

# LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE.

## RESUMEN:

Las necesidades de consumo energético y la necesidad de preservar el medio de agresiones cuyos efectos son del todo impredecibles mueven a la búsqueda de fuentes de energía que en la medida de lo posible, sean renovables y respeten el medio. La biomasa en un posible candidato a fuente alternativa. Además, su estudio es un buen recurso didáctico.



**José Antonio Martínez Pons**

I.E.S. Las Lagunas Rivas Vaciamadrid  
Departamento Química Analítica e  
Ingeniería Química.  
Universidad de Alcalá.  
[joseantonio.martinez@uah.es](mailto:joseantonio.martinez@uah.es)

mientras que en invierno se pretende 25°C. En este momento un 20% de la población consume el 80% de los recursos energéticos. Este es un problema gravísimo, sobre todo teniendo en cuenta que el primer mundo no lleva trazas de ceder en su consumo, sino todo lo contrario y el tercer mundo aspira a los niveles de vida y de consumo del primero. (Fig. 4)

La mayor parte de la energía proviene de los combustibles fósiles, -con el problema de sus

## INTRODUCCIÓN

Los recientes incidentes en el suministro eléctrico, desde las islas Baleares hasta los EE UU ponen de manifiesto un hecho: las redes de suministro están al límite de sus posibilidades y cualquier problema por nimio que sea, puede acarrear unos resultados catastróficos.

Con todo, la sociedad del primer mundo insiste en aumentar su consumo energético llegando al despilfarrero. Valga un ejemplo: en verano se gastan millonadas para tener una temperatura ambiente de 18 ó 20°C

reservas limitadas y de los efectos de contaminación, especialmente por los gases de efecto invernadero y lluvia ácida,- y de la energía nuclear de fisión, con los inconvenientes de la limitación del material fisionable, y la generación de residuos radiactivos, aunque en este caso no hay gases de efecto invernadero<sup>1</sup>, al menos en la fase de producción energética (Fig.1).

Otra fuente de energía es la hidráulica. Tampoco está exenta de problemas ya que tiene una dependencia directa con la meteorología y precisa una inversión inicial, económica y energética, muy grande en la construcción de infraestructuras. Una presa implica siempre un peligro de catástrofe. Los embalses no son eternos

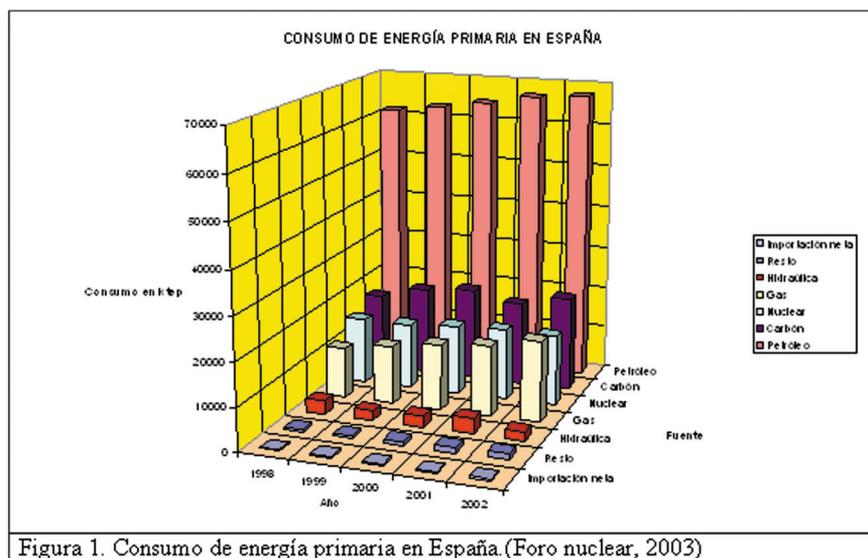


Figura 1. Consumo de energía primaria en España. (Foro nuclear, 2003)

<sup>1</sup> Un excelente estudio sobre el cambio climático y la influencia en el mismo de los gases de "efecto invernadero" puede encontrarse en Martínez Lope (2003)

y acaban colmatándose y desde el punto de vista ambiental no son inocuos ya que convierten un ambiente fluvial en palustre, con las consiguientes consecuencias para la flora y la fauna, juntamente con una relativa elevación de la temperatura del agua y otros problemas que no es momento de tratar.

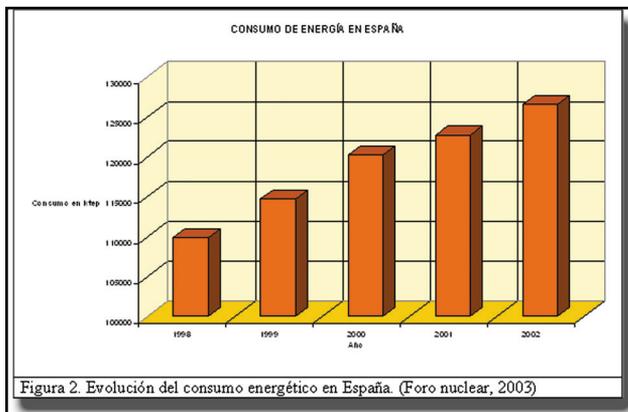


Figura 2. Evolución del consumo energético en España. (Foro nuclear, 2003)

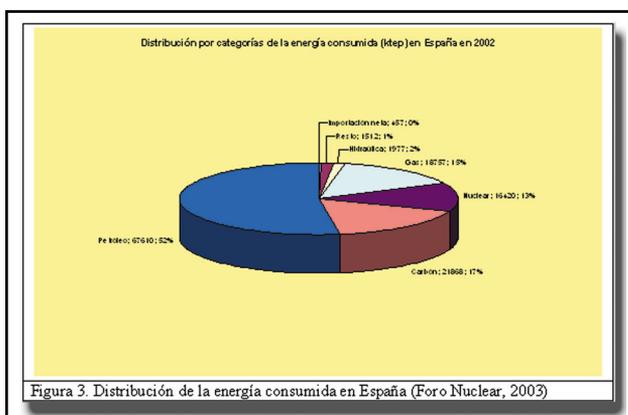


Figura 3. Distribución de la energía consumida en España (Foro Nuclear, 2003)

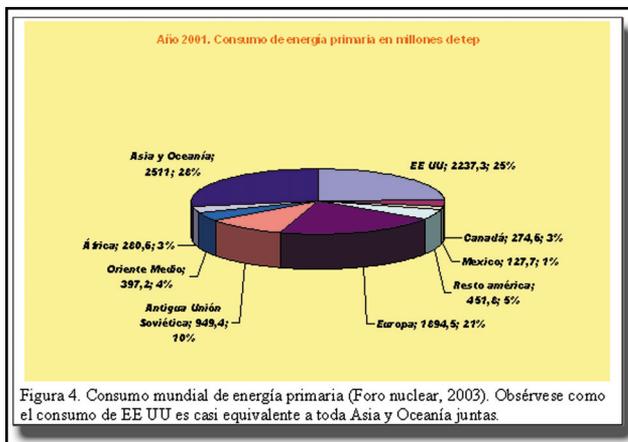


Figura 4. Consumo mundial de energía primaria (Foro nuclear, 2003). Obsérvese como el consumo de EE UU es casi equivalente a toda Asia y Oceanía juntas.

