

LA AGROENERGETICA Y SUS LIMITACIONES: PLANTEAMIENTO DE UN CASO PRACTICO EN EL VALLE DEL GUADALQUIVIR**

Por Federico Sau Sau*

1. LA AGROENERGETICA Y SUS LIMITACIONES

1.1. Introducción

El redescubrimiento de la agroenergética es, en gran medida, una de las consecuencias de la «crisis del petróleo» que, iniciada en 1973, incentivó la búsqueda de fuentes de energía alternativas.

En la actualidad estamos asistiendo a una baja del precio de los crudos, pero parece improbable que esta situación perdure indefinidamente. El problema energético es un problema de fondo y no circunstancial.

Examinando las reservas energéticas y el consumo de los Estados Unidos, se perciben unos desajustes que no dejan de ser muy llamativos. El petróleo y los líquidos del gas natural sólo representan un 1% de las reservas. El gas natural representa otro 1% mientras que un 47% del consumo de energía se hace en forma de petróleo y de líquidos del gas natural, y un 25% en forma de gas natural. No se puede consumir de forma acelerada la fuente de energía que más escasea sin comprometer gravemente el futuro (gráf. n.º 1).

Todo parece indicar que el mundo está presenciando una vez más en su historia el paso de una fuente de energía predominante a otra.

(*) Ingeniero Agrónomo.

(**) Este artículo está basado en el Proyecto de fin de carrera: «Estudio del Potencial Agroenergético del Valle Medio del Guadalquivir y su Aplicación a la Transformación de la finca Mingaoben del Término Municipal de Almodóvar del Río (Córdoba) en Unidad Productora de Energía». Realizado por Federico Sau Sau (Ingeniero Agrónomo) bajo la dirección de Elías Fereres Castiel (Catedrático de Fitoecnia I de la E.T.S.I.A. de Córdoba). Córdoba: Febrero 1984.

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

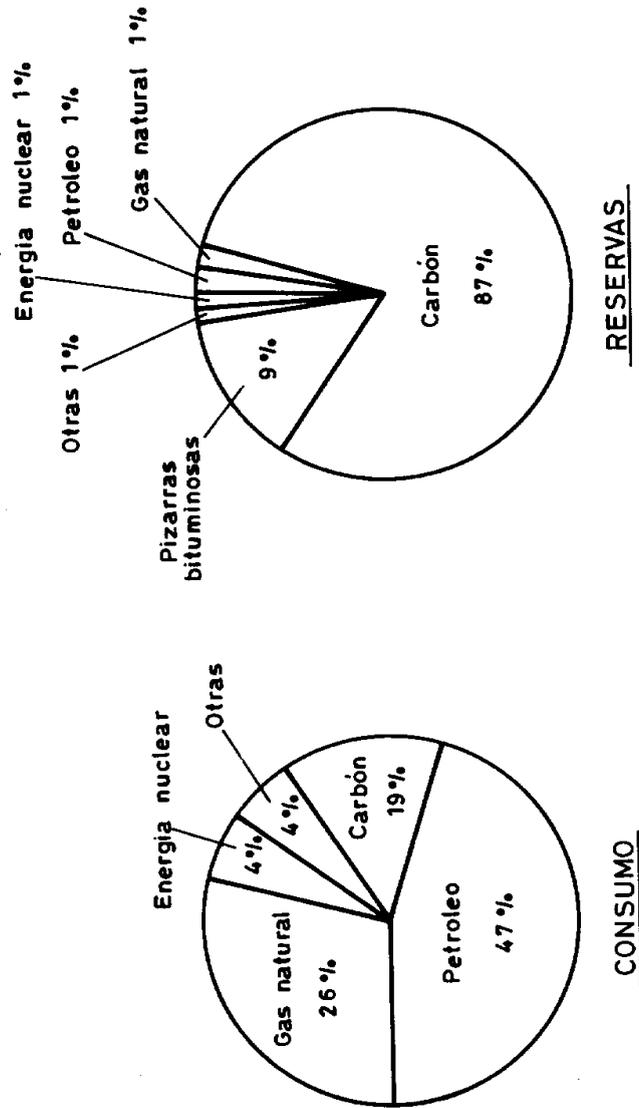


Gráfico nº 1.— Consumo de energía y reservas de los EE. UU. (2)

La experiencia demuestra que estas mutaciones necesitan largos lapsos de tiempo, ya que el sistema productivo tiene que adaptarse progresivamente (gráf. n.º 2).

Los combustibles líquidos son los que más escasean y, cuando se observa todo el abanico de los combustibles líquidos alternativos, se percibe que ninguno de ellos, por separado, es la solución del problema. Será necesario, pues, recurrir a varios de ellos a la vez (2).

