

POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO ECONOMICO DE LA BIOMASA RESIDUAL

José Frías San Román (*)

1. INTRODUCCION

A partir de la crisis del petróleo los países desarrollados comenzaron una búsqueda de nuevas fuentes de energía, capaces de asegurar el aprovisionamiento a precios asequibles de la enorme cantidad de energía necesaria para el funcionamiento de las modernas sociedades industriales.

Entre las alternativas consideradas, la agroenergética ocupó un lugar destacado en cuanto a perspectivas de futuro ya que sin duda resultaba atrayente la idea de conseguir una energía renovable a partir de la producción de biomasa vegetal cultivada en tierras marginales.

El prometedor futuro de la agroenergética resultó ser sin embargo un espejismo, ya que dados los elevados consumos energéticos de la agricultura actual procedentes de combustibles fósiles, la eficiencia energética de la producción de biomasa es muchas veces inferior a la unidad, es decir que se consume más energía para obtener una unidad de biomasa que la proporcionada por ésta. Pero aun en los casos en que la eficiencia energética sea superior a la unidad se trata simplemente de «cambiar», por ejemplo, 10 toneladas de petróleo (energía no renovable) por el equivalente a 12 toneladas de petróleo en alcohol obtenido a partir de la biomasa.

Así pues, el punto más débil para el desarrollo de la agroenergética lo constituye su dependencia de los combustibles fósiles, por lo que en definitiva el proceso resulta equivalente a un pequeño aumento del rendimiento energético del petróleo. Resultado sin duda análogo al que podría conseguirse aumentando la eficiencia de la com-

(*) Ingeniero Industrial y Estadístico de la Secretaría General de Economía y Planificación.

— Agricultura y Sociedad n.º 34 (Enero-Marzo 1985).

bustión en las calderas y motores en que se queman el petróleo y sus derivados, con la ventaja adicional que no habría que dedicar a la producción de energía una parte del suelo fértil y de los recursos hídricos, que como es sobradamente conocido son notablemente escasos en nuestro país.

Se puede afirmar que la producción de biomasa con fines energéticos no resulta en general aconsejable, sobre todo cuando existe una producción de biomasa residual de una considerable importancia, 143 millones de toneladas en 1984, que no es apenas aprovechada más que en una proporción ínfima y que constituye una fuente energética potencial de más de 18 millones de toneladas equivalentes de petróleo al año (1).

La biomasa residual producida como consecuencia de las actividades humanas presenta al igual que el resto de los residuos una doble vertiente, ya que además de constituir una fuente de energía y materiales casi completamente desaprovechada, supone un grave peligro para la biosfera cuando en su vertido o abandono incontrolado destruye o daña recursos naturales escasos como el agua o el suelo fértil mediante procesos de contaminación o eutrofización.

El balance energético de la obtención de la biomasa residual siempre es positivo, ya que al tratarse de una producción secundaria ligada inevitablemente a la producción principal que se desea obtener, ha de imputarsele un consumo nulo de energía y materiales.

La única limitación importante para la utilización de la biomasa residual viene determinada por la distancia entre el punto de generación y el de consumo, ya que al tratarse generalmente de sustancias con baja concentración energética, su utilización puede resultar demasiado onerosa tanto en términos energéticos como pecuniarios, debido al transporte y tratamiento necesarios.

La planificación de la utilización de la biomasa residual debería efectuarse teniendo en cuenta las zonas geográficas donde se genera en cantidad suficiente y existe un déficit energético a cubrir. Asimismo, para la realización de un proyecto concreto habría que incluir en el cálculo de viabilidad económico los daños ambientales que se evitarían, ya que no hay que olvidar que la legislación de la Europa Comunitaria referente a residuos entrará en vigor simultáneamente a la adhesión, con lo que la «eliminación controlada» de los residuos generados por las empresas en sus actividades supondrá un aumento de

(1) Estimaciones basadas en los datos contenidos en el estudio: «Aspectos económicos del aprovechamiento energético de la biomasa residual». ENADIMSA, Abril 1983.

los costes de producción que puede incluso conducir al cierre a numerosas empresas, a menos que se recurra a una política de subvenciones por parte de la Administración agravando el endémico problema del déficit público.

La planificación a nivel estatal y autonómico de las actividades de recuperación y reciclaje de los residuos en general y de la biomasa como componente más importante de ellos, parece la única solución lógica al problema de minimizar el coste de la «eliminación controlada» de los residuos, pudiendo en muchos casos conseguirse beneficios económicos, así como impulsar actividades fuertemente creadoras de puestos de trabajo y mejorar sustancialmente nuestra balanza exterior al disminuir las necesidades de importación de materias primas y energía, cuya factura supuso el pasado año una cantidad próxima a los dos billones de pesetas.