Además de estas tres fuentes de producción de energía a gran escala, existen otras fuentes con mucha menor implantación, como la energía solar que a su vez puede dividirse en un aprovechamiento térmico de la radiación solar para altas o bajas temperaturas y en conversión directa de la energía luminosa en eléctrica por medio de células fotovoltaicas. En líneas generales la producción de un MW equivale aproximadamente a una hectárea de colectores. Ésta queda lógicamente improductiva. Además, la fabricación de células fotovoltaicas con la tecnología actual a base de silicio, significa un elevado costo energético que debe obtenerse

de alguna fuente "clásica". Este coste equivale a una fracción no desdeñable de la energía proporcionada por la célula en toda su vida útil. Es posible que con la mejora de su rendimiento y de las tecnologías de fabricación puedan ser una fuente eficiente de energía a gran escala.

Otra fuente de producción de energía es el viento. La humanidad ha aprovechado la fuerza del viento desde tiempo inmemorial, sobre todo para mover molinos y naves. Hoy día se están instalando abundantes parques eólicos. Sin embargo es innegable el impacto ambiental y sonoro de estos aparatos y sus limitaciones.

La energía nuclear de fusión sigue estando muy lejos de ser rentable económicamente. Tampoco de momento, el uso directo del hidrógeno como combustible puede considerarse como una alternativa eficiente a gran escala. Si bien es cierto que su combustión no genera sino agua, hay que producirlo, por ejemplo por electrolisis, lo que implica un costo energético mayor que el recuperado (2ª ley de la termodinámica), distribuirlo y almacenarlo, problemas aun no satisfactoriamente resueltos.

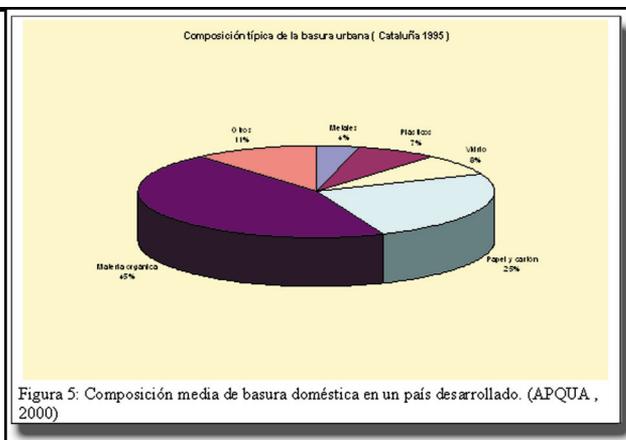
Otras fuentes energéticas, como la mareomotriz o la geotérmica o están muy localizadas geográficamente o no parecen dar resultados prácticos.

Ninguna de las fuentes renovables citadas es capaz de una producción masiva y están limitadas por las condiciones meteorológicas por lo que podrán servir de apoyo pero nunca de base al suministro normal de energía (Instalaciones domésticas que viertan a la red la energía sobrante, de lo que se viene hablando, no dejan de ser meras anécdotas).

De lo dicho se puede concluir que recursos no son inagotables, las fuentes de energía reales están muy poco diversificadas, la sed de consumo no cesa y está aumentando el calentamiento global, (Hansen, 2004) por efecto invernadero (sea antrópico o no), y nadie parece dispuesto a limitar el consumo desaforado, por tanto la solución única es potenciar nuevas fuentes de producción energética que por una parte no agoten los recursos, -fuentes renovables,- y por otra minimicen el impacto ambiental traducido en forma de lluvia ácida y efecto invernadero.

Además del consumo de energía las sociedades desarrolladas se caracterizan por una producción de desechos de todo tipo, entre los cuales están los domésticos. Los desechos contienen materias primas y energía que deberían recuperarse. (Fig. 5)

Un sistema que aproveche los residuos orgánicos para su conversión energética, debe ser mirado con sumo interés. (Wright,1990), al igual que un método que pueda aprovechar restos agrícolas o ganaderos e incluso cultivos ex profeso para su conversión en energía.



Precisamente ahí radica el valor de la biomasa.

### UNIDADES ENERGÉTICAS DE USO COMÚN

- 1 Tonelada equivalente de carbón (tec) = 0,7 tep = 0,007 Tcal = 7·10<sup>3</sup> termia
- 1 Tonelada equivalente de petróleo (tep) = 1,429 tec = 0,01 Tcal = 104 termia
- 1 teracaloría (Tcal) = 1012 cal = 4,186·10<sup>12</sup> J
- 1 termia = 106 cal = 4,186·10<sup>6</sup> J
- 1 termia inglesa (therm) = 100 000 BTU = 1,0548·10<sup>8</sup> J
- 1 BTU ( British thermal unit) = 1,0548·10<sup>3</sup> J
- 1 kilovatiohora (kWh) = 3,6·10<sup>6</sup> J

### INTERÉS DIDÁCTICO.

Dado el carácter polémico de todo lo relacionado con problemas ambientales, donde la información que llega al público suele ser, en el mejor de los casos, sesgada y muchas veces incorrecta, cuando no decididamente falsa, es importante que por lo menos los estudiantes reciban una información correcta que les permita cuando llegue el momento, tomar las decisiones que correspondan con conocimiento de causa.

El tema de la biomasa con rigor y detalle, no es excesivamente conocido por los profesores, especialmente de Enseñanza Secundaria y también éstos pueden estar condicionados por sus prejuicios.

Por otra parte, el estudio de la tecnología empleada en el tratamiento de la biomasa requiere la aplicación de técnicas, algunas muy avanzadas, físicas, químicas y bioquímicas, sin dejar de lado los procesos de recogida y almacenamiento de las materias primas y la distribución de los productos. Todo ello constituye un excelente recurso didáctico en la enseñanza de la química y de un modo especial, de la ingeniería química, (Calleja, 1999; Costa Novella, 1983; Costa López, 1984; Vian, 1980), que implica el estudio cinético de las reacciones, análisis de catalizadores y biocatalizadores, ingeniería de reactores y comparación de técnicas diferentes.

También contribuye de un modo efectivo a que los estudiantes se familiaricen con las diferentes unidades de medida energética así como sean capaces de comparar los

diferentes factores de escala.

Además de la comprensión de los procedimientos químicos y de sus limitaciones es necesario estimar los costos energéticos de producción, recogida, cultivo, abonado, preparación previa, etc., en muchos casos casi equivalentes a lo que el producto es capaz de "devolver". Este problema de costo previo es sistemáticamente "olvidado".

Otro tema interesante es el del almacenamiento de la energía producida y no consumida, que también implica problemas de tipo ecológico, pero no es objeto de este trabajo.