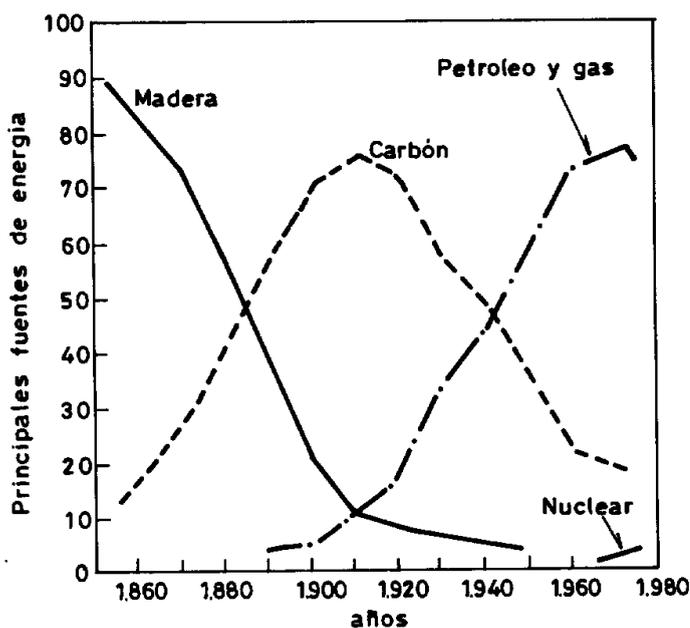


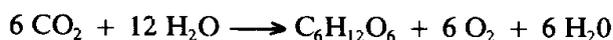
Gráfico n.º 2.— Evolución histórica del consumo de energía en el mundo (2)

Por otro lado, la agricultura española, que era prácticamente autosuficiente en los años 50, ha pasado a depender en más de un 40% de sus inputs energéticos de otros sectores y, sobre todo, de las importaciones de crudo (9). Ante esta situación, es preciso estudiar soluciones alternativas para el caso hipotético de una restricción política o económica del suministro de crudo a este país. En este contexto, la agroenergética parece ser una de las alternativas cuyo estudio de viabilidad es necesario.

1.2. Producción potencial: Máximo teórico de la fotosíntesis

Si queremos obtener energía a partir de la agricultura hay que maximizar la producción de biomasa. Por esto, es necesario conocer cómo se genera y en qué medida podemos aumentar la producción.

El crecimiento y desarrollo de la planta son debidos casi exclusivamente a la fotosíntesis, que consiste en la reducción del dióxido de carbono ambiental mediante electrones sustraídos al agua y la incorporación del carbono a la biomasa. El fenómeno ocurre en las hojas principalmente, y la ecuación química que lo resume es:



La fotosíntesis es el mecanismo por el cual parte de la energía radiante del sol es fijada y almacenada en forma de biomasa. Por esto, la biomasa es una fuente de energía renovable con el mismo título que la energía solar.

El rendimiento máximo de la fotosíntesis es la porción de energía radiante que es capaz de fijar el fotosistema de una planta superior cuando los únicos factores limitantes son la naturaleza de la luz solar y la ruta fotosintética *per se*. El rendimiento máximo estimado es del 11% (4), y es importante darse cuenta que no es posible hacer nada para mejorar este límite superior fotosintético mientras la evolución no desarrolle un mecanismo fotosintético completamente nuevo.

Este dato corresponde a la fotosíntesis bruta, pero la planta necesita energía para mantener y construir el aparato fotosintético. Esta energía procede de la respiración y se resta de la fotosíntesis bruta para obtener la fotosíntesis neta. Es evidente que el rendimiento máximo de la fotosíntesis neta se aleja considerablemente del 11% teórico (4).

1.3. Producciones potenciales medidas

En condiciones excepcionalmente favorables se registran récords de productividad. Estos demuestran que es factible mejorar sustancialmente las producciones medias.

Cuando los factores externos se acercan al óptimo (dentro de un entorno climático determinado) se obtienen las cosechas récord. La diferencia entre el rendimiento récord y el obtenido se explica por los factores limitantes, que son muy diversos: temperatura, agua, CO₂, nutrientes, salinidad del suelo,...

Tabla 1

Cosechas récord mundiales, cosechas medias en EE.UU. en 1977 (1) y cosechas medias españolas

	<i>Cosecha record mundial (toneladas/Ha)</i>	<i>Cosecha media EE.UU. (toneladas/Ha)</i>	<i>Cosecha media española (toneladas/Ha)</i>
Maíz	20,1	5,1	4,2
Trigo	13,1	1,9	1,5
Soja	5,1	2,0	1,7
Sorgo	19,5	3,0	4,4
Cebada	10,3	2,2	1,8
Patata	86,2	25,0	14,4
Arroz	13,1	2,3	6,1
Caña de azúcar	227,0	45,3	79,0
Remolacha	—	47,2	31,8

Tanto la luz como el CO₂ son difíciles de modificar. Lo único que se puede hacer es modificar la densidad de siembra y la arquitectura de la planta. La mayor parte de la mejora de la productividad procederá, pues, de un mejor empleo de los nutrientes y del agua, de las modificaciones del crecimiento y de la respuesta de la planta a las variaciones del medio ambiente.

Pero las prácticas de cultivo que reducen los factores limitantes son costosas tanto a nivel energético como a nivel económico. Considerando el balance energético, hay que evaluar si el incremento de los inputs energéticos produce un incremento de los outputs suficientemente grande para que la práctica resulte aconsejable. También hay que considerar que el querer reducir los factores limitantes conduce a cultivar en zonas no marginales, pudiendo entrar entonces los cultivos agroenergéticos en competencia directa con los cultivos tradicionales.

