

JESÚS SUÁREZ MOYA
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD
VICERRECTOR DE PROGRAMACIÓN E INVERSIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRARIA
INGENIERÍA AGROFORESTAL
(ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIERÍA AGRARIA)

AGRONOMÍA Y FUENTES ENERGÉTICAS

LECCIÓN INAUGURAL
DEL CURSO ACADÉMICO
1998-99



UNIVERSIDAD DE LEÓN
1998

JESÚS SUÁREZ MOYA
CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD
VICERRECTOR DE PROGRAMACIÓN E INVERSIONES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRARIA
INGENIERÍA AGROFORESTAL
(ESCUELA SUPERIOR Y TÉCNICA DE INGENIERÍA AGRARIA)

AGRONOMÍA Y FUENTES ENERGÉTICAS

LECCIÓN INAUGURAL
DEL CURSO ACADÉMICO
1998-99



UNIVERSIDAD DE LEÓN
1998

511495893
c 12202381

UNIVERSIDAD DE LEÓN



7901090981

ÍNDICE

1.- Introducción.	7
2.- ¿Qué es la energía? Distintas acepciones de la energía.	8
3.- La Agroenergía a través de la historia.	12
4.- Necesidades energéticas.	16
5.- Fuentes de energía y transformaciones energéticas.	20
6.- Las plantas verdes como fuente de energía. Fotosíntesis.	23
7.- La biomasa como fuente de energía.	29
8.- Relación entre la energía y el medio ambiente.	33
9.- La energía en nuestros tiempos. Perspectivas de futuro.	38
10.- Bibliografía.	45
11.- Anexo de unidades.	46

LAS PLANTAS VERDES COMO FUENTE DE ENERGÍA

1. Introducción.

Excmo. Sr. Rector Magnífico, Excmo. Sr. Presidente del Consejo Social, Excmas. e Ilmas. Autoridades, queridos compañeros universitarios, señoras y señores:

La fortuna me ha deparado la ocasión, de la que me congratulo, que a algunos docentes se nos presenta al tener la oportunidad de poder dirigir esta Primera Lección de Curso 1998-99 en mi Universidad.

Esto que es un honor para mí, puedo asegurarles que me ha costado muchos sudores, entre otras razones porque ha sido el mes de agosto el que me ha permitido escribir estas cuartillas. Parfraseando unas palabras de nuestro rector en alguna toma de posesión, cuando dice que no hay *cargo* sin *carga*, también yo podría decir hoy que no hay *honor* sin *sudor*.

El tema de mi intervención no podía ser otro que las plantas, que son la base de mi profesión, Ingeniero Agrónomo, aunque dentro de ésta mis caminos se han dirigido hacia el campo de la Ingeniería, que parece estar menos relacionada que otras áreas con la agronomía, pero no es así, ya que la materia prima de todo agrónomo siempre es la misma, es decir, las plantas.

Mi especialidad es la Electrotecnia y dentro de ella he considerado interesante enfocar mi lección hacia las Fuentes de Energía y en particular, a aquéllas que tienen como base las plantas verdes, porque estoy seguro de que este tema se puede hacer más ameno y atractivo, con el fin de no aburrir a la concurrencia a este acto, que es uno de los objetivos que me he propuesto.

La obtención de energía a partir de las plantas verdes se estudia bajo el nombre de **Agroenergética**, nombre debido a Jesús Fernández, que considero es adecuado y justificado. Según dice él mismo (Fernández, J. 1980), si los cultivos dedicados a la

alimentación son **Agroalimentarios** y los cultivos dedicados a la industria se denominan **Agroindustriales**, ¿qué otro nombre más adecuado se podría dar a aquellas plantas cuyo fin es la obtención de energía?

Una vez justificado el porqué del tema elegido, continuaré haciendo una breve introducción histórica de la energía, de su procedencia y de su utilización.

2. ¿Qué es la energía?. Distintas acepciones de la energía

Hasta el año 1782 el Diccionario de Autoridades de la Real Academia definía la energía como: *La fuerza que encierran en sí algunas palabras, preñadas y dichas con cierto espíritu, que nos publican lo que callan* (es lo que hoy se denomina **énfasis**).

La palabra griega *Energía* significa fuerza en acción y deriva de otra griega, *Ergon*, que significa obra.

En ciencias naturales se entiende por energía la capacidad de trabajo. Arquímedes refiriéndose a la energía decía: Dadme un punto de apoyo y levantaré el mundo. Ostwald Guillermo (1895) admite que la energía es la única causa de todos los fenómenos tanto internos como externos, en oposición a Descartes que tomaba la materia como tal causa.

Hoy día se define la energía como *la capacidad para realizar un trabajo*. Su medida viene dada por la cantidad de trabajo que se puede desarrollar. Se puede clasificar en: Energía latente o potencial y energía cinética o actual ($m \cdot v^2$).

James Watt (1770) ideó el concepto de caballo de vapor (CV, HP) como una unidad para medir la energía por unidad de tiempo, potencia.

$1 \text{ HP} = 75 \text{ kgm} \cdot \text{s}^{-1}$ (era la cantidad de agua que eran capaces de elevar 75 caballos a 1 m de altura en 1 s.) [$1 \text{ CV} = (75 \text{ kgm} \cdot \text{s}^{-1}) \times (9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}) = 736 \text{ W}$].

La energía también se puede presentar en forma de calor, por lo que otra unidad es la caloría (cal) (cantidad de calor necesaria para

aumentar 1°C la temperatura de 1 g de agua) o su múltiplo la kcal. La kilocaloría (kcal) también puede definirse como el valor nutritivo de los alimentos ($800 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ es la energía producida por patatas cocidas y peladas, $9.200 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ es la energía producida por la grasa de cerdo pura).

Para unificar las unidades fue impuesto el sistema CGS (centímetro, gramo, segundo) por el Congreso de Electricistas de París en 1881. Hoy día el sistema de unidades más utilizado es el sistema internacional (S.I.) en el que la unidad fundamental de energía es el Julio (J) y la de potencia el vatio (W). Como son unidades pequeñas, a veces resultan incómodas para trabajar y se han adoptado como unidades muy generalizadas múltiplos de las anteriores como el kilovatio hora (kW.h), la kilocaloría (kcal), la termia, la tonelada equivalente de carbón (tec), la tonelada equivalente de petróleo (tep), etc.

Julio Roberto Mayer formuló la ley de conservación de la energía en el año 1846. Fue el primero en determinar el equivalente mecánico del calor y enunció la teoría de que la energía no se crea ni se destruye, solamente se redistribuye.

Zischka (1961) da la definición de trabajo como "El producto de la fuerza por el camino" que es la base del descubrimiento más transcendental realizado en la edad de la fuerza muscular, descubrimiento comparable al del fuego, la rueda o la palanca.

Harold Hartley (1964) señala que la energía está directamente relacionada con el bienestar. Así, una persona que en EE.UU que tiene un consumo energético entre 0,2 y 0,5 tec poseía una renta *per capita* de menos de 200 \$ sin embargo aquellas cuyo consumo energético era de 5 tec la renta subía hasta los 1.000 \$.

Leslie A. White de la Universidad de Michigan sugirió que la evolución cultural podría medirse en términos de aumento de la energía manipulada *per capita* y año. Durante los últimos 4 siglos, la utilización productiva de la energía ha desempeñado un papel fundamental en la configuración de la ciencia y de la cultura.

Ortega y Gasset decía que una gran proporción del contenido de nuestra cultura procede de la ciencia. Haciendo un fácil silogismo podríamos afirmar que la ciencia también se puede medir en términos de aumento energético.

El flujo de energía en las sociedades humanas está regulado por la pequeña fracción de energía utilizada en el flujo de la información. La energía y la información están relacionadas a nivel mucho más importante. "*Scientia potestas est*", decían los romanos.

La era de la cuantificación de la información, a la vez precisa y general, nació en el documento de Claude E. Shannon, publicado en 1948, "The mathematical theory of communications". Mientras que la teoría de la instrumentación demuestra por qué es necesaria la energía para obtener información, los recientes avances en la teoría de la información muestran cómo es necesaria la información para las transformaciones energéticas.

La energía es una característica inherente a todo ser viviente y sin la que su existencia sería imposible. Cualquier acto de un ser vivo va acompañado de una transformación energética y en el transcurso de la misma cada ser sólo puede utilizar una parte de ella, quedando el resto liberada y formando lo que se conoce como **entropía**, constituida por energía de difícil utilización, ya que como decía Heilbron la energía ni se crea ni se destruye sino que sólo se transforma, pienso yo, como justificación a lo expuesto, que se podría asegurar que esta energía de difícil utilización es lo que actualmente se conoce con el nombre de contaminación.

Alberto Einstein (1905) emite su ecuación sobre la energía dando la energía equivalente de una masa mediante la expresión: $E = m \cdot c^2$. La energía de una masa de 1 g. equivale a $2,5 \cdot 10^7$ kW.h.