### LA BIOMASA.

Se entiende por biomasa el conjunto de materia orgánica renovable ya sea de origen animal o vegetal o procedente de su transformación y no utilizable como con finalidad alimentaria o industrial. La biomasa es una reserva de energía enorme y durante mucho tiempo y aun hoy en los países subdesarrollados es la casi única fuente de energía en forma de combustible. Sus posibilidades de aprovechamiento son múltiples y su combustión no produce aumento en gases de efecto invernadero ya que el CO<sub>2</sub> que devuelve a la atmósfera lo retiró de ella casi al mismo tiempo, lo que no ocurre con los combustibles fósiles, cuya combustión emite un dióxido de carbono retirado hace milenios. (Wright, 1990). Es bien sabido que todo indica que la primitiva atmósfera terrestre no contenía oxígeno y han sido las plantas verdes las que a lo largo de milenios han ido sustituyendo dióxido de carbono por oxígeno gracias a la fotosíntesis.

Atendiendo a su origen la biomasa puede ser restos de actividades agrícolas, ganaderas o forestales, lo que incluye ramas, matorros, restos varios y los purines, -que son los restos de las explotaciones agropecuarias, -residuos de consumo humano y cultivos ex profeso de vegetales energéticos, es decir vegetales que se destinan a la producción energética, ya sea en forma sólida, fundamentalmente lignocelulosa, o líquida como cultivos de oleaginosas o cereales para producir etanol.

Los residuos de consumo urbano incluyen las basuras urbanas y los lodos de las depuradoras de aguas residuales, que pueden emplearse en la producción de biogás y los restos de aceites que pueden ser útiles para producir combustible líquido, como el biodiesel.

El aprovechamiento energético de los residuos de la actividad humana debe combinarse con procesos de selección, reaprovechamiento y compostage.

### APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA.

El aprovechamiento energético, valorización en lenguaje técnico, de la biomasa implica dos tipos fundamentales de procesos: termoquímicos y bioquímicos. Los termoquímicos pueden ser la combustión directa de

los productos, con la que se obtiene un rendimiento energético inmediato, o la pirólisis que engloba un conjunto de procesos en los cuales las cadenas de materia orgánica se rompen dando origen a combustibles líquidos. Estos procesos implican un calentamiento ya sea en el vacío ya en una atmósfera libre de agentes oxidantes. Cuando se realiza en atmósfera conteniendo una cantidad controlada de oxidantes es la llamada gasificación.

Estas técnicas tienen un escaso impacto ambiental y producen combustibles líquidos u otras materias primas utilizables en posteriores procesos químico-industriales.

Los procesos biológicos implican, en líneas generales, la descomposición bacteriana de la biomasa. Se trata fundamentalmente de digestión anaerobia o fermentación de los residuos. También son posibles métodos aerobios (Berruga, 2000). La más usual, la fermentación metánica convierte los compuestos orgánicos en metano, junto con otros productos que en conjunto constituyen el llamado biogás, así una mezcla con 60 % en volumen de metano proporciona unas 5500 kcal m<sup>-3</sup>, (el volumen se expresará siempre en condiciones normales)

Respecto a los cultivos energéticos, éstos pueden someterse a procesos físico químicos que los transformen en combustibles sólidos de tipo lignocelulósico, útiles para la calefacción doméstica u otros aprovechamientos industriales, entre ellos, la producción eléctrica, o bien destinarse a la síntesis de combustibles líquidos, normalmente previa obtención del etanol por medio de la fermentación alcohólica. A partir del etanol puede obtenerse combustible para motores de cuatro tiempos (ciclo Otto).

Las grasas y aceites, mediante procesos de transesterificación generan aceites diesel ya que las propiedades de los ésteres metílicos que se producen son muy semejantes a las del gasóleo tradicional. (Blevisse, 1990; Gray, 1990; Reddy, 1990).

Históricamente (Flotats, 1997) hay constancia de que Alessandro Volta allá por 1776 descubrió que sobre los pantanos y en las aguas estancadas se producían gases combustibles. En 1868 Becham describió que las reacciones implicadas eran consecuencia de un proceso microbiológico. Con carácter precursor en el uso práctico de la biomasa en 1859 en Bombay se construyó una pequeña instalación que producía gas combustible y abonos tratando estiércol de ganado. Donald Cameron en 1890 diseñó una gran fosa séptica para producir gases combustibles con los que alimentó la red de alumbrado público de la ciudad de Exeter, Gran Bretaña, y durante la II Guerra Mundial en muchas granjas tanto de los países europeos aliados como del Eje, se instalaron pequeños reactores, digestores, que producían gas para el consumo local. Algunas de estas instalaciones funcionaron hasta 1950. En muchos países asiáticos y africanos hay pequeñas

instalaciones como la citada en Bombay pero se trata en general de equipos en que el gas producido no se controla y no es tratado y que por tanto debe quemarse en ambientes abiertos para evitar problemas derivados de la acumulación de gases tóxicos (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, etc.)

## INCONVENIENTES.

El aprovechamiento de modo eficiente y controlado de la biomasa es una tecnología reciente, y así presenta problemas por su novedad, su todavía escasa implantación así como por los derivados de la propia tecnología.

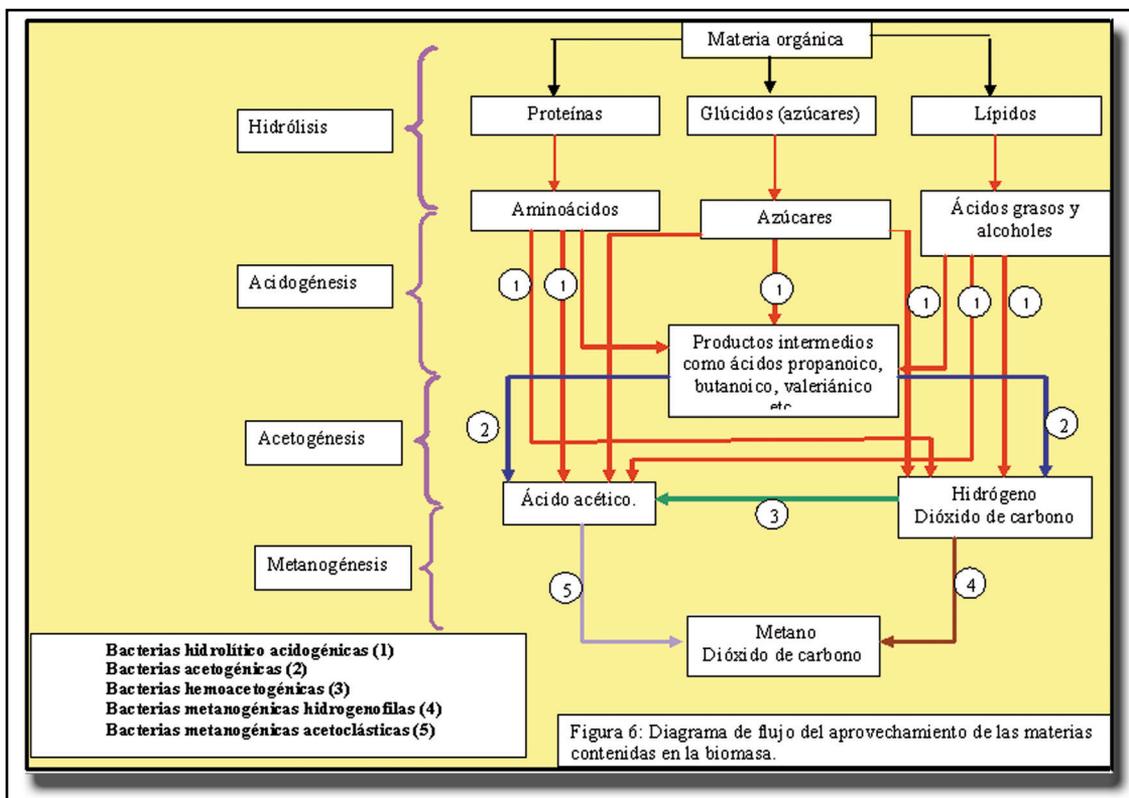
Además la concentración energética es menor en la biomasa y los rendimientos de producción son ligeramente menores que los de combustibles fósiles.