2. CLASIFICACION Y CUANTIFICACION DE LA BIOMASA RESIDUAL

La biomasa está constituida por el conjunto de compuestos orgánicos que han obtenido la energía necesaria para la formación de sus enlaces químicos a partir de la radiación solar mediante el proceso de fotosíntesis vegetal que posibilita la síntesis de moléculas de cadena larga a partir de moléculas de menor tamaño (CO_2 y H_2O).

Se suele denominar biomasa primaria a la constituida por la flora a partir de la cual se desarrolla la biomasa secundaria, fauna, mediante las correspondientes cadenas tróficas.

La biomasa residual es la fracción no aprovechada en los procesos productivos o de consumo efectuados por el hombre y por tanto sin valor monetario. Como constituyente fundamental de los residuos se encuentra englobada en la definición de éstos: «todo material en estado líquido, sólido o gaseoso que su poseedor destina al abandono» (2).

En la Europa comunitaria, de la que ya formamos parte, el tema de los residuos ha sido objeto de una atención creciente, sobre todo a

(2) Definición basada en la contenida en la Ley francesa de 15 de julio de 1975 sobre eliminación de desechos y recuperación de materiales. Esta definición implica por supuesto que una misma sustancia pueda en ocasiones considerarse subproducto = residuo con valor monetario, o bien desecho, porque las circunstancias geográficas de su generación u otras cualesquiera no le otorguen un «precio» suficiente que compense su reutilización o venta.

partir de 1972, mientras que en España en el curso de los últimos años se ha visto sumido en un patente abandono. Las carencias de normativa jurídica y del marco institucional necesario unidas a la dispersión de competencias y responsabilidades administrativas configuran un panorama desolador, del que es un fiel reflejo la falta de estadísticas fiables y homogéneas sobre el tema (3).

Según el sector donde se genera podemos clasificar en cinco grandes grupos la biomasa residual producida en 1984.

Residuos agrícolas	25 millones de t/año
Residuos ganaderos	83 millones de t/año
Residuos forestales	14 millones de t/año
Residuos sólidos urbanos	12 millones de t/año
Residuos de lodos urbanos	9 millones de t/año
<hr/>	
Total Biomasa residual	143 millones de t/año (4)

Los residuos agrícolas están compuestos de:

Cereales de grano: trigo, cebada, maíz, etc.	20,8 millones de t/año
Cultivos leñosos y frutales: olivo, viñedo, manzano, etc.	3,4 millones de t/año
Cultivos industriales: caña de azúcar, algodón, etc.	0,8 millones de t/año
<hr/>	
Total residuos agrícolas	25,0 millones de t/año

Entre los residuos ganaderos se pueden distinguir los procedentes:

De animal vivo: estiércol, camas, etc. . .	60 millones de t/año
De animal muerto: mataderos	23 millones de t/año
<hr/>	
Total residuos ganaderos	83 millones de t/año

(3) El estudio ya citado «Aspectos económicos del aprovechamiento energético de la biomasa residual» realizado por ENADIMSA contiene una serie de estimaciones sobre la biomasa residual generada anualmente en España que presentan un grado de verosimilitud razonable y constituye el trabajo global más amplio realizado sobre el tema. Por ello se utilizan dichas cifras como base del análisis realizado en este artículo.

(4) Entre los residuos industriales, que suponen alrededor de 10 millones de t anuales, existe una fracción importante de biomasa residual, pero se ha preferido no incluirla en el cómputo total por la actual penuria estadística sobre los residuos industriales, que no permiten una estimación fácil por su naturaleza compleja y heterogénea.

Los desechos agrícola-ganaderos son en principio fácilmente reintegrables al ciclo natural por tratarse fundamentalmente de fibras vegetales y deposiciones animales. El problema surge en la concentración de granjas de cría y mataderos de gran capacidad, ya que a pesar de existir las técnicas adecuadas desde hace muchas décadas para el aprovechamiento energético de los residuos por medio de la metanización o bien como fuente de fertilidad a través de la fabricación del compost, que podría paliar el grave problema de desertización del suelo, no se encuentra generalizado su empleo, siendo por el contrario origen de graves problemas locales de contaminación.

Los 14 millones de t de residuos forestales proceden de las operaciones realizadas sobre la madera, bien en el mismo monte como restos de las operaciones de limpieza, poda y clareos o bien como desechos procedentes del corte y elaboración de la madera. Se pueden considerar los más prometedores desde un punto de vista de aprovechamiento energético, ya que este puede ser realizado por combustión simple en cualquier tipo de calderas realizando unas mínimas modificaciones y consiguiéndose una drástica reducción de las emisiones de SO_2 respecto a la combustión de carbón (5).

Otras ventajas adicionales de la utilización de residuos forestales vienen dadas, en primer lugar por tratarse de actividades de utilización intensiva de mano de obra con lo que se puede obtener una relación ventajosa inversión/puestos de trabajo creados y en segundo término por la disminución del riesgo de incendios forestales como consecuencia de la limpieza de los bosques (6).