1.4. Cultivos agroenergéticos y balances energéticos

Con ellos se trata de obtener la mayor cantidad de biomasa posible transformable en energía y preferentemente en combustible líquido. Por esto, en principio, las especies que se cultiven con fines energéticos serán probablemente distintas a las que se cultiven con fines alimenticios. El espectro de especies susceptibles de ser cultivadas es mucho más amplio. Es posible, pues, que algunos cultivos agroenergéticos adaptados a las zonas marginales permitan la colonización y el aprovechamiento de éstas.

Para evaluar el interés agroenergético de un cultivo, se realiza un balance energético en el cual se contabilizan:

- Inputs: no renovable aportada al sistema (kcal/Ha).
- Outputs: energía contenida en la biomasa producida (kcal/Ha).

Lo que realmente interesa en una explotación agroenergética es maximizar los outputs y minimizar los inputs. Cuanto mayor sea la relación output/input más rentable a nivel energético es la explotación. Si la relación es inferior a uno, el cultivo es un sumidero de energía y no tiene sentido a nivel agroenergético.

Este es el balance a nivel de cultivo, pero el que tiene mayor interés es el balance energético total, que tiene en cuenta tanto la energía aportada a nivel de cultivo como la consumida en el proceso industrial que produce el combustible líquido o gaseoso. El output, en este caso, es la energía contenida en el combustible.

El balance energético de cada cultivo es función de las técnicas de cultivo empleadas, del suelo, del clima, del proceso de transformación, ... Es preciso evaluar estos balances para cada caso particular y luego elegir los cultivos que parecen más interesantes desde este punto de vista.

Seguidamente se expone un estudio agroenergético de una zona representativa del Valle Medio del Guadalquivir para el cual ha sido necesaria la realización de numerosos balances energéticos.

2. DESARROLLO DE UN CASO PRACTICO: TRANSFORMACION DE UNA FINCA TIPO DEL VALLE MEDIO DEL GUADALQUIVIR EN UNIDAD PRODUCTORA DE ENERGIA; EVALUACION FINANCIERA

2.1. Condicionantes del entorno

Los cultivos que pueden tener interés para fines agroenergéticos en el Valle Medio del Guadalquivir vienen determinados por el clima y los suelos que imperan en la zona:

— *Clima*: Según la clasificación climática propuesta por Papadakis, el invierno es del tipo «citrus no tropical», y el verano del tipo «Algodón más cálido», siendo el tipo climático «Mediterráneo subtropical cálido».

Según el criterio de Thornthwaite, el tipo climático corresponde a «Húmedo-subhúmedo» con falta intensa de agua en verano y eficacia térmica «mesotérmico».

— *Suelo*: Los suelos más difundidos a lo largo del valle se pueden clasificar en tres grandes tipos:

- A) *Suelo de vega* (Entisol-Fluvent, según la Soil Taxonomy): Son suelos de gran profundidad, poco estructurados y cuya textura oscila entre franca y arenoso franca. El perfil puede presentar lechos de grava. El pH es alto (8,1 a 8,5) y el agua útil es aproximadamente de 90 mm por cada metro de perfil. No presenta problemas de drenaje y es un muy buen suelo de regadío. Este es el suelo que se ha considerado en los balances energéticos de los cultivos de regadío.
- B) *Suelo de terraza* (Haplo o Rhodoxeralis, según la Soil Taxonomy): Son suelos profundos (1,5 m), bien estructurados y bien drenados. El primer horizonte (Ap) es de textura franca y tiene una profundidad de 20-30 cm. El segundo horizonte y los siguientes son más arcillosos. Los elementos gruesos ocupan desde un 5 a un 30% del volumen del suelo. La capacidad de intercambio catiónico y el agua útil son relativamente elevados. Son buenos suelos de secano. El pH oscila de 6 a 8, y puede formarse una capa colgada de agua temporal en invierno. Este es el suelo que se ha considerado en los balances energéticos de los cultivos de secano.
- C) *Suelo de sierra*: Ante la gran variabilidad de este tipo de suelo es imposible describir un perfil tipo. El pH es cercano a 6. Son suelos poco profundos, con gran abundancia de elementos gruesos y pobres, en general, en nutrientes. El factor más limitante es la poca profundidad efectiva del suelo que limita notablemente su capacidad de retención de agua. El agua viene a ser el factor limitante de la producción de biomasa. Este es el suelo que se ha considerado en el balance energético de la *Euphorbia lathyris*.

2.2. Cultivos y rendimientos considerados

Los diez cultivos para los cuales se han realizado balances energéticos se han escogido teniendo en cuenta las características agrobiológicas de la zona, su potencial de producción de biomasa y su posible transformación en combustible líquido. Estos cultivos son:

- Cultivos productores de alcohol a partir de almidón: Trigo (secano y regadío), Maíz, Sorgo de 2.^a cosecha, Patatas (ver cuadro 1).
 - Cultivos productores de alcohol a partir de sacarosa: Remolacha (primavera, otoño), Sorgo dulce (ver cuadro 2).
-