Dice Einstein que la energía puede ser *Animada* (vital y muscular) e *Inanimada* (de las fuerzas naturales) y que las *Energías útiles* son las de renta, o de renovación constante (en el sol: $H_2 \rightarrow He + \text{energía}$), y las de capital, que empezaron a utilizarse después del año 1800. También se puede clasificar en: de

productividad (generación de nuevas riquezas) y de *comodidad* (crea un mayor confort).

La materia corpórea puede concebirse como una forma de energía en estado muy condensado. Cuando se producen transformaciones de energía y variaciones de masa cualquiera, permanece constante la suma de la energía y de la masa si se multiplica por el cuadrado de la velocidad de la luz.

El principio formulado por los físicos del siglo XIX, que creían fundamental, no era exacto: cuando la energía se transforma en materia deja de ser energía. El sol destruye constantemente materia y la pone en libertad en forma de energía radiante.

Se habla mucho de distintas fuentes de energía y de sus ventajas e inconvenientes, aunque yo diría que, en nuestro universo, sólo hay una gran fuente de energía que es el sol de la que procede casi toda la energía que nosotros utilizamos y toda aquella que desechamos o transformamos en energía poco a nada utilizable, es decir en **entropía**.

La energía siempre procede de la misma fuente pero tiene distintas formas de manifestarse, por ello se habla de distintas formas de energía, y éstas si que pueden proceder de distintas fuentes.

Y aquí es donde aparecen las **plantas** como una creación de la naturaleza cuya misión, primordial diría yo, es captar la energía solar y, mediante ella, transformar materia inerte o mineral en orgánica o materia con vida.

Me pregunto si sería muy descabellado afirmar que la vida es fruto de la combinación de materia inerte con la energía o bien la transformación energética de la materia inerte. Dejo este tema abierto por si alguien quiere profundizar en él.

Volviendo de nuevo al tema de la lección. Las plantas son capaces de captar la energía solar transformándola en energía química, luego las plantas son fuente de energía química. El problema es que estas transformaciones energéticas son transformaciones de rendimientos muy pequeños, es decir se necesita captar mucha

energía solar para aportar poca energía química, debido a que toda la energía capturada no se transforma y además porque parte de la transformada da lugar a energía calorífica que se pierde y es de difícil captura.

3.- La Agroenergía a través de la historia

La agricultura fue la forma más antigua de aprovechamiento de la energía solar por parte del hombre, incluso en un principio sin proponérselo, porque no la conocía y por tanto sin su intervención directa. El hombre del neolítico se aprovechaba de la energía que habían captado del sol, mediante el proceso de fotosíntesis, las plantas que crecían espontáneamente, simplemente recolectando lo que la naturaleza le ofrecía. Ello suponía que un individuo necesitaba varias hectáreas para subsistir.

El hombre primitivo, cazador y recolector, utiliza la energía sin incidir en el equilibrio existente entre energía absorbida (fotosíntesis) y energía cedida (respiración).

Con el transcurso del tiempo, el hombre se hizo agricultor y comenzó a residir en núcleos urbanos, hace más de 10.000 años, aplicando nuevas técnicas para aumentar la producción, lo que incidía en el aumento de captación de energía. Seleccionando plantas y mejorando técnicas de cultivo se ha llegado hasta nuestros días, en los que las necesidades de superficie para la subsistencia de un individuo han disminuido considerablemente.

La utilización de energía como confort se inicia con el descubrimiento del fuego, cuando el hombre aprende a utilizarlo para calentarse.

El equilibrio energético continúa manteniéndose hasta el inicio de la civilización industrial, época en la que el balance de energía comienza a desequilibrarse. La energía absorbida por la fotosíntesis ya no es devuelta íntegramente sino que hay una pequeña parte que comienza a acumularse en lo que hoy conocemos como combustibles fósiles. Una pequeña cantidad de materia

orgánica se deposita anualmente en zonas pantanosas, pobres en O₂, que evitan su descomposición y por lo tanto la pérdida de la energía que poseen, dando lugar al cabo del tiempo a carbones, pizarras bituminosas, petróleo y gas natural.

El uso de la Agroenergía como fuente energética fue decreciendo desde el origen del hombre, con un aporte del 100 % de la energía que utilizaba, hasta hoy, en que el porcentaje que aporta es del orden de un 10 %, siendo la aportación más importante la de los combustibles fósiles con un 75 % aproximadamente.

Hasta nuestros días, las técnicas agrícolas han estado encaminadas a la obtención de cultivos que pudieran satisfacer las necesidades alimenticias del mundo, objetivo que en estos momentos parece que es una meta superada, por lo que la política actual, según estimaciones de la "Dirección General XII de la Comisión de la Unión Europea", va dirigida a dedicar los terrenos a otro tipo de cultivos. Y, así, se han desarrollado técnicas nuevas para la obtención de cultivos con mayores rendimientos industriales y hoy comienzan a estudiarse otras variedades de plantas cuyo fin principal es la obtención de energía, denominados **Cultivos Agroenergéticos**.

El objetivo de satisfacer las necesidades energéticas de la humanidad se ha conseguido utilizando las energías más fáciles de obtener y aquellas que tenían mayores rendimientos, es decir, las aportadas por los combustibles fósiles.

En el año 1935, los geólogos italianos informaron de que los recursos mundiales de petróleo eran limitados y estaban reduciéndose de forma alarmante. Como respuesta, los investigadores plantaron *Euphorbia* en Etiopía para utilizar su látex como combustible, afirmándose que el experimento se realizó con éxito.

Distintas crisis energéticas producidas a lo largo de los últimos años, como la guerra entre israelíes, ingleses y franceses contra Egipto en el año 1956 o la guerra de Oriente Medio en 1973 y la invasión de Kuwait por Irak en 1990, hicieron pensar que los

combustibles fósiles eran predecibles y sería interesante investigar sobre otras fuentes energéticas alternativas.

Con motivo de la guerra entre israelíes, ingleses y franceses contra Egipto en el año 1956, que trajo como consecuencia el embargo del petróleo, surgió la necesidad de la búsqueda de nuevas fuentes de energía y en esos momentos la revista *New Scientist*, recién aparecida, decía en uno de sus primeros artículos: “La novedad de generar electricidad mediante energía nuclear ha quedado ya anticuada.”

La guerra de Oriente Medio provocó, de nuevo, una gran crisis del petróleo, con importantes subidas del precio del crudo, lo que hizo pensar en un nuevo planteamiento tecnológico en lo concerniente a la energía, poniéndose de manifiesto los inconvenientes de las grandes centrales y de las grandes líneas de distribución, que podrían hacer peligrar la economía de cualquier país. Por ello, se pensó que sería interesante buscar nuevas alternativas energéticas descentralizadas, que conserven los recursos y no contaminen la atmósfera. Entre las posibles alternativas a las necesidades energéticas siempre se recurre a energías como la solar, la eólica, la hidráulica y la procedente de la biomasa, fuentes de energía inagotables ya que se renuevan de forma automática, por lo que se las conoce por el nombre de **Energías Renovables**, y que además podrían cumplir con las condiciones medioambientales deseadas.

Aparece un nuevo concepto: la **Biomasa**, que se define como cualquier tipo de materia orgánica que haya tenido su origen inmediato en un proceso biológico, tanto de origen vegetal como animal. La biomasa de origen vegetal (propiciada por la Agroenergía) se transforma, una parte, en diversas formas energéticas y, otra, da lugar posteriormente a la biomasa de origen animal.

Andrew Mackillop (1973) recoge los diversos organismos e instituciones implicados en el desarrollo de nuevas fuentes de energía, entre los que destaca los siguientes:

- La comunidad Findhorn de Escocia, que ha obtenido buenos resultados con cultivos agroenergéticos.
- El New Alchemy Institute, que trabaja en acuicultura para el desarrollo de centrales productoras de metano.
- La German International Development Foundation.
- El Rolls Royce Anti-Poverty Group.
- Los Volunteers for International Technical Assistance (VITA).
- El grupo suizo HYDRA.
- El Environment Programme de Naciones Unidas.

La Conferencia de la ONU (6-20 de Agosto de 1981) sobre nuevas fuentes de Energías Renovables consideró que la biomasa había llegado a su mayoría de edad. Leakey afirmaba que Kenia tenía poco viento, mucho sol, no demasiada energía hidráulica... Pero enormes extensiones de tierras áridas para producir biomasa.

En estos momentos, ya se está pensando en el desarrollo de cultivos exclusivamente con fines energéticos, realizados con plantas de crecimiento rápido, lo que supone gran producción de biomasa vegetal y con importantes eficiencias en los procesos fotosintéticos, como pueden ser las plantas C₄, MAC - plantas que han desarrollado estrategias adecuadas para adaptarse a los sitios cálidos y secos que son en donde se desarrollan habitualmente -, bien en la búsqueda de nuevas plantas que puedan utilizar estrategias de las del tipo C₄ en vegetales tipo C₃. Téngase en cuenta que un buen pasto, planta C₃, puede producir unas 10 t·ha⁻¹·año⁻¹ mientras que el papiro, vegetal C₄, puede llegar a 35 t·ha⁻¹·año⁻¹.