Los residuos sólidos urbanos (R.S.U.) están compuestos en su mayor parte por desechos relativamente homogéneos (residuos orgánicos, papel, plástico, metales y vidrio) y pueden aprovecharse con relativa facilidad por medio de sistemas de recogida diferenciada y estaciones clasificadoras (7).

(5) En los residuos forestales el azufre se encuentra solamente en las hojas y partes verdes, que no resultan apropiadas como combustible y que deben dejarse en el bosque por contener la mayor parte de los nutrientes necesarios para el mantenimiento de la fertilidad del suelo.

(6) En la década 1974-83 los incendios forestales originaron pérdidas estimadas por ICONA en 220.599 millones de ptas. (ICONA Memoria 1983).

(7) El sistema de recogida diferenciada presenta mayores ventajas ya que evita tener que recurrir a costosas estaciones clasificadoras. El éxito de este sistema se basa fundamentalmente en la colaboración ciudadana por lo que las inversiones en instalaciones clasificadoras pueden destinarse alternativamente a campañas educativas y de estímulo a la participación popular en los programas de actuación.

Dentro de los R.S.U. pueden considerarse cuatro fracciones:

- Fracción inerte: Metales, vidrios, etc.
- Fracción fermentable: Constituida por los desechos orgánicos de la alimentación.
- Fracción combustible: Papel, cartón, plásticos, textiles, etc.
- Fracción húmeda: Contenido en agua.

No existen estimaciones fiables que permitan separar los 12 millones de t/año en las fracciones señaladas. Además, los R.S.U. presentan una gran variabilidad en su composición, estacionalmente y por zonas geográficas.

El vertido incontrolado de R.S.U. supone el 48% en los municipios mayores de 5.000 habitantes que son los que disponen de sistemas de recogida organizada, en flagrante contradicción con la Europa comunitaria donde no se realizan vertidos incontrolados desde hace varias décadas.

Los lodos procedentes de los sistemas de depuración de aguas urbanas residuales constituyen también un problema no resuelto a pesar de que por su gran riqueza en materia orgánica pueden ser aprovechados como fuente energética, biogás, o fertilizantes mediante el compostaje al igual que la fracción fermentable de los residuos sólidos urbanos.

3. EVALUACION ENERGETICA DE LA BIOMASA RESIDUAL

En el cuadro nº 1 se efectúa una valoración energética y económica de la biomasa residual generada en 1984. Como ya se ha señalado la falta de datos fiables obliga a trabajar con estimaciones. No obstante se puede afirmar que las valoraciones así calculadas constituyen un buen indicador de los *órdenes de magnitud* de los recursos energéticos contenidos en la biomasa residual y ponen de manifiesto las enormes posibilidades no aprovechadas actualmente más que de forma marginal.

Destacan en el citado cuadro los potenciales energéticos estimados de los residuos agrícolas: 8,84 millones de toneladas equivalentes de petróleo, que suponen nada menos que el 21,3% de las importaciones netas de petróleo en 1984. Entre estos residuos agrícolas la aportación fundamental está constituida por los desechos procedentes de los cereales de grano que representan un potencial energético de 7,1 millones de tep./año.

En segundo lugar desde el punto de vista energético figuran los residuos forestales con 7,0 millones de tep./año, o sea un 16,8% del total de las importaciones netas de petróleo de dicho año.

Los potenciales energéticos del resto: residuos y lodos urbanos y residuos ganaderos presentan cifras más modestas, lo que no significa que su aprovechamiento no sea interesante, ya que presentan características de concentración geográfica y peligrosidad de contaminación ambiental en caso de vertido incontrolado que hacen aconsejable incluirlos en cualquier planificación global de aprovechamiento de residuos.

CUADRO N.º 1

Evaluación energética y económica de la biomasa residual en 1984

	Generación Mt/año	M t e p/ año (1)	Porcentaje so- bre importacio- nes netas de petróleo	Valor en millo- nes de ptas. del petróleo equivalente (2)
R. Forestales	14	7,00	16,8 %	232.340,5
R. Urbanos				
R.S.U.	12	1,65	4,0 %	54.766,0
Lodos de depuradora	9	0,06	0,1 %	1.991,5
R. Agrícolas	25	8,84	21,3 %	293.412,9
R. Ganaderos				
Cría	60	1,13	2,7 %	37.506,4
Mataderos	23	0,01	0,02%	331,9
Total	143	18,69	44,9 %	620.349,2

(1) En millones de t e p (toneladas de petróleo equivalente).

(2) Precio medio del barril de crudo en 1984: 28,03 dólares USA. Cambio efectivo en 1984 1 dólar = 160,76 ptas.

