solar, como el mostrado en este artículo.

7. CONCLUSIONES

El potencial energético de las energías renovables es superior en varios órdenes de magnitud al de la energía de los combustibles fósiles.

En nuestro país, los residuos orgánicos no se valorizan energéticamente, tan sólo algunos RSU, a pesar de que el potencial energético teórico que representan, a escala nacional, es de 6.000 MW (e), equivalente a seis centrales nucleares convencionales.

A partir de las tecnologías de conversión energética disponibles, casi todos los sectores industriales permi-

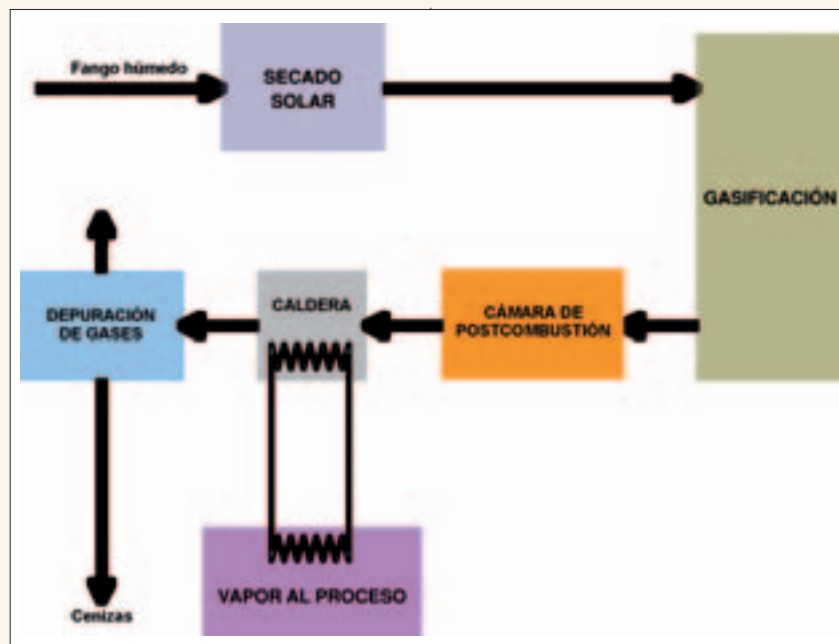


Figura 10. Valorización energética de fangos de papelera

ten la valorización de residuos para disminuir su factura energética. Los sistemas de valorización energética de residuos son aptos para la producción de energía a la vez que permiten reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Ayudan, pues, a realizar una gestión energética sostenible.

La gasificación parece ser el sistema de conversión energética más adecuado para la producción de electricidad a partir de la biomasa.

Todo sistema de conversión de energía debería estar de acuerdo con la tipología del residuo a tratar y por ello en el presente artículo se citan tres ejemplos representativos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- COLIN, F. *Recent developments in sewage sludge processing*. EUR 13650 Ed. Elsevier. ISBN 1-85166-683-4
- ELIAS, X. *Aler "Arido ligero expandido fabricado con fangos de Edar"*. Centro Nacional de Producción Más Limpia y Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín (Colombia) 2002.
- ELIAS, X. *Comparación de sistemas de conversión energético de fangos de EDAR*. Ed. Elsevier Revista Tecnología del agua. Nº 256 Enero 2005.

- ELIAS, X. *Valorización energética de los residuos: una alternativa compatible con el Protocolo de Kioto*. Revista Residuos. Nº 80. Noviembre 2004.

- ELIAS, X. *Posibilidades de la pirólisis en el tratamiento de los residuos*. Revista Residuos. Nº 68. Noviembre 2002.

- ELIAS, X. *Reciclaje de residuos industriales*. Ed. Díaz de Santos. Madrid (2000).

- ELIAS, X. *Secado y tratamiento de fangos de edar*. Ed. Elsevier Revista Tecnología del agua. Julio 2002.

- ELIAS, X. *Seminario sobre incineración de residuos sólidos, líquidos y hospitalarios*. Ciudad de México (2002).

- ELIAS, X. *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Ed. Díaz de Santos. Madrid (2005).

- MÉNDEZ I. *La gasificación integrada en ciclo combinado*. Revista Ibérica. Actualidad Tecnológica, Febrero 2004.

- MENÉNDEZ, E. *Energía: factor crítico en la sostenibilidad*. Ed. Netbiblo (2004)

- RICHARD PORTER. *Energy savings by waste recycling*. Ed. Elsevier. ISBN 0-85334-353-5.

- RONALD F. *Probstein synthetic fuels. International Student Edition*. Ed. McGraw-Hill. ISBN 0-07-Y66489-7 ■