Tampoco hay un suficiente desarrollo en los sistemas de recogida y distribución.

Sin embargo es de esperar que en un futuro no muy remoto los términos se inviertan y el aprovechamiento de la biomasa alcance volúmenes considerables.

PRODUCTO	P.C.I. a humedad x (kJ/kg)					
	X	P.C.I.	X	P.C.I.	X	P.C.I.
Leñas y ramas	0	19.353	20	15.006	40	10.659
Serrines y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537
Orujillo de oliva	0	18.839	15	15.800	35	11.746
Cáscara de almendra	0	18.559	10	16.469	15	15.424
Cortezas (Coníferas)	0	19.437	20	15.257	40	11.077
Cortezas (Fronosas)	0	18.225	20	14.087	40	9.948
Poda de frutales	0	17.890	20	13.836	40	9.781
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209
Vid (Sarmientos)	0	17.765	20	13.710	40	9.656
Vid (Ramilla de uva)	0	17.263	25	12.331	50	7.399
Vid (Orujo de uva)	0	18.894	25	13.543	50	8.193

Tabla 1: Poder calorífico de distintos residuos de biomasa. X es el contenido de humedad (Sebastián, 2002)



## DETALLADO DE ALGUNAS TÉCNICAS.

### Biogás.

Como se dijo antes la transformación en biogás implica un conjunto de procesos que descomponen la materia orgánica y acaban por producir metano y otros gases.

La materia orgánica de partida puede ser cualquiera: restos urbanos, lodos de depuradora, residuos agrícolas y ganaderos, residuos de industria alimentaria, como queserías (Berruga, 2000) incluso restos orgánicos acumulados a lo largo de los años en los vertederos

Los residuos pueden tratarse por separado o mezclados, lo que se llama cogeneración que presenta la ventaja que las limitaciones de cada uno de los tipos de residuo se compensa con los restantes, consiguiéndose así una mejor rentabilización a la par que reducción de emisiones gaseosa, incluso de los siempre molestos olores.

La metanización consta de cuatro etapas : hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, realizadas por bacterias de diferentes tipos como puede verse en el esquema, ( Fig. 6) que fraccionan la materia orgánica inicial hasta el producto final, el biogás, que es básicamente metano y dióxido de carbono

La transformación se lleva a cabo en reactores, digestores. En España y en la mayoría de países en los que estas técnicas han alcanzado un buen desarrollo, como Alemania o Dinamarca, suele realizarse reactores mayoritariamente de flujo continuo. Estos reactores son

muy versátiles y no implican excesivas complicaciones ya que se trata de un simple tanque agitado ya sea mecánica ya neumáticamente. Debido a su propia esencia la concentración de microorganismos es prácticamente la misma en todo el reactor y en los efluentes ya digeridos. (Calleja, 1999) Los tiempos de permanencia medios dependen del tipo del material de carga y de la temperatura de trabajo y puede oscilar entre unos quince días, en régimen termófilo, entre 45 y 75°C y un centenar en régimen psicrófilo, entre 10 y 20 °C. Lo más usual sin embargo es régimen mesófilo, entre unos 30 y 40 °C que significa unos tiempos de permanencia también intermedios, de unos 20 a 30 días.

Componente	% en volumen
CH <sub>4</sub>	60 a 80
CO <sub>2</sub>	20 a 40
H <sub>2</sub>	1 a 3
CO	0,1 a 1
N <sub>2</sub>	0,5 a 3
OTROS	
H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> ...	0,5 a 1
H <sub>2</sub> O	variable

**Tabla 2.-** Composición típica del biogás (De Eficiencia energética, junio 2003)

Un aumento de temperatura en general significa una aumento de la velocidad de multiplicación de las bacterias y en consecuencia, de la producción del biogás, además el régimen termófilo se asegura la destrucción de patógenos, malas yerbas así como larvas y huevos de insectos, importante sobre todo para aprovechar los residuos como abonos, sin embargo al aumentar la temperatura aparece el efecto inhibitor del nitrógeno amoniacal, por lo que los procesos termófilos requieren un control bastante estricto.

También se utilizan otros tipos de reactores, como los reactores de flujo intermitente (por cargas) o de flujo pistón pero los llamados de biomasa retenida, que pueden ser de lecho fijo o fluidizado en los que los microorganismos se adhieren a un elemento inerte, fijo o en suspensión en la corriente de gas, no son los más adecuados ya que el contenido en residuos sólidos es muy elevado y estos sólidos ocasionan taponamientos en el reactor.

En suma, con los matices convenientes, se utilizan reactores semejantes a los comunes en la mayoría de procesos químico - industriales<sup>2</sup>.

Además de la temperatura y la composición y el destino final de los residuos, las variables que influyen en el proceso son el pH, las demandas químicas y biológica de oxígeno (DQO y DBO) así como la presencia de sustancias que inhiben el proceso, como metales pesados, amoníaco, formas no ionizadas de ácidos grasos, o sustancias relativamente inertes, como nitrógeno, fósforo o azufre. Como todos los procesos de ingeniería, se impone un estudio previo de todo el conjunto de circunstancias a la hora de decidir la instalación y el régimen de operación mejores.

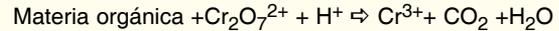
En general, es de especial interés el mantenimiento de un pH óptimo, en torno a 7, para lo cual es muy importante el control del equilibrio del dióxido de carbono. Aproximadamente un 90 % de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano yendo la restante al crecimiento bacteriano.