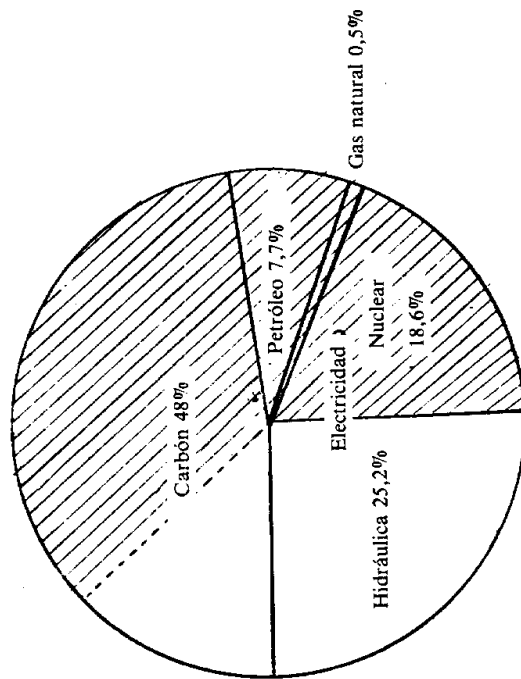
Fuente: Elaboración propia sobre datos de generación de residuos en 1984 estimados por ENADIMSA.

En el gráfico n.º 1 se representan las estructuras porcentuales del consumo y la producción interior bruta de energía en España durante 1984 a las que se han superpuesto unas zonas rayadas correspondientes a los porcentajes que representa la energía potencialmente obtenible a partir de la biomasa residual respecto a la producción y el consumo total.

Los resultados son bastante expresivos: respecto a la producción, la energía procedente de la biomasa residual sería suficiente para sustituir toda la eléctrica de origen nuclear, gas natural, petróleo y casi la mitad de la procedente del carbón. En cuanto al consumo, la ener-

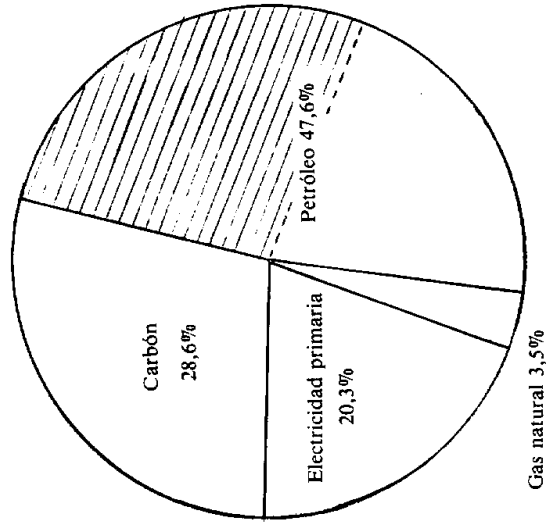
GRAFICO N: 1

PRODUCCION INTERIOR BRUTA DE ENERGIA PRIMARIA EN ESPAÑA DURANTE 1984



% de energía obtenible a partir de la biomasa residual respecto a la producción interior 61,7%

CONSUMO INTERIOR BRUTO DE ENERGIA PRIMARIA EN ESPAÑA DURANTE 1984



% de energía obtenible a partir de la biomasa residual respecto al consumo interior 27,3%

gía extraída de los residuos podría sustituir a más de la mitad del petróleo consumido.

Hay que recordar nuevamente que, en general, la calidad energética de la biomasa residual es inferior a la de los combustibles convencionales por ser menor su densidad energética, lo que constituye una limitación importante cuando los centros de consumo están bastante alejados de los de generación. No obstante y a pesar de la posible imprecisión de las cifras manejadas y a que éstas constituyen unos máximos teóricos, de los que sólo será posible la utilización práctica de una determinada fracción, es evidente que existe un margen de maniobra considerable para el aprovechamiento energético de la biomasa residual, y que tiene la suficiente entidad económica para ser incluido como un factor importante en la planificación económica en general y la energética en particular, trascendiendo del ámbito puramente conservacionista del medio ambiente en el que tradicionalmente se ha venido centrando la atención hacia los residuos y que ha llevado a la opinión pública, incluidas la empresarial y la Administración, a considerar el tema de los residuos sólo en su aspecto negativo debido a lo costes adicionales que supone su eliminación controlada.