En un informe emitido por la Conferencia de la ONU titulado *Avanzando hacia una nueva mezcla energética: ¿Pueden los recursos renovables ayudar realmente?*, se hacía notar que, en 1981, las fuentes de energías renovables podrían aportar el 15 % del suministro energético total del mundo. Pero surgía el problema de que la energía solar era difusa y cara de almacenar como para poder competir económicamente con otras fuentes de energía, lo que ha

motivado que dichas previsiones aún no se hayan cumplido. Sin embargo, parecía claro que las naciones en desarrollo se beneficiarían a más corto plazo de la biomasa que los países ya desarrollados.

4. Necesidades energéticas

Las necesidades de energía del hombre han ido evolucionando y aumentando a través de la historia desde el hombre neolítico, que sólo necesitaba energía para satisfacer sus necesidades vitales, hasta el hombre actual, que además necesita energía tanto para su confort como para el comercio, la industria, la agricultura, el transporte, etc.

E. Cock aportaba en 1971 la siguiente tabla como ejemplo de las necesidades energéticas del hombre a través de la historia de la humanidad:

	Consumo diario por individuo en kcal				
	Alimento	Confort y Comercio	Industria y Agricultura	Transporte	TOTAL
Hombre primitivo recolector.....	2	0	0	0	2
Hombre primitivo cazador.....	3	2	0	0	5
Agricultor primitivo	4	4	4	0	12
Agricultor avanzado	6	12	7	1	26
Hombre en la época industrial.....	7	32	24	14	77
Hombre en la época tecnológica.....	10	66	91	63	230

Según la tabla siguiente, dada por Lucas (1974) para el consumo energético diario de un hombre de 70 kg con un trabajo agrícola normal (4 kcal · min⁻¹) de 8 horas, la energía mínima necesaria es de 1.280 kcal · día⁻¹ si es totalmente sedentario; cuando tiene una actividad moderada necesita 3.200 kcal · día⁻¹ y, si ésta se desarrolla en climas fríos, las necesidades aumentan a unas 3.900 kcal · día⁻¹

Actividad	Tiempo dedicación H	Consumo energético	
		Kcal · min ⁻¹	Kcal totales
Dormir	8	1,08	518
Ejercicio casero	2	1,34	161
Trabajo	8	4,00	1920
Descanso	6	1,67	601
TOTAL	24	---	3200

Los valores medios del gasto en energía química humana por la realización de diversas actividades (Lucas 1974 y Scout 1980) son:

Actividad	Kcal · min ⁻¹
Caminar (marcha pausada)	3,3
Caminar (6 km · h ⁻¹)	5,0
Marcha (8,5 km · h ⁻¹)	10,8
Correr	9,5
Subir escaleras	18,3
Andar por un campo arado	7,6
Arar con yunta	6,9
Arar con tractor	4,2
Manejar una pala	6,0
Manejar una azada	6,8
Manejar un pico	7,0
Transportar en carretilla	7,0
Elevar tierra con pala	10,5
Siegar con hoz	6,8
Tala de árboles	8,2
Remar en regatas	19,8
Conducir un automóvil	2,2

Sólo aquellos que son capaces de transformar energía en trabajo pueden aplicarlo según sus necesidades.

Durante muchos años, las necesidades energéticas para cocinar, para calefacción y protección y para las industrias agrícolas se satisfacían quemando madera.

Más del 95 % de las familias en los países en desarrollo donde hay leña, la utilizan como fuente de energía, nivel que baja al 80 % en los países desarrollados. El consumo mundial de leña se estima en $2 \cdot 10^9$ t de materia seca al año.

Anil Agarwal (1983) decía, en su artículo "La crisis energética olvidada", publicado en *New Scientist* el 10 de Febrero, que es fácil olvidar que la mayor parte de la energía utilizada en el mundo por la población pobre está destinada a cocinar alimentos. Ignorar esta necesidad humana puede conducir a una catástrofe.

Una familia pobre en una ciudad gasta del 10 al 15 % de su renta en energía para cocinar mientras que en las familias prósperas este gasto porcentual disminuye al 5 %.

En un documento de la FAO titulado "Toward 2000" se señala que, con la disminución de la producción de leña, muchas personas con escasos recursos económicos no serán capaces de cocinar sus alimentos adecuadamente, lo que puede llevar a graves consecuencias nutricionales y sanitarias.

Para el aprovechamiento de nuevos recursos energéticos se requiere realizar las siguientes operaciones: descubrimiento del recurso, extracción, transporte, almacenamiento, transformación, utilización y evacuación.

Por ejemplo, si un adulto que necesite $3.000 \text{ kcal} \cdot \text{día}^{-1}$ tuviera que obtenerlas comiendo exclusivamente carne de vaca, serían necesarias $300.000 \text{ kcal} \cdot \text{día}^{-1}$ de maíz para alimentar a las vacas, lo que significan $3 \cdot 10^7 \text{ kcal} \cdot \text{día}^{-1}$ de luz solar para producir dicho maíz. Para la producción de maíz en una región que recibe $500 \text{ cal} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{día}^{-1}$ de luz solar, se necesitaría un campo de 6.000 m^2 (0,6 ha) para alimentar a una persona durante un día. La persona tendría que buscar el terreno, sembrar el maíz, cosecharlo, evacuar los subproductos, transportarlo, almacenarlo y alimentar al ganado.

En el año 1900 el 90 % de la energía utilizada por el hombre procedía de la leña (Agroenergía) y del carbón (combustible fósil). Estos porcentajes fueron bajando hasta el 50 % en 1929 y el 15 %

en 1961, dándose la circunstancia de que sólo un 46 % de la población consumía el 86 % de la energía total.

En los últimos años el índice de utilización de energía eléctrica está aumentando: del año 1961 al 1965 el aumento anual fue del 7,00 %, desde 1965 a 1969 del 8,60 % y desde 1969 a 1970 del 9,25 %. En España esos mismos índices son muy superiores, como se indica en páginas posteriores.

En cuanto a la producción en el bienio 1969/70, la producción de energía eléctrica aumentó en un 16 % de la que un 95,80 % se obtuvo a partir de combustibles fósiles, un 3,80 % de energía hidráulica y un 0,30 % de energía nuclear.

En el año 1970, la electricidad como energía suponía el 30 % del consumo energético nacional bruto de los EE.UU.

Según la Agencia Internacional de la Energía (*L'Energie dans les pays non membres de l'OCDE*, OCDE, París, 1991) la estimación de las necesidades mundiales expresadas en Mtep, basándose en distintas fuentes convencionales, es la siguiente:

COMBUSTIBLE	1988	1995	2005
Petróleo	3123	3601	4144
Gas natural	1599	2078	2950
Combustibles sólidos	2313	2597	3317
Energía nuclear	423	491	583
Hidráulica y otras	482	588	793
TOTAL	7940	9355	11787

El consumo de biomasa en España durante 1993 en ktep., según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) es:

SECTOR	CONSUMO	%
Doméstico	2.102,40	56,1
Pasta y papel	707,60	18,9
Alimentos y bebidas	380,30	10,1
Industrias de la madera	311,00	8,3
Cerámica, cemento y yeso	126,90	3,4
Otras actividades industriales	32,30	0,9
Otras	66,80	1,8
TOTAL	3.745,00	100,0

5. Fuentes de energía y transformaciones energéticas.

La fuente natural de energía más importante para la tierra es el sol. En el sol se realiza un proceso de descomposición que libera gran cantidad de energía de la que una parte llega a la tierra.

El sol descompone $4,5 \cdot 10^6$ t de materia que se transforman en radiaciones electromagnéticas, las cuales llegan a la tierra con una potencia de unos $1,73 \cdot 10^{14}$ kW.

Otra fuente natural de energía es la que aflora desde la propia tierra, desde su centro, en forma de energía geotérmica con una potencia de unos $3,2 \cdot 10^{10}$ kW. Y teniendo en cuenta que el índice de conversión del calor de los manantiales térmicos es del orden del 1 %, el flujo medio utilizable se puede evaluar en $3,2 \cdot 10^8$ kW.

Una tercera fuente natural de energía que se puede considerar, aunque indirectamente proviene de la energía solar, es la energía de las mareas cuya potencia está evaluada en unos $3 \cdot 10^9$ kW.

Estos datos nos indican que la principal fuente de calor es la recibida directamente por radiación desde el sol, que supone un 99,98 % del total de la energía que llega a la superficie terrestre.

De la energía incidente en la tierra un 30 % ($5,2 \cdot 10^{13}$ kW) es reflejada por la atmósfera y devuelta al espacio de nuevo. Un 47 %, ($8,1 \cdot 10^{13}$ kW) es absorbida y convertida en calor para proporcionar la temperatura ambiente de nuestro planeta. Casi otro 23 %

($4,0 \cdot 10^{13}$ kW) acaba consumido por las aguas en su ciclo hidráulico (evaporación, precipitación). De ella unos $3,7 \cdot 10^{11}$ kW, es lo que provoca los movimientos del aire y del agua en los mares, parte de la cual se disipa en forma de calor debido a fricciones entre los elementos.