Los rendimientos estequiométricos suele estimarse en unidades de DQO eliminada y viene a ser de unos 350 m<sup>3</sup>/Tm de DQO eliminada que equivalen a unos 3500 kWh/ Tm de DQO.(Paris, 2003)

Un estudio detallado y cuantitativo de la cinética de los digestores y de las distintas variables físico químicas de que depende, aunque es muy interesante e instructivo sobrepasa el propósito de este trabajo, más bien divulgativo, y puede verse, por ejemplo, en Flotats, 1997.

Una vez obtenido, el biogás puede usarse ya sea como combustible de autobuses ya inyectarse directamente a la red de distribución de gas. Sin embargo, en ambos

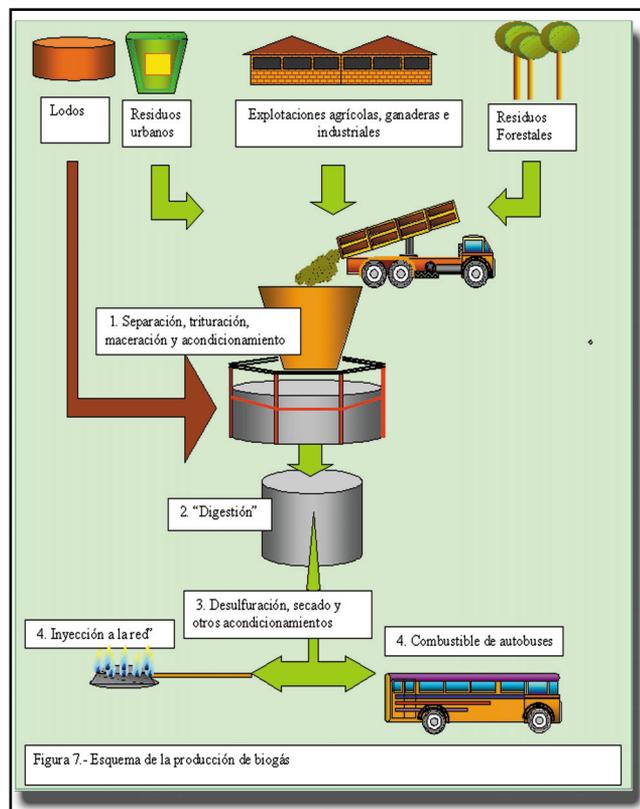
**Demanda química de oxígeno (DQO):** Se estima el contenido orgánico de las aguas por determinación del O<sub>2</sub> consumido con agentes químicos fuertemente oxidantes en medio ácido y en caliente. Su medida normalizada consiste en utilizar dicromato de potasio en medio ácido (sulfúrico), con sulfato de plata como catalizador, hirviendo a reflujo durante dos horas.



**Demanda biológica (o bioquímica) de oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno en mg/L (ppm) consumidas en condiciones de ensayo, 20 °C y oscuridad, durante el tiempo necesario para asegurar la oxidación de las materias biodegradables presentes en el agua, por actividad biológica. Aunque se trata de un proceso lento (21-28 días) se suele normalizar a 5 días (DBO<sub>5</sub>) o a 7 días (DBO<sub>7</sub>). Hoy día se utiliza más la

**Demanda biológica de oxígeno carbonosa (DBOC)** en la que se inhibe la actuación de bacterias nitrificantes. No obstante sobre todo debido a los largos tiempos de incubación la DBO cada día se utiliza menos. (Berruga, 2000)

casos se precisa un ajuste a las normas legales, especialmente en la inyección a la red porque el biogás, según su poder calorífico, unas 6500 kcal m<sup>-3</sup>, pertenece a la misma familia que el gas de coquerías y otros gases usados como combustible, la denominada "primera familia" (entre 5700 y 9500 kcal m<sup>-3</sup>) y el gas natural a la "segunda" (9680 a 13850 kcal m<sup>-3</sup>) y su inyección a la red requiere un acondicionamiento previo que lo haga compatible. Aunque es relativamente sencillo, hoy por hoy, no es común.



<sup>2</sup> Un resumido buen estudio sobre la mayoría de reactores utilizados en el procesamiento de vertidos líquidos puede verse en Berruga et al., 2000. Este opúsculo hace un excelente análisis del aprovechamiento de los subproductos y vertidos de quesería.

## BIOGÁS Y VERTEDEROS:

Otra forma de obtención del biogás es la desgasificación de los vertederos recientes y antiguos. El biogás se genera de forma natural en los vertederos, implicando un cierto peligro ya que como es bien sabida la mezcla de metano con oxígeno es altamente explosiva, el temido gas grisú de las minas. De este modo la desgasificación permite aprovechar un residuo peligroso que en última instancia acabaría en la atmósfera

En la práctica el método consiste en practicar una serie de pozos de extracción en la superficie de los vertederos. El gas así obtenido se recoge y transporta a través de un colector a un condensador de donde pasa a una balsa de lixiviados. Separados los lixiviados el biogás se conduce directamente a la planta de generación eléctrica, alimentando los motores que impulsan los correspondientes alternadores. La corriente producida pasa un transformador de alta tensión a partir de cual se inyecta a la red.

Se suele instalar una antorcha de seguridad en la que se quema los excedentes de gas.

Un ejemplo típico podría consistir en 150 pozos de 500 mm de diámetro y 20 m de profundidad alimentando 12 generadores de unos 1000 kW cada uno, debidamente protegidos e insonorizados, que producen electricidad a 6,3 kV la cual se eleva a 66 kV para su inyección a la red.

Una vez clausurado un vertedero su actividad continúa aunque decae exponencialmente con el tiempo.

## BIOGÁS Y PURINES.

El aprovechamiento de purines es un ejemplo de un aprovechamiento total de residuos. Una vez más se trata de obtener biogás de restos orgánicos.

Los purines son los restos de las explotaciones ganaderas. Su aprovechamiento suele producirse prác-

ticamente "in situ" en las propias granjas.