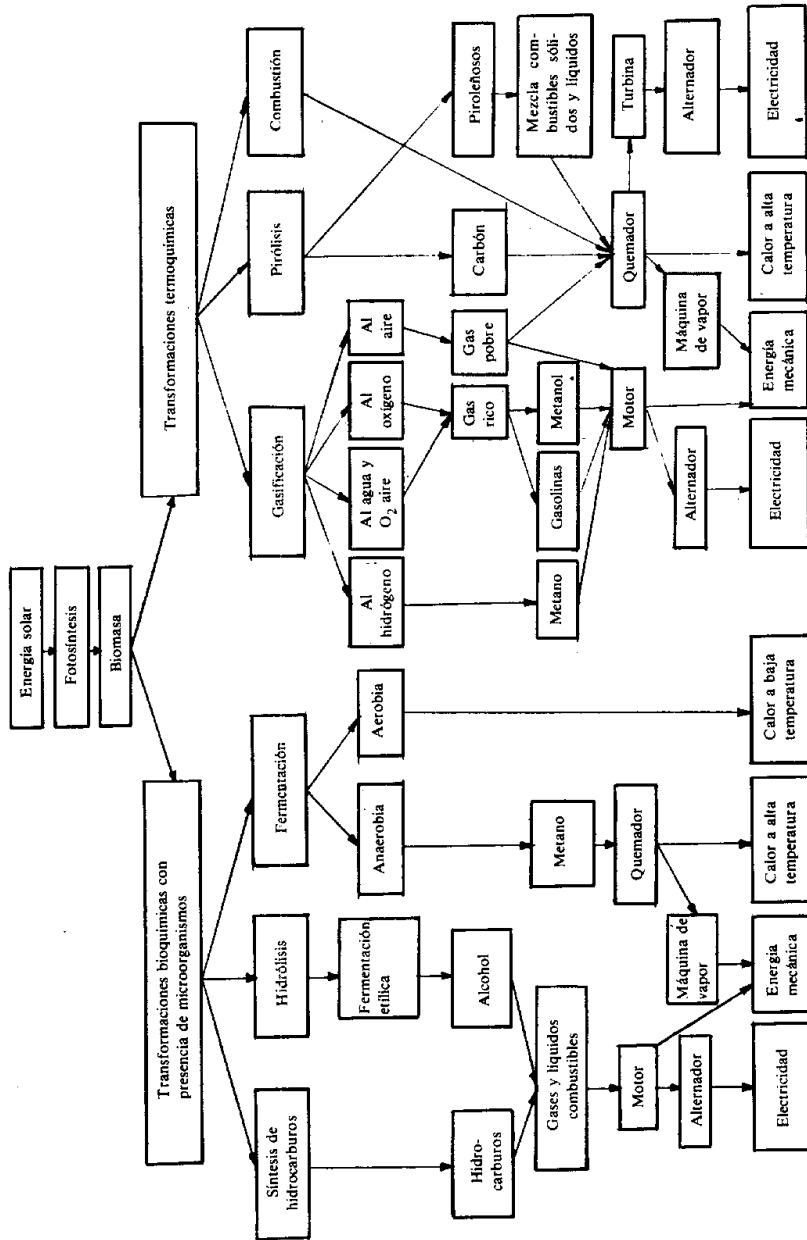
4. TECNICAS DE CONVERSION ENERGETICA DE LA BIOMASA RESIDUAL

En primer lugar hay que señalar que las técnicas de aprovechamiento energético de la biomasa residual son en su mayoría extremadamente sencillas, y se conocen y utilizan en bastantes casos, desde épocas remotas. Esta característica, sin duda enormemente ventajosa para su uso generalizado, ha podido a su vez ser un factor negativo para su inclusión entre los llamados «sectores con futuro» en los que se confía para dinamizar la economía del país. Parece que algunos economistas, acostumbrados a ignorar en sus análisis monetarios tanto los residuos generados como los recursos naturales utilizados por el sistema productivo, se sienten más deslumbrados por la revolución microelectrónica y las denominadas tecnologías punta, que por las posibilidades de aprovechamiento de los residuos.

Los procesos de obtención de energía a partir de la biomasa consisten en la inversión por medios artificiales del proceso de fotosíntesis. Se trata simplemente de romper los enlaces macromoleculares y liberar así la energía contenida en ellos obteniéndose a su vez moléculas de menor tamaño.

En el esquema n.º 1 se contemplan los diferentes procesos de ob-

ESQUEMA N° 1
OBTENCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE LA BIOMASA



tención de energía a partir de la biomasa. Los procesos utilizados se dividen en dos tipos principales:

Las *transformaciones bioquímicas* con presencia de microorganismos, entre las que se encuentran la fermentación etílica para la obtención de etanol, la fermentación anaerobia con producción de gas metano y la fermentación aerobia o compostaje.

Las *transformaciones termoquímicas* se diferencian entre ellas por la cantidad de oxígeno utilizado en cada proceso. La más sencilla e importante es la combustión completa con exceso de oxígeno. La pirólisis consiste en la obtención de un combustible sólido: carbón vegetal.

Los procesos de gasificación son combustiones incompletas en las que se producen gases combustibles, que pueden utilizarse directamente o como materia prima para la obtención de metanol, amoníaco, gasolinas, etc... Según el medio gasificante empleado varían los productos obtenidos:

- Al aire: Gas pobre de bajo contenido energético.
- Al oxígeno: Gas de contenido energético medio. Se suele utilizar para obtener metanol.
- Al agua y aire u oxígeno: Gas de síntesis que se puede emplear para la obtención de amoníaco, metanol, gasolinas, etc.
- Al hidrógeno: Gas de alto contenido energético que puede utilizarse como sustituto del gas natural.