Solamente unos $4,0 \cdot 10^{10}$ kW son capturados por la clorofila de las plantas en el proceso fotosintético. De ellos una pequeña parte se acumulará dando lugar a combustibles fósiles. Se supone que las formaciones energéticas que se acumularán en el próximo millón de años serán del orden de la seiscientasava (1/600) parte de lo acumulado hasta ahora.

El aprovechamiento de esta energía ha evolucionado a lo largo de los tiempos según el hombre ha ido descubriendo tecnologías adecuadas para su utilización. Para el hombre primitivo, las únicas fuentes de energía eran el fuego, su propia musculatura utilizando herramientas primitivas, la horticultura y la cría de ganado.

El sistema "Swiddening", voz procedente del noruego antiguo que significa chamuscar y que consiste en utilizar el fuego para preparar los alimentos, se empezó a utilizar cuando el hombre descubrió el fuego, aunque solo se podía aprovechar una pequeña parte de la biomasa forestal. El proceso se inició quemando madera hasta consumir la mayor parte de los bosques; cuando se acabó la madera, se acudió al carbón. Por otra parte el uso del petróleo y el gas se adoptó posteriormente después de haber realizado una adaptación de los combustibles.

Hasta 1830, la madera era la principal fuente de energía. En 1860 se inició la época del carbón extrayendo una cantidad de 7 millones de toneladas. En 1910 pasó a ocupar el primer lugar entre los aportes energéticos, con un porcentaje del 75 %. En 1880 se comienzan a explotar los yacimientos de petróleo y de gas que toman la prioridad en 1960, a pesar de que en esta década se extrajeron del subsuelo $1,33 \cdot 10^{11}$ toneladas de carbón. La producción acumulada de petróleo hasta el año 1970 se ha evaluado en $227 \cdot 10^9$

barriles, lo que supone unos $3,24 \cdot 10^{10} \text{ m}^3$, con un aporte energético del 60 % del total de la energía utilizada.

Actualmente más de la mitad de la energía se utiliza para realizar trabajo útil mejorando los rendimientos de transformación.

La transformación del calor en trabajo realizado, según el ciclo de Carnot, tiene un rendimiento del 40 %, rendimiento al que no llegan los motores de combustión interna.

Las transformaciones de unas formas a otras de la energía que el hombre necesita se realizan mediante máquinas y motores. A través de la historia se ha evolucionado mediante el descubrimiento de nuevas tecnologías que permiten realizar procesos de transformación con mayores rendimientos.

De este modo los primeros motores fueron los propios hombres, con su esfuerzo muscular, pasando seguidamente a los animales, entre los que bueyes y caballos fueron los más utilizados, porque sus necesidades alimenticias no eran competitivas con las del hombre.

En una segunda fase, se empleó la energía potencial del agua aprovechando los desniveles que poseía la orografía de la zona.

En el siglo I a.C. hizo su aparición la rueda hidráulica horizontal, siendo el primer mecanismo utilizado por el hombre. En el siglo IV se ideó la rueda hidráulica vertical y en el siglo XII los molinos de viento, que fueron el fundamento de la industrialización de la energía, ya que hasta entonces la productividad del hombre estaba casi limitada por su propio esfuerzo y el de sus animales.

El inicio de la industrialización energética como tal se centra en el siglo XVI y a continuación, durante el siglo XVII, se empieza a utilizar el vapor, invento de Thomas Savery, que se desarrolló en el siglo siguiente, en el que aparecen los mecanismos de pistón móvil.

A pesar de la industrialización y, según el *U.S. Yearbook of Agriculture*, el mayor número de caballos y mulas de la historia se concentró en el año 1918, con más de 25 millones. Como contrapartida, se pudo comprobar que el índice de desarrollo tecnológico había disminuido, surgiendo además el inconveniente de

que la cuarta parte del grano producido tenía que utilizarse para alimento del ganado, lo que entraba en competencia con la alimentación humana.

Si se hubiese continuado con ese ritmo no habría, en la actualidad, sitio para tantos animales ni tierras suficientes que produjeran el grano necesario para su alimentación.

Gerald Leach, del International Institute of Environment and Development de Londres, señala que, a escala mundial, no hay escasez real de productos petrolíferos para las necesidades básicas de la humanidad, pero que cada país tiene que reconsiderar sus propios recursos y sus propias necesidades. Por ejemplo, la energía para cocinar es una necesidad sólo superada por la precisa para producir los alimentos. Satisfacer esta necesidad no es un problema de falta de recursos, de tecnología o de conocimientos, sino de decisión y organización política.

6. Las plantas verdes como fuentes de energía. Fotosíntesis.

Los vegetales resolvieron la primera crisis energética cuando las algas verdeazuladas evolucionaron y desarrollaron el proceso fotosintético hace unos 3.000 millones de años, transformando el CO_2 en materia orgánica.

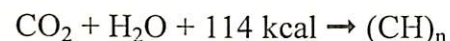
La inversión de energía en caza y recolección ha proporcionado el medio de vida a la humanidad durante más del 99 % de su historia. A lo largo de los últimos 10.000 años la inversión de energía en la agricultura ha transformado a la mayor parte de los pueblos de cazadores en agricultores.

La invención de la agricultura proporcionó a la humanidad una fuente más abundante de energía solar. La plantación de cultivos y la cría de animales han sido las dos formas más importantes de aprovechamiento energético por el hombre, que es capaz de almacenar la energía mediante la producción de plantas primarias.

La manipulación humana mediante la práctica de la agricultura y la cadena alimenticia permitió al hombre progresar más allá de la propia subsistencia que le proporcionaba la caza y la recolección de plantas silvestres. Como consecuencia los sistemas sociales evolucionaron hasta los de la actualidad.

La capacidad de los vegetales para fijar el carbono del aire y transformarlo en hidratos de carbono es la base de la cadena alimenticia y la fuente de grandes cantidades de biomasa, con los inconvenientes de ser un producto muy extendido, tener poca densidad y necesitar importantes cantidades de energía para su recolección y transporte.

La realización de la función clorofílica necesita energía para que se pueda cumplir la siguiente ecuación endotérmica:



La energía se recibe de la luz del sol, 8 fotones, que llega mediante radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda comprendidas entre 480 nm, que aportan 64 kcal·mol⁻¹, y 900 nm con nivel energético de 32 kcal·mol⁻¹, y que constituye la mejor forma de utilización de la energía solar.

Considerando la luz roja la de mayor eficacia y la que menor energía aporta, 43,3 kcal·mol⁻¹, el rendimiento sería:

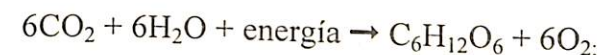
$$114/(43,4 \cdot 8) = 0,328 \rightarrow 32,8 \%$$

Por lo que concierne a las hojas, la eficiencia fotosintética está entre el 15 y 17 % respecto a la radiación PAR (*Photosynthetic Active Radiation*) que incide en ellas. Si consideramos la planta en su conjunto la eficiencia diaria sería de un 2 a un 5 %.

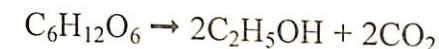
La radiación PAR media recibida en España es de 6,32·10⁹ kcal·ha⁻¹, con un rendimiento del 0,27 %, que puede producir unos 10.000 kg·ha⁻¹ de materia seca, con un valor calórico de 4.000 kcal·kg⁻¹.

Otras radiaciones de menor longitud de onda, que también llegan del sol, son los rayos ultravioleta (UVA), con longitudes de onda de unos 225 nm y que transportan 128 kcal·mol⁻¹, energía suficiente como para romper enlaces químicos, por lo que son perjudiciales para toda forma de vida.

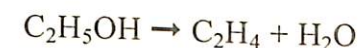
Para la producción de hidrocarburos a partir de CO₂, es necesario que una planta reduzca el CO₂ del aire a azúcar con la colaboración de la energía tomada del sol mediante la siguiente reacción química:



en segundo lugar, por medio de una fermentación se debe reducir el oxígeno de la molécula de azúcar mediante la reacción:



La cantidad de energía contenida en el azúcar es retenida por el alcohol resultante y finalmente se consigue la reducción del alcohol a un hidrocarburo según la ecuación:



Todas estas reacciones tienen lugar durante el proceso de fotosíntesis en el cual el CO₂ que la planta toma del aire lo pasa a los cloroplastos, que se encuentran en el mesófilo de las hojas verdes, y se combina con el bifosfato de ribulosa para formar dos moléculas de ácido fosfoglicérico (AFG), que tiene 3 átomos de carbono, y que por un proceso de reducción se convierte en azúcares, proteínas y lípidos. El O₂ desprendido oxida el fosfoglicosato pasándolo a glicosato que en el mitocondrio pasa a glicina y a serina desprendiendo CO₂ en un proceso de fotorrespiración.