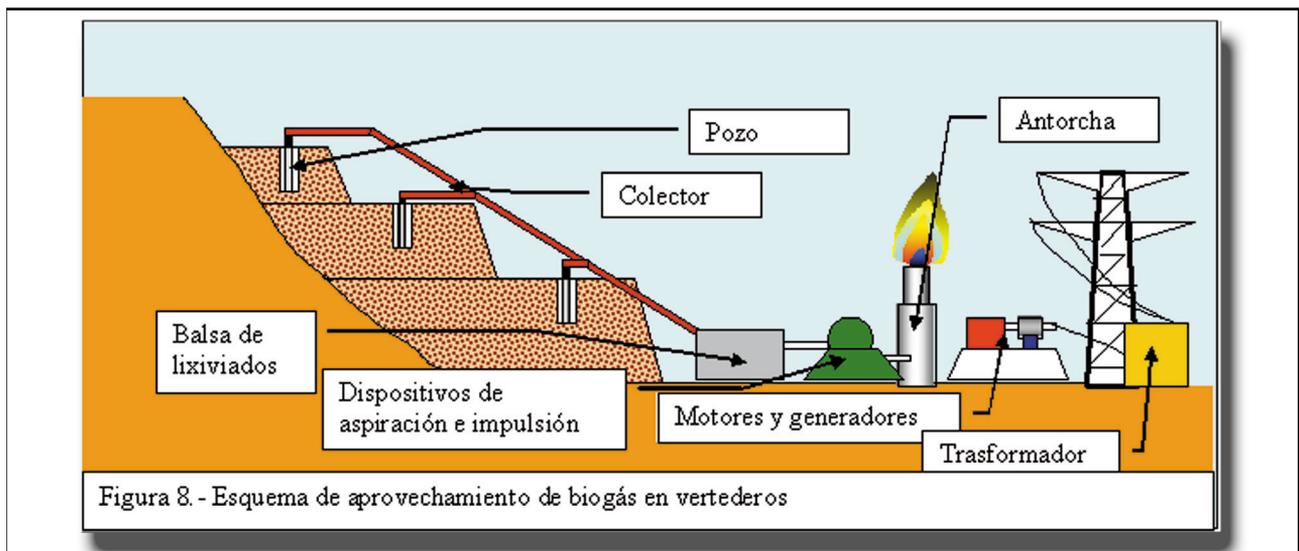
En un proceso típico, en este caso el llamado *VALPUREN*, puesto en práctica en Cataluña, (Paris, 2003) se procede del siguiente modo(**Fig. 9**):

Los purines se reciben en planta y se almacenan en tanques, después se trasvasan a los biodigestores de 3000 m<sup>3</sup> donde tiene lugar un proceso mesófilo a temperatura constante de 35° C. El tiempo de residencia en los reactores es de 20 días. Ahí se produce el biogás. Los residuos se decantan quedando por una parte un residuo sólido y una fracción líquida. Esta se trata con ácido sulfúrico para fijar el amoniaco producido en la digestión, se desgasifica y se concentra a bajas presión y temperatura. El concentrado se mezcla con el residuo sólido y se seca. El resultado es un abono que puede incorporarse a los campos. Por otra parte, el biogás alimenta un sistema cogenerador del que se extrae, agua caliente, utilizada en el proceso y energía eléctrica que autoabastece las instalaciones y el sobrante se vende a la red. Por ejemplo la planta de Juneda está dotada de seis motores de 2724 kW cada uno, que consumen una mezcla de biogás y gas natural (aproximadamente 10% del primero). En el año 2002 produjo 116 916 MWh de los que exportó a la red 110 608 MWh.

Las grandes ventajas del sistema son, por una parte un ahorro energético directo, por otra la reducción de emisores y por otra parte el ahorro derivado de la utilización de fertilizantes nitrogenados obtenidos por el desecado de los residuos, sin necesidad por tanto de los gastos que la producción de este tipo de fertilizantes implica.

## BIODIESEL:

El biodiesel es un combustible renovable, con muy bajo impacto contaminante además de biodegradable y que puede sustituir perfectamente, incluso ventajosamente al fueloleo de origen mineral.(Paris, 2003; Gray, 1990) Se fabrica a partir de materia grasa de origen vegetal o animal y procedente de cualquier mecanismo produc-





No solamente la caña puede producir azúcares fermentables, en Estados Unidos se utiliza el maíz y en los países de latitudes medias la remolacha, *Beta vulgaris*, puede ser una buena elección.

Respecto a la producción de biodiesel, hay plantas como la *Euphorbia lathyris* que segrega una savia lechosa de látex que podría incorporarse directamente a la industria petroquímica y la savia del árbol brasileño *Cobaifera langdolfrii* podría en teoría utilizarse directamente como combustible diesel, aunque de momento se trata de posibilidades.

Una de las fuentes de aceites más importantes es la colza, *Brassica napus*, planta próxima al nabo común que se cultiva para consumir su raíz (Emsley, 1998). En latitudes medias se siembra, bien en septiembre, colza de invierno o bien en marzo, de primavera y ambas se cosechan en junio, principio o final. La primera rinde unas tres toneladas de semilla por hectárea y la segunda algo menos. Cada tonelada de semilla a su vez produce unos 320 kg aceite y el resto de masa prensada es muy rico en proteínas por lo que se utiliza para la alimentación de animales, pese algunos inconvenientes derivados de su riqueza en glucosinolatos que pueden causar problemas de tiroides. Aunque se utiliza también como lubricante, materia prima en industria farmacéutica o medio de cultivo para microorganismos, la principal utilidad del aceite de colza en la alimentación humana siendo base de fabricación de aceites y margarinas, (90% de la producción) precisamente con el aceite colza los ingleses del siglo XVI pretendían sustituir los aceites mediterráneos especialmente españoles. De hecho su contenido en monoinsaturados lo hace comparable al aceite de oliva. Sólo el ácido erúico, uno de sus componentes, que también es monoinsaturado con 22 átomos de carbono, puede darle gusto desagradable y, al parecer, en los mamíferos jóvenes induce acumulación de grasa en el músculo cardíaco. Por esta razón se buscó variedades pobres en este ácido, aunque a efectos de biodiesel este detalle no es importante, es más, es ventajoso.

Otras plantas también pueden producir grasas esterificables, por ejemplo ciertas algas (*Chaetoceros*, *Navicula*, *Monoraphidium*) que pueden duplicar su número cinco veces en un día dando la mitad de su masa en aceite y pueden cultivarse sobre aguas contaminadas o en aguas saladas, como las del mar. Con sol abundante, un estanque de 10 000 m<sup>2</sup> (1 ha), unos dos campos de fútbol, podría rendir 120 tm de algas al año, más del doble de la producción de colza o caña de azúcar. Incluso hay predicciones más favorables. Paul Roessler del Instituto De Investigaciones De La Energía Solar (SERI) en Colorado piensa que son posibles las 100 tm de grasa por ha y año (citado por Emsley, 1998)

Un litro de biodiesel sin impuestos cuesta lo mismo que un litro de aceite fósil ya gravado y la producción de biodiesel entraña un conjunto de costes ocultos, como gastos de cultivo, fertilizado, recogida, transporte y transformación química que hace que cada litro de

biodiesel "cueste" a su vez casi un litro de combustible convencional. Las ventajas pues no son tan grandes.

## RESIDUOS LEÑOSOS:

La madera es el soporte de la mayoría de los vegetales, está constituida, dicho sea simplificando mucho, de glúcidos de cadena larga: celulosas, y lignina un polímero complejo de estructura bastante variable y en muchos casos todavía no elucidada por completo, que contienen un grupo propilo de constitución variable, unido a grupos guayacoilo, siringilo o piperonoilo. La madera de un árbol típico resinosos, (Vian, 1980) como el pino contiene 52 % de celulosa 27,5 % de lignina y 7% de hemicelulosa, una frondosa como el haya se mueve sobre valores 45 % de celulosa 23% de lignina y 15% de hemicelulosa. En el trigo los valores son 49 % de celulosa y 28 % de hemicelulosa, sin prácticamente lignina.