El proceso de aprovechamiento energético más sencillo es la combustión completa (incineración) y resulta a su vez el más aconsejable en el caso de los residuos forestales, agrícolas y fracción combustible de los residuos sólidos urbanos.

El factor limitante de este proceso es la humedad de la biomasa utilizada, el rendimiento es máximo utilizando materiales secos, pero afortunadamente en la mayor parte de nuestro país no es un problema muy grave ya que disfrutamos de una insolación más que suficiente para lograr en un plazo de tiempo razonable un secado natural satisfactorio.

Cuando resulte aconsejable efectuar algún tratamiento de la biomasa residual para aumentar su densidad energética, se puede optar por llevar a cabo un simple proceso físico previo de aglomeración a base de molienda y prensado para obtener un producto más concentrado (pellets o similares), o bien recurrir a un proceso de pirólisis, utilizado desde hace algunos milenios para la obtención de carbón vegetal a partir de la madera y que posibilitó la aparición de la metalurgia por su elevada concentración energética (8.000 Kcal/Kg).

La pirólisis produce alrededor de un 30-35% de carbón, un 25-30% de gases combustibles y un 25-30% de líquidos orgánicos complejos. Con los métodos modernos puede obtenerse además del carbón, alcohol metílico a partir de los subproductos gaseosos, con lo que se aumenta el rendimiento del proceso. Sin embargo hay que destacar que la obtención del carbón vegetal a partir de residuos forestales se efectúa sin ningún tipo de mecanismo ni tecnología (sólo se utilizan los propios residuos y un poco de tierra con lo que la maquinaria necesaria puede quedar reducida a una pala) por lo que es posible su realización en pleno monte y su simplicidad puede compensar la no utilización de los subproductos líquidos y gaseosos. No obstante existen hace algún tiempo equipos transportables que permiten el aprovechamiento total.

No es objeto de este artículo descender a la caústica que surge al recaer a nivel de proyecto y comparar las distintas formas de aprovechamiento para optar por la que se estime más oportuna en cada caso. Sólo cabe destacar en general el dilema planteado entre la energía y materiales gastados en los procesos de concentración y mejora de calidad del combustible y aquella que requiere el transporte y manejo de las biomásas en su calidad originaria. Es por ello que se propone como criterio básico la consideración de la eficiencia energética del proceso global, tal y como se señala en el apartado siguiente para el caso de los residuos forestales.

5. ANALISIS DE COSTES Y EMPLEO DE MANO DE OBRA EN EL CASO DE LOS RESIDUOS FORESTALES

Los residuos forestales son los de más fácil aprovechamiento energético y a su vez los que precisan una mayor cantidad de mano de obra para su recogida, dadas las especiales características orográficas de nuestros montes que dificultan la utilización intensiva de maquinaria.

El proceso de utilización de residuos forestales consta, al menos de tres etapas:

1º— Recogida manual de los residuos hasta la vía de saca o camino forestal. Se puede estimar entre 400 y 500 kg. la producción por hombre/día.

2º— Recogida mecánica y astillado por maquinaria remolcada por tractor. Las máquinas astilladoras existentes en España tienen rendimientos entre 0,7 y 10 t/hora con lo que serían necesarios según el tipo de astilladora entre 12 y 160 peones por máquina.

3º— Transporte al almacén o centro de consumo. Las diferentes estimaciones del costo del Kg. de astilla situado en el centro de consumo, situado a distancia inferior a 50 Km, oscilan entre 5 y 8 ptas. Como se puede considerar que 3 Kg. de astilla sustituyen a 1 Kg. de fuel, el ahorro en combustible oscila entre un 50% y un 30% (8).

En un proyecto desarrollado por ICONA en la provincia de Palencia sobre el aprovechamiento como combustible industrial de los residuos procedentes de las primeras entresacas y podas en repoblaciones de coníferas se han calculado detalladamente los costes económicos así como el balance energético del proceso. (Poder calorífico superior de la astilla fina y seca con 10% de humedad 4.837 Kcal/Kg.)

A continuación se presenta, a título de ejemplo, un resumen de los resultados obtenidos en dicho proyecto (9):

1ª fase: Recogida manual de los residuos y arrastre con tractor hasta cargadero en monte: 1.200 ptas/t. Consumo energía: 22.800 Kcal/t.

2ª fase: Astillado en monte y transporte a planta: 2.550 ptas/t. Consumo energía 35.150 Kcal/t.

Coste astilla verde de tamaño entre 5 y 10 cm.: 3.750 ptas/t.

Coste astilla seca: 4.500 ptas./t.

3ª fase: Coste del secado y molienda para obtener astilla de tamaño inferior a 8 mm. 2.381 ptas/t.

Consumo energía en planta transformadora: 40.870 Kcal/t.

Coste total astilla fina y seca en planta transformadora: 7.031 ptas/t.