El O₂ de la atmósfera disminuye el índice de fotosíntesis de las plantas, ya que entra en competencia con el CO₂, haciendo que

el bifosfato de ribulosa se desdoble formando una sola molécula de AFG y otra que pasa a glicolato. Según John P. Deeker y Marco A. Tito (1959), la atmósfera natural tiene un 80 % de N_2 , un 20 % de O_2 y 300 p.p.m de CO_2 . Pero si se cultiva trigo en una atmósfera con un 2 % de O_2 , a 25 ° C su índice de crecimiento aumenta en un 20 %. Además las condiciones cálidas favorecen la fotorrespiración por lo que, a mayor temperatura, mayor disminución de la fotosíntesis.

Para la obtención del CO_2 necesario en la función fotosintética las plantas necesitan abrir sus estomas, lo que les lleva a la pérdida de agua (Suárez, J. 1982), también necesaria ya que se trata de un proceso que, para realizarse, necesita presencia de humedad. Existen ciertas plantas, las tropicales, que han desarrollado estrategias para adaptarse a su entorno realizando lo que se conoce como fotosíntesis lenta.

Así, las plantas tropicales evitan abrir los estomas durante el día, cuando la transpiración es máxima, para evitar las pérdidas de agua, abriéndolos por la noche para absorber el CO_2 . Éste reacciona con el piruvato de fosfenol (PFF) formando un ácido oxalacético con 4 átomos de carbono por molécula, que pasa a malato y que, a su vez, puede almacenarse en las vacuolas de las células de la hoja hasta el día siguiente. Todas estas reacciones se producen en ausencia de luz y es una forma de almacenar CO_2 . Durante el día el malato se degrada a CO_2 , se fija en ese momento de la forma descrita en el proceso de fotosíntesis y se combina con el bifosfato de ribulosa. Este sistema fue descubierto por M. Thomas en 1947 para las *Crasulaceas*, y es reconocido como el metabolismo del ácido crasuláceo (MAC); las plantas que utilizan este sistema se denominan plantas MAC, sistema que también utilizan las plantas del tipo C4.

La cantidad de carbono fijada en todo el mundo durante un año tiene un contenido energético de $3 \cdot 10^{21}$ J. De dicho carbono sólo un 0,5 % es utilizado como alimento (4.000 millones de habitantes). El rendimiento de la conversión fotovoltaica media en nuestro

planeta es de un 0,1 % de la energía luminosa total disponible. Con una buena agricultura destinada a estos fines este rendimiento se podría llegar hasta el 1 %.

Graham Chedd en su artículo "Celulosa y luz solar" propone el establecimiento de granjas submarinas de *Quelpe* (alga marina) para la producción de biomasa, ya que es una de las plantas de más rápido crecimiento de entre las conocidas. Se podría proyectar una granja, en el océano, para producir suficiente alimento con el que nutrir de 1.500 a 2.000 personas km^{-2} y además produciría suficiente energía como para satisfacer las necesidades de 400 a 800 personas con necesidades medias. El potencial de los océanos, 300.000 km^2 de superficie cultivable, podría abastecer a más de 600 millones de personas.

Los brasileños decidieron convertir su caña de azúcar en alcohol fermentado, obteniendo una producción de $4 \cdot 10^9$ litros de alcohol.

Algunas especies de plantas, como la *Hevea* (el árbol del caucho) de la familia de las *Euphorbiaceas*, reducen el CO_2 a hidrocarburo sin ningún contenido de oxígeno. El látex que se obtiene al sangrar el árbol de caucho es una emulsión de hidrocarburo en agua.

En el año 1980 las plantas silvestres en Okinawa producían 10.900 litros de petróleo por ha. y año y las de California 7.300 litros.

Melwin Calvin, premio Nobel de Química en 1961, decía que la fuente que mejor convierte la energía del sol son las plantas verdes por lo que se debe intentar obtener la energía necesaria directamente en vez de utilizar y agotar los combustibles fósiles. Después de ensayar con varias especies, se quedó con la *Euphorbia lathyris* de la que aprovecha sus hidrocarburos. Es una planta que rinde un 35 % de su peso seco con un 5 % de terpenos, que pueden ser convertidos en un tipo de gasolina, y un 20 % de azúcares que fermentados dan lugar a alcoholes. Con un rendimiento en biomasa, materia seca, de

25 t por hectárea y año pueden dar lugar a $110 \cdot 10^6$ BTU por hectárea y año.

El Prof. Fernández González, de la Universidad Politécnica de Madrid, comenzó estudiando la adaptación de *Euphorbia* en España, sin obtener resultados positivos, por lo que después continuó con pataca, onopordum, girasol, sorgo y otras especies, llegando a la conclusión de que el *Cynara cardunculus L.* es el que mejor se adapta como cultivo energético en nuestro país, con posibilidades de obtener buenos rendimientos. Actualmente tiene, en periodo de ensayo, algunas plantaciones en varias zonas de España y, entre ellas, en la Comunidad de Castilla y León, con producciones de $15 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. No se trata de un descubrimiento novedoso pues la utilización de la biomasa como fuente de energía fue tradicional hasta mediados del siglo XIX, en el que empezaron a usarse los combustibles fósiles.

Michael Jones, en el año 1983, decía que el papiro era un nuevo combustible para el tercer mundo. El papiro, *Cyperus papyrus*, es el mayor de los juncos, con una producción de biomasa de $32 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$. Rebecca C. McDonald en el año 1976 proponía el jacinto de agua como fuente de biogás, de fertilizantes y de combustibles.

Roger Lenin (1977), decía: "Las plantas serán importantes en las ecuaciones futuras de la energía aunque no se debe hacer demasiada propaganda de ello para no sembrar posibles desilusiones".

La energía vegetal produce aceites naturales como el de cacahuete, girasol, maíz, soja, oliva, que puros o mezclados pueden utilizarse como combustibles, que necesitan poca elaboración. David Hall (1981) decía, a este respecto, que el día del gasóleo cultivado podía haber llegado.

Rudolf Diesel en 1911 escribió: "El motor Diesel puede alimentarse de aceites vegetales, lo que ayudaría considerablemente al desarrollo de la agricultura de los países que lo utilicen". Durante la segunda Guerra Mundial, China desarrolló un proceso para

desdoblar aceites vegetales y poder utilizarlos en motores de gasolina sin necesidad de modificaciones, con producciones de 1t de combustible por hectárea.

Por otra parte existen unos vegetales que tienen membranas de cloroplastos con una hidrogenasa, enzima bacteriana, que pueden producir gas de hidrógeno en presencia de la luz. En la fotosíntesis bacteriana hay un número de sistemas de membrana, muy estables, que se podrían utilizar para bombear sales y producir electricidad directamente. Es otra forma de obtener energía de las plantas que aún está en un estado de investigación poco avanzado.

7. La biomasa como fuente de energía.

Para generar energía a partir de la biomasa se puede hacer mediante los siguientes procesos:

Tipos de procesos:	- Físicos:	- Astillado
		- Trituración
		- Compactación
		- Deshidratación
	- Químicos:	- Extracción
	- Biológicos:	- Fermentación
		- Digestión anaerobia
	- Termoquímicos:	- Combustión
		- Gasificación
		- Pirólisis

Energía que se puede obtener de la biomasa:

- Calor:	- Procesos físicos
	- Combustión
	- Digestión
- Electricidad:	- Combustión en lecho fluido
	- Gasificación de Biomasa
	- Pirólisis

- Combustibles: - Extracción (Aceites vegetales)
- Fermentación (Etanol)
- Digestión (Gas)

Los procesos físicos son los primeros que se utilizaron y resultan bien conocidos por todos como productores de calor, aunque indirectamente también pueden conducir a la obtención de energía eléctrica.

Los procesos químicos se usan fundamentalmente para la obtención de combustibles utilizados tanto en la locomoción como para producir calor o electricidad.

Dentro de los biológicos se encuentra la fermentación que produce alcohol, la digestión anaerobia, que produce gas con fines energéticos. El origen de este proceso data del año 1776, cuando Volte descubre la descomposición de la M.O en ausencia de O₂. Su esquema de ejecuciones es el siguiente:

M.O → Hidrólisis → Acidogénesis → Acetogénesis → Metanogénesis

El proceso de ejecución y los productos obtenidos se indican en la tabla siguiente:

Digestión en continuo:	Biomasa residual:	Mezcla completa Flujo pistón Contacto Lecho de lodos
	Biomasa adherida:	Filtro no orientado Película fija Lecho expandido Lecho fluidizado
Digestores en dos fases		

En los países desarrollados el problema es mejorar la eficiencia de la utilización energética. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo se prevé un incremento sustancial de las necesidades energéticas. Por ello, será necesario implantar sistemas para la conversión energética que estén próximos a las zonas de consumo.

Las acciones sistemáticas comenzaron a utilizarse para explotar y desarrollar fuentes de energías renovables a principios de la década de los 70, siendo el impacto medioambiental y la facilidad de operación los factores que más influyeron en ello, sobre todo en aquellos países que estaban en vías de desarrollo.