Cuadro 1

Cultivos productores de alcohol a partir de almidón

Cultivo	Hipótesis de riego	Proceso industrial	Rendimiento (T/Ha)	Inputs del cultivo (Kcal/Ha)	Inputs del proceso industrial (kcal/l)*
Trigo de regadío	I	A	6	5.616.482	3.225
Trigo de regadío	I	B	6	5.616.482	908
Trigo de regadío	II	A	6	5.011.782	3.225
Trigo de regadío	II	B	6	5.011.782	908
Maíz de regadío	I	A	11	9.627.456	3.225
Maíz de regadío	I	B	11	9.627.456	908
Maíz de regadío	II	A	11	8.239.656	3.225
Maíz de regadío	II	B	11	8.239.656	908
Sorgo de 2ª de regadío	I	A	4,5	6.594.873	3.225
Sorgo de 2ª de regadío	I	B	4,5	6.594.873	908
Sorgo de 2ª de regadío	II	A	4,5	5.643.973	3.225
Sorgo de 2ª de regadío	II	B	4,5	5.643.973	908
Patatas de regadío	I	A	45	10.935.436	3.225
Patatas de regadío	I	B	45	10.935.436	908
Patatas de regadío	II	A	45	10.395.736	3.225
Patatas de regadío	II	B	45	10.395.736	908
Trigo de secano	—	A	3	3.231.112	3.225
Trigo de secano	—	B	3	3.231.112	908

(*) l = litro de alcohol.

Cuadro 2

Cultivos productores de alcohol a partir de sacarosa

Cultivo	Hipótesis de riego	Proceso industrial	Rendimiento (T/Ha)	Inputs del cultivo (Kcal/Ha)	Inputs del proceso industrial (kcal/l) ¹
Remolacha de Primavera	I	A	47	9.580.580	2.605
Remolacha de Primavera	I	B	47	9.580.580	1.100
Remolacha de Primavera	II	A	47	7.910.080	2.605
Remolacha de Primavera	II	B	47	7.910.080	1.100
Remolacha de Otoño	I	A	65	10.983.950	2.605
Remolacha de Otoño	I	B	65	10.983.950	1.100
Remolacha de Otoño	II	A	65	9.596.150	2.605
Remolacha de Otoño	II	B	65	9.596.150	1.100
Sorgo Dulce	I	A	96	10.634.809	2.605
Sorgo Dulce	I	B	96	10.634.809	1.100
Sorgo Dulce	II	A	96	8.835.809	2.605
Sorgo Dulce	II	B	96	8.835.809	1.100
Pataca ²	I	A	28	11.432.131	3.000
Pataca	I	B	28	11.432.131	1.495
Pataca	II	A	28	10.147.131	3.000
Pataca	II	B	28	10.147.131	1.495

¹) l = litro de alcohol.²) Azúcar principal: Inulina.

<i>Producción de combustible (l/Ha)</i>	<i>Input total (kcal/l)</i>	<i>Output (kcal/l)</i>	<i>Output-Input (kcal/l)</i>	<i>Output-Input (kcal/Ha)</i>	<i>Output Input</i>
2.128	5.864	5.593	-271	-576.688	0,954
2.128	3.547	5.593	2.046	4.353.888	1,577
2.128	5.580	5.593	13	27.664	1,002
2.128	3.263	5.593	2.330	4.958.240	1,714
3.855	5.722	5.593	-129	-497.295	0,977
3.855	3.405	5.593	2.188	8.434.740	1,643
3.855	5.362	5.593	231	890.505	1,043
3.855	3.045	5.593	2.548	9.822.540	1,837
1.502	7.616	5.593	-2.023	-3.038.546	0,734
1.502	5.299	5.593	294	441.588	1,055
1.502	6.983	5.593	-1.390	-2.087.780	0,801
1.502	4.666	5.593	927	1.392.354	1,199
3.349	6.490	5.593	-897	-3.004.053	0,862
3.349	4.173	5.593	1.420	4.755.580	1,340
3.349	6.329	5.593	-736	-2.464.864	0,884
3.349	4.012	5.593	1.581	5.294.769	1,394
1.063,8	6.262	5.593	-669	-711.816	0,893
1.063,8	3.945	5.593	1.648	1.753.472	1,418

<i>Combustible producido por Ha (l/Ha)</i>	<i>Input total (kcal/l)</i>	<i>Output (kcal/l)</i>	<i>Output-Input (kcal/l)</i>	<i>Output-Input (kcal/Ha)</i>	<i>Output Input</i>
4.042	4.975	5.593	618	2.497.956	1,124
4.042	3.470	5.593	2.123	8.581.166	1,612
4.042	4.562	5.593	1.031	4.167.302	1,226
4.042	3.057	5.593	2.536	10.250.512	1,830
5.590	4.570	5.593	1.023	5.718.570	1,224
5.590	3.065	5.593	2.528	14.131.520	1,825
5.590	4.322	5.593	1.271	7.104.870	1,294
5.590	2.817	5.593	2.776	15.517.840	1,985
4.397	5.024	5.593	569	2.501.893	1,113
4.397	3.519	5.593	2.074	9.119.378	1,589
4.397	4.615	5.593	978	4.300.266	1,212
4.397	3.110	5.593	2.483	10.917.751	1,798
4.726	5.419	5.593	174	822.324	1,032
4.726	3.914	5.593	1.679	7.934.954	1,429
4.726	5.147	5.593	446	2.107.796	1,087
4.726	3.642	5.593	1.951	9.220.426	1,536

Cuadro 3
Cultivos productores de aceite

Cultivo	Hipótesis de riego	Rendimiento (T/Ha)	Inputs del cultivo (Kcal/Ha)	Inputs del proceso industrial (kcal/l)*	Producción de combustible (l/Ha)
Girasol de Secano	—	1,5	3.830.469	266	731
Soja de 2ª cosecha	I	2,2	4.111.915	666	396
Soja de 2ª cosecha	II	2,2	3.135.315	666	396

(*) 1 = litro de aceite.