Su aprovechamiento por el ser humano se pierde en los orígenes de la civilización, como materia prima para múltiples utensilios, herramientas, mobiliario e incluso armas, vehículos y viviendas. Por ejemplo, el uso masivo de la madera en la construcción de las grandes flotas fue una de las causas de la deforestación de gran parte de Europa. Un buque de línea del siglo XVIII podía desplazar hasta 3 000 tm y estaba construido de maderas de excelente calidad: roble, encina, abeto etc. El mayor buque de este tipo, el Santísima Trinidad, se construyó como muchos de los buques de la Armada española, en América, concretamente en La Habana. En EE.UU. La deforestación se debió a la construcción del ferrocarril y la necesidad de traviesas, postes telegráficos etc. Hubo momentos en que se llegaron a construir hasta 15 km diarios, lo suponía la tala de unos 2000 árboles/día y al no conocerse la creosota la vida de estos materiales no excedía los siete años.

### **SANTÍSIMA TRINIDAD** (Denominada La Real, 1769-1805)

Construcción: 1769, en los astilleros de La Habana  
 Desplazamiento: 2.200 toneladas de arqueo y 4.950 de desplazamiento  
 Eslora: 60 metros  
 Manga: 16 metros  
 Armamento en 1769: 120 cañones. 1ª Batería: 30 de 36 libras, 2ª Batería: 32 de 24 libras, 3ª Batería: 32 de 18 libras, Castillo y Alcázar: 26 de 8 libras  
 Armamento en 1805: 140 cañones. 1ª Batería: 32 de 36 libras, 2ª Batería: 34 de 24 libras, 3ª Batería: 36 de 12 libras, 4ª Batería: 18 de 6 libras, 14 obuses de 24 y 6 esmeriles  
 (El cañón se clasifica por el peso del proyectil, en general macizo y esférico, que dispara la pieza, las baterías se clasifican de abajo, la 1ª más próxima a la flotación, hacia arriba. 1 libra 0,45 kg)

Durante milenios ha sido prácticamente el único combustible del que ha dispuesto el ser humano y aun hoy ocurre así en la mayoría de países de bajo desarrollo.

Hasta bien entrado el siglo XVIII la pirogenación de la madera producía el único reductor de que se disponía en la metalurgia del hierro y acero, el carbón vegetal.

Este se obtenía de forma empírica y artesanal en el propio monte, en las típicas "carboneras" ("sitjes" en catalán) en ella se producía la combustión parcial de madera en atmósfera pobre de oxígeno, dando como resto el carbón y perdiéndose los volátiles, la técnica no ha evolucionado en muchos países de tercer mundo. Hoy día, en el mundo industrializado, el carbón vegetal ha perdido parte de su interés, aunque sigue produciéndose, por ejemplo como adsorbente, con técnicas industriales más complejas. como la destilación seca que consiste en el calentamiento anerobio progresivo y controlado de la madera, con recogida de los volátiles que se desprenden, siendo el ácido acético y el metanol los más interesantes, quedando un residuo sólido, el carbón de madera (Thorpe 1922, Vian, 1980)<sup>3</sup>

Hoy la madera se usa en la construcción de muebles y las técnicas de chapado y aglomerado permiten un aprovechamiento grande de la madera y sobre todo para obtener celulosa que después se utilizará en múltiples aplicaciones.

Las industrias madereras, forestales y agrícolas generan abundantes residuos que es interesante recuperar.

Estos son ramas, cortezas, etc. y restos de aserradero y carpintería: serrines y virutas. Además están los restos de la producción de cereales: paja y cascarilla. La paja en otros tiempos tenía abundantes usos, hoy ha perdido gran parte de estas utilidades.

En teoría son posibles diferentes aprovechamientos de esos residuos, pero en la práctica se reducen a tres: combustión, gasificación o pirolisis.

La primera consiste en el quemado directo de los residuos obteniéndose en consecuencia dióxido de carbono, agua, cenizas y energía calorífica. Esta energía suele aprovecharse para calentar agua incluso producir vapor. Normalmente los residuos deben someterse a procesos previos de triturado, secado y compactado. Dependiendo de su estado y de su propia composición se utilizarán diferentes tipos de reactores, hornos, que pueden ser de emparrillado fijo, móvil o tipo caldera. Muchas veces el procedimiento funciona en la propia industria que aprovecha el agua caliente para otros procesos industriales derivados de la madera.

El proceso de gasificación es sustancialmente el descrito más arriba. Consiste en una oxidación parcial de la madera obteniéndose gas de síntesis ( $\text{CO} + \text{H}_2$  en proporciones variables) éste a su vez es materia prima para la obtención de metanol u otros productos (Vian, 1980; Calleja, 1999). Su poder calorífico no es muy elevado. También aquí los hornos dependen del caudal y de la composición del combustible, utilizándose los de lecho fijo, lecho móvil e incluso de lecho fluidizado, con las ventajas que este reactor presenta. El agente oxidante suele ser el aire. El principal problema es que el gas producido contiene alquitranes y abundantes

partículas en suspensión, lo que requiere un proceso de depuración previo a su uso, en frío (lavado) o en caliente (filtro cerámico). Este segundo camino, aunque tiene menor rendimiento energético, da un resultado mucho más flexible en la utilización del producto.

Respecto a la pirolisis y otros procesos como la hidrólisis no parece que de momento sean rentables con los residuos.

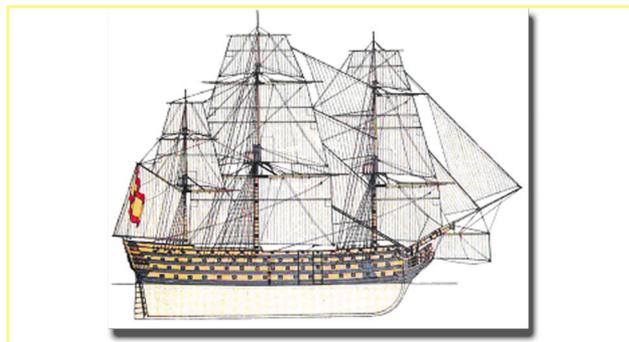


Figura 11. Esquema del navío Santísima Trinidad

## A MODO DE RESUMEN:

La biomasa es un recurso energético de gran interés sin embargo su utilización requiere:

Fuente próxima de producción de biomasa o facilidad de transporte a la instalación.

Estudio pormenorizado de costos y beneficios para determinar la viabilidad y rentabilidad de la instalación.

Se trata de una tecnología relativamente poco desarrollada, pero con posibilidades de futuro.