4ª fase: Transporte a industria (50 Km.), inyección a horno y transporte interior: 34.070 Kcal/t.

(8) «Innovación tecnológica en maquinaria de recogida de residuos agrícolas y forestales. Estudios de costos». Pérez-Nievas, Carlos. Comunicación presentada al II Congreso Nacional sobre recuperación de recursos de los residuos, tecnologías. Soria 1984.

(9) Resumen elaborado a partir de los datos que figuran en la ponencia «Residuos forestales» presentada por D. Javier Ubeda en el II Congreso Nacional sobre recuperación de recursos de los residuos, tecnologías. Soria 1984.

Balance energético en Kcal/t

	A: Energía producida de carácter renovable	B: Energía consumida de procedencia fósil	C = A/B eficiencia energética
Astilla gruesa fase 1 y 2	4.030.000	57.950	69,5
Astilla fina y seca fases 1, 2 y 3	4.837.000	98.820	48,9
Astilla consumida en industria distante 50 Km. de la planta transformadora			
gruesa	4.030.000	98.834	40,8
fina y seca	4.837.000	132.890	36,4

Los resultados son suficientemente expresivos de lo ventajoso de la utilización de los residuos forestales, ya que se pueden llegar a obtener 69,5 Kcal procedentes de combustibles renovables por cada Kcal. consumida procedente de combustibles tradicionales (no renovables, excepto la energía hidroeléctrica) y a un coste económico de la Kcal inferior al 50% de la obtenida del gas-oil.

Se puede calcular de forma aproximada la relación que debe existir entre los diferentes consumos energéticos y el factor de aumento de la energía producida por t de astillas sometidas a tratamiento de secado y astillado fino para que este resulte rentable desde un punto de vista energético (10).

- (10) Siendo f: factor de aumento de la energía obtenible
 E_{12} : energía producida por astillas sin tratamiento
 C_{12} : consumo energético en las fases 1 y 2
 C_3 : idem en la 3
 C_4 : idem en la 4
 Se puede establecer la relación

$$\frac{E_{12} \cdot f}{C_{12} + C_3 + \frac{C_4}{f}} > \frac{E_{12}}{C_{12} + C_4}$$

(Se hace el supuesto de que los costes de transporte al centro de consumo y carga de horno C_4 disminuyen en la misma proporción f en que aumenta la densidad energética)

Siendo el primer término de la desigualdad la eficiencia energética en caso de tratamiento en planta y el segundo sin tratamiento. De ahí se obtiene

$$f > 1 + \frac{C_3}{C_{12} + C_4}$$

En cada caso particular habrá que considerar además otros criterios para decidir entre la utilización de astillas gruesas o finas y con menos contenido de humedad, como pueden ser el menor coste de transformación del quemador para menor tamaño de combustible, alimentación automática del horno, etc.

A título meramente indicativo se puede efectuar un cálculo aproximado de la cifra de puestos de trabajo que requerirían las labores de recogida de residuos forestales que pueden dar una idea de su orden de magnitud:

Total de residuos forestales generados: 14 millones de t/año.

Hipótesis:

- a) Se recoge el 50% del total de residuos.
- b) Un peón recoge 200 t/año (media de las distintas estimaciones existentes).
- c) Personal necesario para las restantes operaciones: tractoristas, conductores, vigilantes, tratamiento en planta, etc.

20% sobre el total de peones

$$\text{N}^{\circ} \text{ de peones necesario} = \frac{7.000.000 \text{ t}}{200 \text{ t/peón}} = 35.000 \text{ peones}$$

$$\text{Resto del personal} = 35.000 \times 0,20 = 7.000$$

$$\text{Total empleo directo} = 42.000 \text{ personas}$$

El empleo inducido es difícil de estimar por tratarse de actividades no ejercidas de forma generalizada, pero podría considerarse en principio una cifra equivalente al empleo directo generado, repartida en personal de comercialización, transporte a industrias, transformación de calderas, etc.

El coste de la inversión por puesto de trabajo resulta extraordinariamente bajo. Para una producción de 10.000 t/año la maquinaria astilladora en monte y el equipo puede estimarse en 35 millones de ptas (11) con lo que se obtendrían entre 25 y 50 puestos de trabajo de carácter permanente.

Lo que significa que el incremento de energía obtenible expresado en tanto por uno debe ser superior a la relación existente entre los costes energéticos del tratamiento y los otros costes energéticos necesarios para la utilización de la astilla sin tratamiento. Esto será más probable que ocurra en los supuestos en que los centros de consumo estén bastante alejados de los de generación de residuos y por tanto C_4 sea muy elevado. En el ejemplo analizado la eficiencia energética disminuye ligeramente con el tratamiento.

(11) «Beneficios derivados de la aplicación de una política bioenergética de conservación del Medio Ambiente». Lorenzo Elvira, J.R., comunicación presentada al II Congreso Nacional sobre recuperación de recursos de los residuos, tecnologías. Soria 1984.