Las características positivas de estas fuentes de energía renovables son:

- Estar muy distribuidas y utilizar productos autóctonos.
- Las tecnologías de conversión son de tipo modular y de construcción rápida.
- Inversión inicial alta y luego bajos costos de funcionamiento.
- Sencillez de los procesos tecnológicos.
- Posibilidades de desarrollo regional con generación de empleo.
- Reducido impacto ambiental.
- Recurso inagotable.
- Utilizar los recursos propios

Por el contrario, las dificultades que aparecen para el desarrollo de este tipo de energías se pueden resumir, entre otras, en las siguientes:

- Desconocimiento de las posibilidades energéticas de la biomasa existente.
- Dificultades financieras para establecimiento de las industrias transformadoras.
- Riesgos económicos al aplicar nuevas tecnologías con mano de obra no especializada.

- Falta de marcos legales que protejan las explotaciones y la comercialización de los productos obtenidos.
- Readaptación del suministro energético en países desarrollados.
- Distorsión en las competencias.

Los biocombustibles son una de las acciones con más posibilidades de utilización de energías renovables a corto plazo. Dentro de ellos existen dos posibilidades de utilización:

a) Los **bioaceites**, utilizados en motores Diesel como sustitutivos del gasóleo, bien directamente, bien después de una transesterificación. Para su utilización se requiere realizar algunas modificaciones en los motores, que se resumen básicamente en instalar una antecámara de inyección para eliminar los residuos carbonados.

La transesterificación consiste en una hidrólisis de los enlaces "éster" de los triglicéridos, dejando libre glicerina y reaccionando posteriormente con algún alcohol (metanol, etanol, propanol o butanol principalmente), dando lugar finalmente a moléculas lineales formadas por el éster del ácido y el alcohol en presencia de un catalizador (KOH). Para su obtención sería necesario implantar girasol, colza, cárcamo, cynara o cualquier otra oleaginosa.

b) El **bioetanol**, obtenido mediante la fermentación de materias azucaradas con un contenido de alcohol inicial de un 10 al 15 % y destilándolo hasta la obtención de un alcohol hidratado, con un contenido máximo de un 4 ó 5 % de agua, o un alcohol absoluto, mediante un proceso de deshidratación.

El etanol hidratado se puede utilizar directamente en motores de explosión convencionales y el etanol absoluto se utiliza, en forma de gasoholes, mezclado con la gasolina normal, aumentando así el índice de octano y eliminando los aditivos de plomo. En USA se utilizan mezclas del 5 % y en Brasil hasta del 20 %.

Para paliar estas dificultades, desde los años 70 la Dirección General de Investigación, Ciencia y Desarrollo (DGXII) está

apoyando el aprovechamiento energético de la biomasa. Se prevé que en el año 2000 los aportes energéticos de la biomasa serán del 2,5 % y se podría llegar hasta un 15 % si se utilizaran, para la producción de cultivos Agroenergéticos, las tierras retiradas de cultivos Agroalimentarios limitados por la legislación de la U.E.

8. La energía y el medio ambiente.

La cantidad y concentración del uso energético deteriora el medioambiente por lo que es un factor que ha de ser tenido muy en cuenta.

Los agricultores primitivos no importaban ni exportaban productos, eran autónomos. En estos sistemas los abusos ocasionados son rápidamente detectados, mediante signos sensibles de degradación ambiental. El *feedback* de información desde el medioambiente actúa rápidamente en los sistemas ecológicos autónomos por lo que rápidamente se autocorrigen.

En el siglo XVIII los beneficios sociales obtenidos por la utilización de la energía superaban las objeciones planteadas por el medioambiente.

Cualquier utilización de la energía lleva consigo un residuo de calor irrecuperable. La utilización de la energía provoca un aumento de la entropía en el universo. La vida, vegetal y animal, provocan un retardo de ese efecto con el aprovechamiento de la energía solar.

La tendencia del hombre hacia los estados antropocéntricos sucesivos es lo contrario de la tendencia de los ecosistemas naturales. Los esfuerzos del hombre para conseguir un mayor rendimiento de las plantas provocan la fragilidad del ecosistema en vez de ayudar a su estabilidad, dando lugar a los ecosistemas delicados e inestables. Margalef y otros han señalado que la intervención humana tiende a reducir la madurez de los ecosistemas.

En cualquier ecosistema la biomasa total aumenta con el paso del tiempo, en los denominados inmaduros la relación

productividad/biomasa es alta, mientras que en los maduros dicha relación es baja, aún aumentando la cantidad de ambos factores. En los ecosistemas no solo se debe buscar la efectividad sino, lo que es mucho más importante, la estabilidad y el rendimiento.

Los agricultores primitivos cuidaban mucho su ecosistema para asegurar la regulación continua del bosque secundario.

En los ecosistemas el suministro de energía se degrada constantemente convirtiéndose en calor en cada fase de la cadena alimenticia.

Cuando se empezaron a utilizar los combustibles fósiles, la presión sobre los ecosistemas ya no estaba limitada a la energía que él mismo podía generar, por lo que se producían alteraciones que antes no se originaban. El deterioro medioambiental producido por ellos se debe considerar desde dos puntos de vista: a corto y a largo plazo.

Es posible que el agricultor actual gaste más combustible en su maquinaria que la que genera su cosecha. Por ejemplo, Fabian Acker apuntaba en 1981 que Nepal consume sus bosques siete veces más rápido de lo que los repuebla, cuando la población podría invertir la tendencia utilizando la energía hidráulica y obteniendo gas del estiércol de sus $6 \cdot 10^6$ vacas. Cada ciudadano consume $600 \text{ kg} \cdot \text{año}^{-1}$ de leña mientras que los bosques solo producen $80 \text{ kg} \cdot \text{persona}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$.

La utilización de cualquier fuente energética, como se indicó anteriormente, lleva asociado un deterioro medioambiental, por lo que las transformaciones deben hacerse con sumo cuidado y después de una adecuada programación de los procesos, puesto que la utilización de la Agroenergía también presenta aspectos negativos.

Michael Allaby y Jim Lovelock, en un artículo publicado el 13 de Noviembre de 1980 en la revista *New Scientist* titulado "Estufas de leña: el contaminante de moda", levantaron la polémica indicando que las estufas de leña - tan atractivas y confortables, y que nos libran de las dependencias tecnológicas y son económicas, ya que el combustible es barato, sobre todo si se recoge

personalmente - utilizan recursos propios. Por ello la sociedad las valora positivamente. Esta apariencia puede ser falsa desde el punto de vista medioambiental. En realidad son máquinas de bajo rendimiento, tienen pocos recursos para utilizar madera como combustible y son muy contaminantes, a pesar de ser un diseño muy interesante de Benjamín Franklin, realizado en 1740, que prácticamente no se ha modificado. Necesitan gran espacio para almacenar combustible ya que $1,25 \text{ t}$ de madera de bosque de hoja ancha con un 20 % de humedad ocupa 4 m^3 cuando su equivalente en carbón, 1 t , ocupa sólo $0,25 \text{ m}^3$.

La madera, en efecto, tiene poco azufre, por lo que no produce SO_2 , no contiene radio por lo que no emite radiaciones y el CO_2 se equilibra con las aportaciones del bosque. Sin embargo, el humo es rico en materia orgánica policíclica y emite diversos productos cancerígenos. Como ocurre con la combustión de cualquier vegetal y como es bien conocido en el caso del tabaco. Estos productos negativos, pese a todo, se dispersan rápidamente debido a la mínima concentración de quemadores.

La estufa de leña está diseñada para quemar combustible lentamente y a bajas temperaturas lo que favorece la emisión de hidrocarburos no quemados. Un informe del Battelle Institute para la EPA decía que las pequeñas unidades quemadoras de madera a baja temperatura tienden a producir emisiones atmosféricas más indeseables que las unidades de combustión mayores que operan a temperaturas más altas y con mayores turbulencias.

En la legislación del gobierno británico recogida en la *Clean Air Act*, se prohíbe el uso de combustibles humeantes en zonas concretas que se hallen particularmente en peligro.

Resumiendo lo anterior con respecto a las estufas de leña, se puede decir que son aparatos atractivos, muy ornamentales en los hogares, pero que están lejos de economizar el uso de recursos naturales escasos y la supuesta protección del medioambiente no es tal, sino que el grado de contaminación que provocan es apreciable,

aunque esté en otra escala diferente a la provocada por fábricas o centrales energéticas.

La World Energy Conference, celebrada en Moscú 1968, animó a los científicos a observar las consecuencias medioambientales de utilizar los combustibles fósiles, indicándoles que la energía hidráulica y la fusión nuclear pueden ser soluciones muy satisfactorias para la resolución de los problemas energéticos que ya se intuían en aquellos momentos.