NOTA EXPLICATIVA DE LOS CUADROS

- 1) Se han realizado dos hipótesis de riego:
 - Hipótesis I: cultivo regado por aspersión.
 - Hipótesis II: cultivo regado por riego de superficie.
- 2) Para la producción de alcohol consideramos dos procesos:
 - Proceso Industrial A: El vapor necesario a la destilación del alcohol es producido a partir de fuel-oil.
 - Proceso industrial B: El vapor necesario a la destilación del alcohol es producido a partir de la caña de maíz o de rastrojos.
- 3) Para la producción de aceite, la extracción se hace por prensado.

- Cultivos productores de alcohol a partir de inulina: Pataca (ver cuadro 2).
- Cultivos productores de aceite: Girasol, Soja (ver cuadro 3).
- Cultivos productores de látex: *Euphorbia lathyris*.

Los rendimientos considerados son los que se suelen obtener en la agricultura comercial cuando las prácticas de cultivo son las adecuadas (ver cuadros). Para los cultivos que no se cultivan en la zona se ha recurrido a las publicaciones extranjeras considerando que los rendimientos obtenidos en zonas cuyas características agroclimáticas son similares a las cordobesas, son aceptables (12) (5) (14). En el caso de la *Euphorbia Lathyris*, como las extracciones de agua son las que determinan la producción de materia seca (8), hemos tenido en cuenta este factor para determinarla.

<i>Input total (kcal/l)</i>	<i>Output (kcal/l)</i>	<i>Output-Input (kcal/l)</i>	<i>Output-Input (kcal/Ha)</i>	<i>Output Input</i>
5.506	8.650	3.144	2.298.264	1,571
11.050	8.650	-2.400	-950.400	0,783
8.583	8.650	67	26.532	1,008

2.3. Balances energéticos

Los inputs energéticos a nivel de cultivo se han evaluado siguiendo el método expuesto por F. Orgaz (1982) (11), adaptándolo al caso de cada uno de los cultivos considerados.

El input energético necesario a los procesos industriales se ha extraído de la bibliografía (10) (7) (12).

Los balances energéticos de los cultivos se resumen en los cuadros 1, 2 y 3:

- El coste energético total de la materia prima destinada a la producción de etanol, aceite o isoprenoides mediante un proceso industrial, aparece en los cuadros 1, 2 y 3 como inputs del cultivo (kcal/Ha), y representa la suma de los costes siguientes:
 - 1) Coste energético del combustible consumido en labores, considerando el valor calorífico del combustible.
 - 2) Coste energético de la fabricación de maquinaria.
 - 3) Coste energético de la fabricación de fertilizantes.
 - 4) Coste energético de la fabricación de pesticidas.
 - 5) Coste energético de la producción de la semilla.
 - 6) Coste energético del riego. Hipótesis I: Riego por aspersión; Hipótesis II: Riego de superficie.
 - 7) Coste energético del transporte de los inputs hasta la finca.
- El coste energético del proceso industrial corresponde, en los cuadros 1, 2 y 3, a inputs del proceso industrial (kcal/l).
- El coste energético total necesario a la producción de un litro de aceite o etanol (input total, kcal/l) se deriva de los dos cos-

tes anteriores teniendo en cuenta el combustible producido por Ha (l/Ha).

- El output energético (output, kcal/l) es el contenido energético de un litro de alcohol o de aceite.
- Finalmente, se realiza el balance energético, bien como output-input, bien como ratio output/input.

2.4. Rotación de cultivos adoptada para optimizar la producción de energía

2.4.1. Descripción de la finca en su situación anterior a la realización del proyecto:

La finca está situada en la margen derecha del río Guadalquivir, en el término municipal de Almodóvar del Río (Córdoba).

Tiene una superficie cultivable de 486 Ha, distribuidas de la manera siguiente:

- Regadío: 156 Ha (suelo de vega, pendiente 0,5%).
- Secano: 280 Ha (suelo de terraza, pendiente 2%), y
50 Ha (suelo de sierra, pendiente 18%).

La rotación de cultivos llevada a cabo entonces en la finca es la siguiente:

- *Regadío*: 1ª hoja: Maíz (52 Ha)
2ª hoja: Trigo (52 Ha)
3ª hoja: Remolacha (52 Ha).
- *Secano*: 1ª hoja: Trigo (140 Ha)
2ª hoja: Girasol (140 Ha).

La zona de sierra de la finca no se cultiva.

2.4.2. Rotación adoptada

Para esto se plantea una nueva rotación de cultivos más eficiente a nivel agroenergético que la existente, basándose en el estudio agroenergético resumido en los cuadros 1, 2 y 3.

Se proyecta la construcción de una planta productora de etanol capaz de procesar la materia prima producida en la finca y transformarla en combustible líquido (etanol 94°).

La alternativa se justifica en base al potencial agroenergético de los cultivos elegidos, así como en la necesidad de mantener la destilería en funcionamiento durante los meses de invierno y limitar las ne-

cesidades de almacenamiento. Esto último justifica la siembra de remolacha de primavera en una zona donde predomina la de otoño.