A la hora de analizar la rentabilidad económica de un proyecto concreto, sin duda hay que considerar el nivel de paro existente, subvencionado principalmente a fondo perdido y los beneficios ambientales que puede producir la utilización de la biomasa residual renovable.

Los países más avanzados, conscientes de sus ventajas, desarrollan una política de incremento en la utilización de los residuos forestales. En Estados Unidos existen más de 80 centrales térmicas de producción eléctrica a partir de astillas, y la F.A.O. estima que en 1995 consumirá energía procedente de biomasa, principalmente forestal, equivalente a un 43% de su consumo de petróleo. Francia pretende llegar en el año 2.000 a sustituir el 20% de su consumo de petróleo por residuos forestales, mientras Suecia intenta conseguir entre el 35-40%.

5. CONCLUSIONES

La biomasa residual constituye una fuente de aprovisionamiento de materiales y energía renovable, apenas aprovechada en la actualidad, de una importancia económica considerable. Su utilización presenta la ventaja adicional de evitar o disminuir daños medioambientales.

Entre los procesos de aprovechamiento de la biomasa destacan la biometanización de residuos y la fermentación aerobia para obtener biocompost de los residuos ganaderos y lodos de depuradoras urbanas como métodos más adecuados para reducir un tipo de contaminación potencialmente muy peligrosa por su naturaleza y concentración geográfica.

Desde el punto de vista energético, el aprovechamiento de los residuos forestales y agrícolas es el más importante, representan el 84,7% del potencial energético total de la biomasa residual, y también es el técnicamente más sencillo, ya que el proceso de conversión más aconsejable es la simple combustión, realizable en las mismas calderas y quemadores que utilizan en la actualidad combustibles fósiles, efectuando unas mínimas modificaciones. Los estudios económicos realizados en las plantas y proyectos pilotos confirman su viabilidad, aunque hay que repetir que la planificación de su uso debe estar íntimamente ligada al territorio, partiendo de la existencia de unas necesidades energéticas a cubrir y unas cantidades y calidades de la biomasa residual suficientes, para lo cual es preciso disponer de datos estadísticos fiables.

El importante ahorro de divisas y la gran cantidad de puestos de trabajo que podrían conseguirse, así como el objetivo de alinearse con las políticas comunitarias y del resto de los países industrialmente avanzados deben de constituir acicates suficientes para que la Administración cubra los vacíos jurídicos, institucionales y estadísticos existentes en la actualidad e impulse decididamente el aprovechamiento generalizado de la biomasa residual.

RESUMEN

El aprovechamiento económico de la biomasa residual presenta desde hace bastantes años una considerable y creciente importancia en la mayoría de los países desarrollados, mientras que en España apenas se le ha dedicado atención.

En este artículo se intenta destacar la magnitud de los recursos existentes en este campo en nuestro país, así como la facilidad de aprovechamiento en muchos casos debido a la sencillez de las técnicas a utilizar, poniéndose de relieve el despilfarro económico de energía y materiales que supone su abandono, además de los daños medioambientales que se producen y a los que la adaptación a las más estrictas normativas comunitarias exigirá buscar una solución adecuada.

La utilización de los residuos forestales se presenta como ejemplo sumamente atractivo en sus aspectos: económico, medioambiental, energético y de actividad con empleo intensivo de mano de obra permanente con bajo coste de inversión.

RÉSUMÉ

L'utilisation économique de la biomasse résiduaire a depuis de nombreuses années une importance considérable et croissante dans la majorité des pays développés, tandis qu'en Espagne on lui a très peu prêté attention.

Dans cet article on essaie de souligner l'importance des ressources existant dans ce champ dans notre pays, ainsi que la facilité d'utilisation dans beaucoup de cas grâce à la simplicité des techniques à utiliser, en mettant en relief le gaspillage économique d'énergie et de matériaux que suppose leur abandon en plus des dégâts environnementaux qui se produisent et dont l'adaptation aux plus strictes normes communaires exigera la recherche d'une solution appropriée.

L'utilisation des résidus forestiers se présente comme un exemple très attrayant dans ses aspects: économique, d'environnement énergétique et d'activité avec utilisation intensive de main d'oeuvre permanente avec un faible coût d'investissement.

SUMMARY

The economic exploitation of biomass residue has been practised with considerable and growing importance in the majority of developed countries for quite a number of years, while the idea has yet to generate any real interest in Spain.

The article attempts to point out the large reserve of resources in this field which exist in our country, as well as the ease of their exploitation, in many cases due to the simple method of techniques employed. The economic waste of energy and materials which this neglect supposes, in addition to the environmental damage that it causes, is quite clearly evidenced here. However, with the implementing of the far stricter rules of the Common Market, more adequate solutions will be in demand.

The use of forest debris is given as a most effective example in various aspects: economically, environmentally, conservation of energy, as well as the large scale, year-round employment that this would mean at a low investment cost.