Los problemas medioambientales detectados en los procesos de transformaciones energéticas tradicionales son, entre otros:

- El efecto invernadero, provocado por el aumento del CO₂ en la atmósfera y un recalentamiento de la superficie terrestre. Los niveles de CO₂ en la atmósfera, a pesar de ser absorbido por los mares y por las plantas, han evolucionado desde 30 p.p.m. en el siglo XVIII hasta 80 p.p.m. en el XIX y, en estos momentos, están por las 300 p.p.m. Se estima que actualmente se están emitiendo $6 \cdot 10^9$ t de CO₂ a la atmósfera.
- Las lluvias ácidas, provocadas por los desprendimientos de óxidos de azufre (SO y SO₂).
- El desprendimiento de óxidos de nitrógeno, NO y NO₂.
- Los residuos sólidos generados.

Todo ello está provocando, entre otros efectos, la deforestación de unas $1,7 \cdot 10^7$ ha·año⁻¹ en zonas tropicales, por lo que parece aconsejable lograr un descenso en la utilización de los combustibles fósiles, responsables de dichas emisiones contaminantes, y sustituirlos por biocombustibles que sean neutros en CO₂.

La utilización de biocombustibles en sustitución de los combustibles fósiles llevaría consigo la producción de plantas adecuadas para su obtención, así como la recogida controlada de residuos vegetales. Estas labores podrían generar los siguientes efectos positivos:

- Favorecer las condiciones ambientales controlando la regeneración natural de los bosques, facilitando su repoblación y disminuyendo el peligro de plagas. Todo ello facilitaría las labores silvícolas y la mejora en la calidad de las especies, así como el hábitat de la fauna silvestre.
- Utilización de tierras de cultivo. Lo que lleva consigo la generación de trabajo en la agricultura evitando la emigración de ciertas zonas.
- Estabilización del terreno cubriéndolo con materia vegetal que evita escorrentías y regula la filtración evitando la erosión.
- Establecimiento de industrias Agroenergéticas para producir bioetanol y bioaceites, generando puestos de trabajo.
- La digestión anaerobia para la obtención de biogás es un proceso de depuración de residuos orgánicos, por lo que su utilización provocaría un doble efecto positivo en relación con el medio ambiente.
- Limpieza de restos de las tierras cultivadas y bosques, con lo que se evitarían peligros de incendios y quemadas incontroladas.

Las labores para la obtención de biomasa vegetal deben estar programadas y controladas con el fin de que no produzcan otros deterioros ambientales. Para lograrlo debe hacerse un estudio de impacto ambiental en el que se tenga en cuenta lo siguiente:

- Características del entorno
- Programación de las labores de obtención de biomasa, controlando los periodos y las superficies de corte, con la finalidad de que se puedan ir regenerando adecuadamente tanto natural como artificialmente.
- Prevenir las posibles alteraciones para poder aplicar las medidas correctoras adecuadas.

- Favorecer el establecimiento de la fauna silvestre.
- Impactos residuales y planes de actuación.

Otro campo importante relacionado con la producción de biomasa y la regeneración medioambiental es el de algunas algas y plantas acuáticas que producen metano en presencia de aguas residuales, depurandolas. Según Bill Wolverton y Rebecca C. McDonald (1976), las aguas residuales producidas por 1.000 personas, con 35 mg l^{-1} de N_2 y 10 mg l^{-1} de P, se pueden depurar mediante un estanque de 5.000 m^2 con un cultivo de jacintos, con un tiempo de retención de las aguas residuales de dos semanas.

9.- La energía en nuestros tiempos. Perspectivas de futuro

En 1983 Gerry Foley y Geoff Barnard decían que se estaba produciendo un resurgimiento de la tecnología de gasificación utilizada en la Segunda Guerra Mundial, cuando, quemando biomasa con un suministro controlado de aire, se producía gas.

En otros casos, como en el utilizado para obtener energía a través del hollejo seco, se puede obtener energía sin quemarlo directamente, ya que tiene un alto contenido en cenizas, es un buen fertilizante y produce gran cantidad de calor cuando se pudre.

La fabricación de alcohol (etanol) para mezclar con la gasolina es otra de las salidas que se están estudiando desde hace tiempo. Ya en los años 30 Herry Ford fabricó coches que funcionaban con alcohol obtenido de la destilación de maíz.

Trevor Lones (1980) manifestaba que Brasil evitaba problemas económicos produciendo los combustibles para automóviles a partir de alcohol, mezclándolo con la gasolina en un porcentaje del 20 % mediante una tecnología que había sido desarrollada ya en el año 1931. En el año 1975, se promocionó el programa Proalcohol produciendo 4.000 millones de litros equivalentes a 60.000 barriles de petróleo y se habían propuesto un

objetivo de 10.700 millones de litros para 1985, pero el agrónomo José Luzenberger se opuso a este proyecto indicando que se estaban destruyendo ecosistemas únicos, explotando a la gente que trabajaba en el programa, utilizando mal la tierra y fomentando la utilización de pesticidas.

En 1981, por su parte J. Carter presionó a las Agencias Federales de los EE.UU. para que sus vehículos utilizaran alcohol y en el Congreso (Junio 83) se aprobó la *Energy Security Act* que pedía a las autoridades Federales que utilizaran etanol siempre que les fuera posible.

En 1983 las ventas de alcohol, en EE.UU., se acercaron a $2 \cdot 10^{10}$ l, quizás debido a un cambio en la estrategia de comercialización de la compañía, Archer Daniels Midland Texaco.

Sin embargo los inconvenientes con que se están encontrando los programas de desarrollo de la biomasa son:

- Costos de instalaciones iniciales muy altos.
- Incapacidad para realizar estudios de viabilidad.
- Instalaciones mal diseñadas.
- Costes de funcionamiento superiores al precio potencial de la venta del alcohol.
- Insuficientes conocimientos técnicos.
- Altas temperaturas durante la fermentación que provocan la inoperancia de las levaduras.

Con vistas al futuro y teniendo en cuenta que la energía solar mantiene el crecimiento de los vegetales, se está intentando imitar estos procesos naturales para su utilización en la transformación del agua en hidrógeno con el desprendimiento de oxígeno, utilizando la luz solar como fuente de energía.

En el caso de la producción de H_2 en membranas de cloroplastos, se descubrió en los primeros años de la década de los 60 con cloroplastos aislados de espinacas según la secuencia:

Donante de electrones \rightarrow Fotosistema I^c \rightarrow Transportador de electrones e^- H⁺ \rightarrow Hidrogenasa \rightarrow H₂.

Lionell Milgrom (1984) decía que los científicos habían envidiado durante mucho tiempo la capacidad de las plantas para aprovechar la energía solar. Nuevos grupos de investigadores utilizando semiconductores están, en estos momentos, intentando repetir el proceso de obtención de H₂ sin conseguirlo.

El consumo de energía se ha disparado en los últimos años, siendo la eléctrica una de las formas energéticas más utilizadas debido a sus características, tanto técnicas como económicas, de facilidad de transporte y manipulación y de alimentar a receptores de altos rendimientos.

Según datos de la Unidad Eléctrica S.A. (UNESA) la producción anual de energía eléctrica en España en los últimos tiempos ha ido experimentando la siguiente evolución:

Años	Consumo en MW.h	Incremento medio anual. %
1960	14.625	—
1965	25.131	14,37
1970	45.300	16,05
1975	69.271	10,58
1980	92.006	6,56
1985	105.579	2,95
1990	129.161	4,47
1995	150.289	3,27
1997	161.381	3,69

Cada vez se hace más necesaria la utilización de energías renovables por lo que, desde hace unos 20 años, la DG XII está promocionando programas de investigación, desarrollo y demostración para su utilización, entre los que se pueden citar:

- Bioenergy 1980 – 1984
- Energy from biomass 1985 – 88
- Joule 1989 – 92

- Joule II 1992 – 94
- Thermie 1991 – 94
- Air 1994 – 98

Según estimaciones de la DG XII unas 2·10⁷ ha de tierras de cultivos y otras 2·10⁷ ha. de tierras marginales se podrían dedicar al cultivo de biomasa antes del año 2000, con lo que se podría alcanzar un potencial energético de un 15 %.

Según datos de la empresa ADARO, en *Manual de Biomasa* (IDAE 1993), los recursos agrícolas y forestales utilizables por comunidades autónomas, dados en toneladas equivalentes de petróleo al año, son:

Comunidad autónoma	Residuos forestales	Residuos agrícolas	Total utilizables
Andalucía	220.851	610.654	831.505
Aragón	88.937	561.185	650.122
Asturias	81.220	17.001	98.221
Baleares	8.472	18.336	26.808
Canarias	19.139	1.467	20.606
Cantabria	76.212	11.467	87.680
Castilla y León	272.197	1.025.359	1.297.556
Castilla- La Mancha	135.344	716.709	852.052
Cataluña	66.231	384.551	450.782
Extremadura	172.044	247.984	420.28
Galicia	287.288	214.749	502.38
La Rioja	38.792	57.583	96.375
Madrid	10.495	64.550	75.045
Murcia	37.797	65.098	102.896
Navarra	70.004	45.538	115.542
Valencia	70.382	150.638	221.020
País Vasco	95.591	477.125	572.716
Totales	1.750.998	4.669.993	6.420.991

Actualmente las energías renovables, en Europa, cubren aproximadamente un 5 % de las necesidades energéticas de la Unión Europea. Para el bienestar de la sociedad y por razones de política energética y medioambiental la Comisión de la Comunidad Europea estableció un programa de energías renovables, como se indicó en la

comunicación *Energía para el futuro: Fuentes de energía renovable*, que constituye el llamado Libro Verde en donde se contempla, sobre las energías renovables:

- Situación actual en la Unión Europea.
- Previsiones sobre el grado de penetración en el mercado en función de las políticas de apoyo.
- Ventajas de su utilización, para la comunidad.
- Problemas que han de afrontarse.
- Posibles estrategias para su desarrollo.