- *Regadío:*
- 1ª hoja: Remolacha de primavera (52 Ha, 15 de Marzo-31 de Octubre). En esta zona, el rendimiento de la Remolacha de primavera es sensiblemente inferior al de la Remolacha de otoño. Por esto, la Remolacha de primavera no se cultiva en el Valle del Guadalquivir. Sin embargo, se ha escogido este cultivo porque permite alimentar la destilería en invierno sin dejar de producir un excedente energético apreciable (+ 10.250.512 kcal/Ha; ver cuadro 2, Remolacha de primavera II, B).
 - 2ª hoja: Maíz (52 Ha, 15 de Marzo-31 de Agosto). Es un cultivo de elevada eficiencia fotosintética que es triplemente interesante a nivel agroenergético:
 - Excedente energético alto (+9.822.540 kcal/Ha; ver cuadro 1, Maíz II, B).
 - Producción de un rastrojo excelente que permite producir vapor sin necesidad de fuel-oil, con el consiguiente ahorro energético.
 - El grano de maíz se almacena en silos, lo cual posibilita el funcionamiento de la destilería durante más tiempo.
 - 3ª hoja: Remolacha de otoño (26 Ha, 1 de Noviembre-31 de Julio), Sorgo dulce (26 Ha, 15 de Marzo-15 de Septiembre). De los balances energéticos planteados, el de la Remolacha de otoño es el más positivo (+ 15.517.840 kcal/Ha; ver cuadro 2, Remolacha de otoño II, B), seguido por el Sorgo dulce (+ 10.917.751 kcal/Ha; ver cuadro 2, Sorgo dulce II, B).
- *Secano:* La zona de secano se divide en una sola hoja. En ella se cultivará Girasol de forma continuada como se realiza en algunas zonas de EE.UU. y de la Unión Soviética. El Girasol arroja un balance más
-

positivo que el Trigo en condiciones de secano (Girasol de secano: + 2.298.264 kcal/Ha, ver cuadro 3; Trigo de secano: + 1.753.472 kcal/Ha, ver cuadro 1, Trigo de secano, B).

- *Sierra:* El caso de la Euphorbia (13). El coste energético total del cultivo de *Euphorbia lathyris* en la zona de sierra es de: 2.602.000 kcal/Ha. El output esperado, teniendo en cuenta las extracciones de agua que puede realizar la planta, es de: 2.138.000 kcal/Ha. Se descarta la posibilidad de cultivar un cultivo agroenergético en las 50 Ha de sierra de la finca, ya que el balance energético a nivel de cultivo de la Euphorbia, que es una planta teóricamente adaptada a las zonas marginales, es claramente negativo (−460.000 kcal/Ha). El factor limitante, que condiciona la tasa de crecimiento y, por lo tanto, la producción de biomasa, es la baja capacidad de retención de agua del suelo. Esto pone en duda el interés agroenergético que puedan tener las zonas que se han considerado tradicionalmente como marginales.

2.4.3. Descripción del proceso industrial:

El alcohol se produce a partir de 3 materias primas distintas y cada una requiere un proceso sensiblemente diferente. De forma esquemática, el proceso se puede sintetizar de la siguiente forma:

Maíz:

- 1) Almacenamiento.
- 2) Molienda.
- 3) Almacenamiento de la harina en la tolva.
- 4) Transporte de la harina al fermentador.
- 5) Cocción.
- 6) Conversión: Dextrina → Azúcar.
- 7) Fermentación.
- 8) Filtración.
- 9) Destilación.

Remolacha:

- 1) Almacenamiento.
- 2) Lavado.
- 3) Troceado.
- 4) Transporte de la remolacha troceada a los fermentadores.
- 5) Difusión del azúcar.

- 6) Fermentación.
- 7) Filtración.
- 8) Destilación.

Sorgo Dulce:

- 1) Almacenamiento del sorgo dulce.
- 2) Troceado.
- 3) Prensado.
- 4) Transporte del jugo de sorgo al fermentador.
- 5) Fermentación.
- 6) Filtración.
- 7) Destilación.

2.4.4. Características de la destilería y calendario de producción:

La destilería funciona día y noche, y tiene una producción horaria de 99,2 l de alcohol de 94°.

El rastrojo de maíz, una vez empacado y almacenado, sirve de combustible para alimentar la caldera que produce el vapor necesario al proceso. Las 52 Ha cultivadas de maíz permiten abastecer al proceso en vapor durante toda la campaña. El grano de maíz se recoge y almacena en un silo de 600.000 kg de capacidad.

La remolacha y el sorgo dulce se recogen a medida que lo requiere el proceso industrial.

La campaña de la fábrica se inicia el 1 de Julio:

1 de Julio - 2 de Septiembre	Remolacha de otoño
3 de Septiembre-15 de Septiembre	Maíz
16 de Septiembre-4 de Noviembre	Sorgo dulce
5 de Noviembre-3 de Febrero	Remolacha de primavera
4 de Febrero-20 de Abril	Maíz
21 de Abril-30 de Junio	Vacaciones y mantenimiento de la destilería

El proceso industrial está muy automatizado y la labor a realizar es eminentemente de control y mantenimiento.