Entre sus ventajas (Sebastián, 2002) figura

- No contribución al efecto invernadero.
  - Contenidos en azufre prácticamente nulos, generalmente inferiores al 0,1%, en consecuencia no hay emisiones apreciables de dióxido de azufre.
  - Reducción de las emisiones generadas (hidrocarburos volátiles, partículas,  $\text{SO}_2$  y  $\text{CO}$ ).
  - La digestión anaerobia para tratar la biomasa residual húmeda además de anular su carga contaminante, reduce fuentes de olores molestos y elimina, casi en su totalidad, los gérmenes y los microorganismos patógenos del vertido. Los lodos resultantes del proceso de digestión anaerobia pueden ser utilizados como fertilizantes en la agricultura.
  - Contribuye a la diversificación energética
  - La implantación de cultivos energéticos en tierras abandonadas evita la erosión degradación del suelo.
- Entre sus inconvenientes y comparando con los combustibles de origen mineral
- Los rendimientos de las calderas de biomasa son algo inferiores.

<sup>3</sup> Interesante comparar las técnicas descritas por ambos autores

→ La biomasa posee menor densidad energética, o lo que es lo mismo, para conseguir la misma cantidad de energía es necesario utilizar más cantidad de recurso. Los sistemas de almacenamiento son, en general, mayores.

→ Los sistemas de alimentación de combustible y eliminación de cenizas son más complejos y requieren unos mayores costes de operación y mantenimiento, pero la progresiva automatización va minimizando este problema.

→ Los canales de distribución de la biomasa no está tan desarrollados (sólo aplicable en el caso de que los recursos no sean propios).

→ Muchos de estos recursos tienen elevados contenidos de humedad, lo que hace que en determinadas aplicaciones puede ser necesario un proceso previo de secado

→ La producción implica "costes ocultos" en energía previa, transporte e infraestructuras que pueden ser importantes,

## ADDENDA: ÚLTIMOS DATOS DE PRODUCCIÓN ELÉCTRICA EN ESPAÑA

Confirmando lo expuesto al principio de este trabajo y sólo con referencia a España, de acuerdo con datos de Foro Nuclear, durante el año 2003 la producción eléctrica aumentó un 6,5%, alcanzando un récord de producción de 262.249 millones de kWh. Esto se debe a un

incremento progresivo del consumo eléctrico que, en 2003, se situó en un 6% (228.104 millones de kWh), es decir, desde 1998, sólo cinco años, ha aumentado un 41%.

Los porcentajes de producción según fuentes energéticas son los siguientes: Hidráulica 14,7%; Minihidráulica 1,8%; Combustibles Fósiles 41,5%; Nuclear 23,6%; Cogeneración 12,2%; Eólica 4,4%; Solar 0,001% y Biomasa 1,4%.

Los datos hablan por si mismos

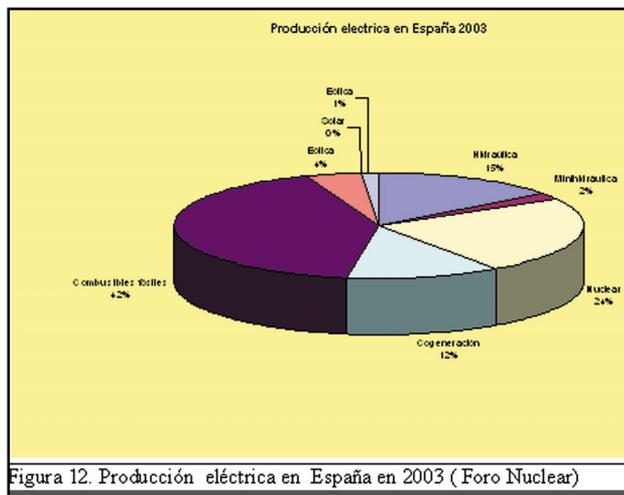


Figura 12. Producción eléctrica en España en 2003 (Foro Nuclear)

## REFERENCIAS

1. APQUA (2000): **Gestió dels residus. Guia docent.** Departament d'Enginyeria Química. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona ( Existe versión en español posterior)
2. BERRUGA FERNÁNDEZ, I., JASPE RODRÍGUEZ, A., SAN JOSÉ SERRÁN, I.(2000) :**Aprovechamiento de subproductos y tratamiento de los vertidos de quesería.** Consejería de economía y empleo. Comunidad de Madrid.
3. BLEVISS, D. WALTZER, P. (1990): **Energía para vehículos a motor.** Investigación y Ciencia. Nº170. Págs. 52-60
4. CALLEJA PARDO, G. (editor) (1999): **Introducción a la ingeniería química.** Síntesis Madrid.
5. Ciencia y empresa (1989): **Una copa para el camino.** Investigación y Ciencia. Nº 148. Págs. 39-40
6. COSTA LÓPEZ, J. Y COLS (1994): **Curso de ingeniería química: Introducción a los procesos, las operaciones unitarias y los fenómenos de transporte en la Ingeniería química.** Reverté. Madrid
7. COSTA NOVELLA Y COLS. (1983): **Ingeniería química 1. Conceptos generales.** Alhambra. Madrid
8. EMSLEY, J. (1998): **Moléculas de una exposición.** Península. Barcelona
9. FLOTATS, X., CAMPOS, E., BONMATÍ, A. (1997): **Aprovechamiento energético de recursos ganaderos.** Ser Curç d'enginyeria ambiental. Universitat de Lleida. Lérida.  
[www.udl.es/dept/macscat/Apunts.pdf](http://www.udl.es/dept/macscat/Apunts.pdf)
10. FORO NUCLEAR (2003): **Energía 2003.** Madrid  
<http://www.foronuclear.org>
11. GRAY CH. ALSON, J. (1990) **El metanol combusti-**

**ble alternativo.** Investigación y Ciencia. Nº 160. Págs. 78-85

12. HANSEN, J. (2004) **El calentamiento global.** Investigación y ciencia Nº 332. Págs.22-31.

13. MAC CABE W.I SMITH J.C (1981): **Operaciones básicas en ingeniería química.** Reverté. Barcelona.

14. MOREIRA, J. R Y GOLDEMBREG, J( 1981): **El programa de alcohol en Brasil.** Investigación y Ciencia. Nº 61. Págs. 96-104

15. PARIS, A. coordinador (INSTITUT CATALÀ D'ENERGÍA). (2003): **Eficiència energètica.** Nº 163. Barcelona

16. REDDY, A. GOLDEMBREG, J. (1990): **Energía para el mundo subdesarrollado** Investigación y Ciencia. Nº170. Págs. 62-71

17. RIECHE, A. (1967): **Química Orgánica Técnica.** Editorial Acribia. Zaragoza.

18. SEBASTIÁN, F., ROYO J. (2002): **La biomasa como fuente de energía renovable.** Fundación-Cierce.

<http://www.cps.unizar.es/~isf/adjuntos/bigen01.pdf>

19. THORPE, EDWARD (1922): **Enciclopedia De La Química Industrial.** Tomo IV. Editorial Labor. Barcelona.

20. VIAN ORTUÑO, A. (1980): **Introducción a la química industrial.** Alhambra. Madrid

21. WEINBERG, C. WILLIAMS, R. (1990): **Energía procedente del sol.** Investigación y Ciencia. Nº170. Págs. 104-113

22. WRIGHT, K. (1990): **¿Hacia dónde va el transporte?.** Investigación y Ciencia. Nº166. Págs. 54-63.