El Libro Verde sobre energías renovables dará lugar al Libro Blanco, en el que se definirán las actuaciones estratégicas con vistas al año 2010.

La estructura de las energías renovables en la Unión Europea en 1995, según *Las energías renovables en España: Balance y perspectivas 2000*, editado por el MINER (1997), es:

Fuentes	Producción en ktep	Porcentajes
Geotérmica	2.518	3,5
Biomasa y residuos sólidos urbanos	44.842	61,5
Solar térmica	261	0,4
Hidráulica	24.950	34,2
Eólica	347	0,5

De ellas, la producción de energía eléctrica con energías renovables en 1995 fue de 319.949 GW.h, lo que supone un 13,8 % de la generación eléctrica en los 15 países de la Unión. La producción a partir de biomasa se hace cada vez más significativa, siendo de 22.640 GW.h en el mismo año.

La producción de energía primaria con energías renovables en la U.E. en el año 1995 por naciones, expresada en ktep, según EUROSTAT es:

Areas	Hidrá	Biom.	RSU	Eólic	Sol. F	Sol. T	Geot	Total	Apor
Alemania	1799	3328	1073	147	0,6	40,0	9	6397	1,9
Austria	3178	3225	97	0	0,1	36,0	4	6500	24,3
Bélgica	29	329	142	1	0,0	1,0	1	503	1,0
Dinamarca	3	835	560	101	0,0	5,0	1	1505	7,3
España	1987	3574	187	23	0,3	25,0	7	5803	5,7
Finlandia	1177	5056	12	1	0,0	0,0	0	6175	21,3
Francia	6249	9295	879	1	0,0	15,0	132	16574	7,1
Grecia	312	1398	0	3	0,0	103,0	3	1819	7,4
Holanda	8	473	497	27	0,2	3,0	0	1008	1,4
Irlanda	69	161	0	1	0,0	0,0	0	232	2,1
Italia	3248	3392	64	1	1,1	7,0	2323	9037	5,6
Luxemb.	7	16	23	0	0,0	0,0	0	46	1,4
Portugal	727	2379	0	1	0,0	1,5	38	3160	5,7
Reino U.	454	599	344	30	0,0	6,0	1	1435	0,7
Suecia	5763	6519	390	5	0,0	0,0	0	12681	25,5
Total	24950	40573	4269	347	2,3	261	2518	72876	5,3

La biomasa es, actualmente, la fuente de energía renovable más importante en términos cuantitativos y contribuye, con más de un 3 %, al aprovechamiento energético de la U.E., siendo dentro del ámbito doméstico donde más se utiliza, con el 55 % del consumo total de biomasa, y Francia el país de mayor consumo, con un 80 % aplicado al sector doméstico.

En España en el año 1996 el consumo de energía primaria, en ktep, fue:

Fuente	Aportación	Porcentaje
Petróleo	56.180	55,1
Carbón	15.394	15,1
Nuclear	14.680	14,4
Gas	8.401	8,2
Energías Renovables	7.370	7,2
Total	102.025	100

La producción eléctrica con Energías Renovables, en GW.h año⁻¹, en España:

Áreas	Año 1995	Año 1996
Hidráulica	19.813,2	35.461,4
Minihidráulica	3.211,8	5.289,6
Biomasa	816,0	826,7
Residuos Sólidos Urbanos	248,5	525,4
Eólica	191,7	316,6
Solar Fotovoltaica	11,7	12,2
Total	24.292,9	42.431,9

La biomasa presenta un gran número de aplicaciones con tecnologías que aún están en desarrollo. Es la energía renovable con mayor tradición como fuente térmica y es de esperar que, con el desarrollo de los cultivos Agroenergéticos, la biomasa vegetal suponga una de las soluciones para abastecer a la humanidad de energía limpia y barata en el futuro.

Sería deseable que todas estas investigaciones fueran capaces de proporcionarnos abundante energía, buena y limpia para poder cubrir las necesidades venideras, no sólo económicas, sino también de bienestar y confort.

Y también sería deseable, como no, que a pesar de esta biomasa vegetal, cuando vayamos a repostar a la estación de servicio, podamos seguir pidiendo el combustible en litros, kilos, pesetas o euros, unidades bien conocidas por todos, y no en unidades de áridos, como el celemín o la hemina y mucho menos en unidades de superficie agraria, como el almud, la tahulla o la obrada.

10. Bibliografía

- AVELLANER LACAL J., y LAVANDEIRA ADAN JC., 1992. *Las energías renovables en Castilla y León*. Ed. Junta de Castilla y León.
- C.I.E.M.A.T., 1995. *Energías renovables*
- C.I.E.M.A.T., 1995. *La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*.
- CALVIN M., 1980. *Obtención de hidrocarburos mediante cultivos agrícolas* (Conferencia de investidura como Dr. Honoris Causa por la UPM)
- COOK E., 1971. *The flow of energy in an industrial society*. Scientific American.
- CROSS M., 1984. *Cultive su propia energía*. Ed. Pirámide
- FERNANDEZ J., 1980. *La agricultura como productora de energía*. (Ponencia en el Simposio Internacional sobre Energía e Industrias Agrícolas y Alimenticias. Madrid, Octubre 1980)
- FERNÁNDEZ J., 1995. "Cultivos energéticos". En: *La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Ed. CIEMAT
- FERNÁNDEZ J., 1995. "La biomasa como fuente de energía y productos no alimenticios". En: *La biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Ed. CIEMAT
- FERNÁNDEZ J., 1995. "Perspectivas de la producción de biomasa con fines energéticos". En: *Energías renovables*. Ed. CIEMAT
- GARCÍA-BADELL J.J., 1979. *La energía solar, el hombre y la agricultura*. Ed. M° de Agricultura
- HAROLD HARTLEY Frs., 1964. "Combustible y energía en 1984". *New Scientist* 28.05.64. En: *Cultive su propia energía*. Ed. Pirámide
- I.D.A.E., 1986. *Jornadas sobre energías renovables '86. Biomasa e hidráulica*. 26-27 Mayo 1986
- I.D.A.E., 1993. *Cuadernos de energías renovables 5. Manual de biomasa*
- LUCAS H., 1974. *El gran libro de la salud*. Enciclopedia médica de selecciones del Reader Digest. Madrid
- MÁRQUEZ L., 1995. "Los biocarburantes: limitaciones y perspectivas". En: *Energías renovables*. Ed. CIEMAT
- M.I.N.E.R., 1997. *Las energías renovables en España. Balance y perspectivas 2000*
- MACKILLOP A., 1973. "Alternativas tecnológicas". *New Scientist* 22.11.73. En: *Cultive su propia energía*. Ed. Pirámide
- SCIENTIFIC AMERICAN., 1982. *La energía*. Ed. Alianza
- STONT B.A., 1980. *Energía para la agricultura mundial*. Ed. FAO. Roma
- SUÁREZ J., 1982. *Efecto de la humedad del suelo y el fotoperiodo sobre la apertura estomática*. (Tesis Doctoral)

WEEK T., 1981. "Más luz que calor". *New Scientist* 20.08.81. En: *Cultive su propia energía*. Ed. Pirámide
ZISCHA A., 1961. *Pasado, presente y futuro de la energía*. Ed. Labor S.A

11.- Anexo: Unidades utilizadas

1 BTU (British Thermal Unit)	= 1.055 J
1 <i>Termia</i>	= 1,055 · 10 ⁶ kJ
1 Barril de petróleo	= 147 l
1 Bushels (Gran Bretaña)	= 36,36 l
1 Bushels (EE.UU)	= 35,24 l
1 tec (t equiva. de carbón)	= 1,5 · 10 ⁶ kJ
1 tep (t equiva. de petróleo)	= 2,4 · 10 ⁶ kJ
1 nm (nanómetro)	= 10 ⁻⁹ m
1 acre	= 4.046,86 m ²
1 milla	= 1.600 m
1 pié	= 0,30 m
1 libra	= 0,447 kg
1" (pulgada)	= 0,0286 m
1 kW·h	= 3,6 · 10 ⁶ J
1 kcal	= 240 J
1 galón	= 4,2 l