La plantilla está constituida por:

- 4 encargados especializados en turnos de 8 horas cada uno.
- 1 peón.
- 1 administrativo a tiempo parcial.

2.4.5. Estudio de rentabilidad:

La inversión necesaria para transformar esta finca en unidad productora de energía consiste en la construcción de una nave para

la instalación de la destilería y la compra de la maquinaria necesaria al proceso industrial. La maquinaria agrícola empleada es la misma que se empleaba en la situación anterior a la realización del proyecto.

El presupuesto total asciende a 34.500.000 pts (15). El 70% del proyecto lo financia un crédito del Banco de Crédito Agrícola. El resto constituye el pago de inversión que realiza el propietario de la finca.

Las características del préstamo son:

- Tipo de interés: 11%
- Período de amortización: 8 años
- Sin período de carencia.

En la situación inicial los productos de la explotación son: trigo, maíz, remolacha, pipa de girasol.

En la situación final se producen: alcohol y pipa de girasol.

Si se produce una crisis energética, tanto el alcohol como la pipa de girasol tenderán a aumentar de precio, ya que son fuentes de energía alternativa.

El estudio económico se realiza con los parámetros: p_1 , precio del litro de alcohol, y p_2 , precio del kg de pipa de girasol. Se obtiene una expresión del tipo:

$$V.A.N. = \alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 - K$$

Esta fórmula permite obtener los valores del V.A.N. de la inversión para distintos valores del alcohol y de la pipa de girasol.

Para el precio actual del petróleo, considerando que el alcohol esté exento de tasas, el precio de venta del alcohol a pie de destilería tiene que ser aproximadamente de 50 ptas/litro para poder competir con los otros combustibles. Para este precio del alcohol y el precio actual de la pipa de girasol (45 pts/kg) el proyecto es claramente no viable, ya que el V.A.N. es entonces de -247.600.000 pts.*

Sin embargo, es posible que, si los precios del petróleo se dispararan duplicándose o más, el proyecto se convierta en viable y hasta muy interesante a nivel financiero.

Para un precio del alcohol superior a 105 pts/l, para cualquier precio de la pipa de girasol, el proyecto es rentable. Además, para estos precios del alcohol, como la elasticidad del V.A.N. respecto al

(*) Se ha considerado que la vida útil del proyecto es de 17 años.

precio del alcohol es muy elevada, pequeños incrementos en el precio del alcohol producen grandes incrementos en el V.A.N.

Sin embargo, cabe destacar que el estudio económico se realizó considerando que los pagos no varían, variando sólo los precios del alcohol y de la pipa de girasol y es lógico pensar que al aumentar el precio del alcohol, también aumentarán los precios de los inputs como los fertilizantes... Por esto, para precios del alcohol elevados, los V.A.N. están sobrevalorados.

En conclusión, podemos decir que este proyecto carece de interés financiero bajo las condiciones actuales pero puede tenerlo en el futuro.

3. CONCLUSIONES

España tiene un potencial agroenergético que se ve favorecido respecto al resto de Europa por una radiación incidente sensiblemente superior (Energía radiante incidente en Córdoba = 1.379.773 kcal/m². año; Energía radiante incidente en el sur de Inglaterra = 785.885 kcal/m². año) (8). Sin embargo, la fotosíntesis se ve afectada por toda una serie de factores limitantes como el agua y los nutrientes que hacen que la producción de biomasa en las zonas marginales sea muy baja. La lentitud de crecimiento de las plantas adaptadas a estas zonas hace que sus balances energéticos sean poco prometedores (ver Euphorbia).

A la vista de los balances energéticos expuestos anteriormente queda patente que los cultivos que arrojan balances energéticos positivos necesitan suelos no marginales y que es muy interesante aprovechar los residuos de cosecha para suministrar energía a parte del proceso. Bajo el supuesto que el rendimiento energético de los motores y de los procesos industriales de producción de abonos, pesticidas, maquinarias, etc. pudieran ser similares tanto si utilizan gasoil como etanol o aceite de girasol como fuente de energía principal, los balances energéticos anteriormente citados son también válidos. Es decir, considerando casos en los que el balance es positivo, de un litro de etanol o de aceite invertido en el proceso productivo como input se obtendrá más de un litro de etanol o aceite como output.

El estudio energético realizado permite concluir que en las condiciones agroclimáticas del Valle Medio del Guadalquivir la agroenergética tiene sentido como actividad productora de energía renovable cuando se emplean suelos no marginales. Además, las importaciones de maíz, sorgo y soja son masivas, y son la clara muestra de que España no se autoabastece a nivel agrícola. De dedicarse parte de la su-

perficie agraria útil al cultivo de plantas con fines agroenergéticos, esta tendencia se acentuaría todavía más.

Por tanto, la única faceta de la agroenergética que parece tener futuro en España es el mejor aprovechamiento de la biomasa residual. Según un estudio realizado por la E.T.S.I.A. de Madrid (3), se evalúa la potencialidad energética de la biomasa residual producida anualmente en España en $2,266 \times 10^{14}$ kilocalorías, lo cual representaría un 14,3% de la demanda previsible en España para 1985 ($1,58 \times 10^{15}$ kilocalorías). La principal fuente de residuos está constituida por los residuos de cosecha (51,6%) y el mayor problema para su aprovechamiento reside en su acopio. Por otro lado, las estadísticas oficiales estiman que el consumo energético bruto nacional durante el año 1983 ha sido de $6,30 \times 10^{14}$ kilocalorías (ANUARIO EL PAIS (1985), citando fuentes del Ministerio de Industria y Energía). Por tanto, teniendo en cuenta que el consumo energético se ha estabilizado estos últimos años, la potencialidad energética de la biomasa residual pasaría a equivaler al 36% de la energía consumida en España, lo cual realza la importancia de este aspecto de la agroenergética.

Referencias bibliográficas

1. COOKE G.W. (1982). *Fertilizing for Maximum Yield*. 3rd ed. Granada. London.
 2. DOERING O.C. (1981). Economics of alternate fuels. En: *Alcohol and Vegetable Oil as Alternative Fuels*. Proceeding of Regional Workshops. pp. 14-21.
 3. E.T.S.I.A. (1980). «Aplicación de las fuentes alternativas de energía a la agricultura». Vol. 4. Informe realizado para el Ministerio de Agricultura.
 4. GOOD N.E. (1980). Photosynthesis, Plant productivity and crop yield. En: *The Biology of Crop Productivity*. pp. 3-51. Academic Press. New York.
 5. HILLS J., JOHNSON S.S., GENG S., ABSHAHI A., PETERSON G.R. (1981). Comparison of high-energy crops for alcohol production. En: *California Agriculture*, Vol. 35, n° 11 y 12. pp. 14-16.
 6. HOFMAN V., KAUFMAN K., HELGESON D., DINUSON W.E. (1981). Sunflower for power!. Circular A-E-735, Cooperative Extension Service, North Dakota State University. April 1981.
 7. KROCHTA J.M. (1980). Energy analysis for ethanol. En: *California Agriculture*, Vol. 34, n° 6. pp. 9-11.
 8. MONTHEITH J.L. (1977). Climate and the efficiency of crop production in Britain. En: *Agricultural Efficiency*. pp. 277-297. The Royal Society. London.
 9. NAREDO J.M. y CAMPOS P. (1980). Los balances energéticos de la agricultura española. En: *Agricultura y Sociedad* 15. pp. 17-113.
-

10. OFOLI R.Y., STOUT B.A. (1980). Ethil alcohol production for fuel: Energy balance. En: Agricultural Energy, Vol. 2, Selected papers and abstracts from the 1980 ASAE National Energy Symposium. pp. 292-298.
11. ORGAZ F. (1982). Posibilidades de adopción de nuevos sistemas de laboreo. Aplicación a una finca de la campiña de Córdoba. Proyecto fin de carrera. E.T.S.I.A. de Córdoba.
12. SACHS R.M. (1980). Crop feedstocks for fuel alcohol production. En: California Agriculture, Vol. 34, n° 6. pp. 11-14.
13. SACHS R.M., LOW C.B., McDONALD J.D., AWAD A.R., SULLY M.J. (1981). Euphorbia lathyris: a potential source of petroleum-like products. En: California Agriculture, Vol. 35, n° 7 y 8. pp. 29-32.
14. SACHS R.M., LOW C.B., VASADA A., SULLY M.J., WILLIAMS L.A., ZIOBRO G.C. (1981). Fuel alcohol from Jerusalem artichoke. En: California Agriculture, Vol. 35, n° 9 y 10. pp. 4-6.
15. SAU F. (1984). Estudio del potencial agroenergético del Valle Medio del Guadalquivir y su aplicación a la transformación de la finca «Mingaoben» del término municipal de Almodóvar del Río (Córdoba) en unidad productora de energía. Proyecto de fin de carrera. E.T.S.I.A. de Córdoba.

AGRADECIMIENTOS: El autor agradece al Dr. Elías Fereres Castiel (E.T.S.I.A. Córdoba) la orientación que le brindó en la realización de su proyecto de fin de carrera, base de este artículo.

El autor agradece también a la Dra. M^a Inés Mínguez Tudela (E.T.S.I.A. Córdoba) y a un anónimo revisor la ayuda en la elaboración de este artículo.

RESUMEN

A raíz de la crisis energética, se han exhumado viejas técnicas que habían caído en desuso debido a la abundancia y al bajo precio de la energía. La agroenergética es una de ellas. Permite la transformación de la biomasa en energía aprovechable por el hombre. Su interés reside en que la biomasa es una fuente de energía renovable al mismo título que la luz solar.

El artículo trata de evaluar cuáles son el potencial y las limitaciones intrínsecas de la agroenergética en una primera parte, para luego desarrollar un caso práctico en el ámbito de una zona de alto potencial agroenergético: el Valle Medio del Guadalquivir. Dada la actual estructura productiva, para que sea económicamente interesante dedicar parte de la superficie agraria útil nacional (actualmente insuficiente para cubrir las necesidades de productos agrarios) a cultivos agroenergéticos, sería necesario que por lo menos se duplicara el precio de la energía.

RÉSUMÉ

La crise énergétique a provoqué l'exhumation de vieilles techniques qui étaient tombées en désuétude à cause de l'abondance et du coût peu élevé de l'énergie. L'agroénergétique est l'une d'entre elles. Elle permet la transformation de la biomasse en énergie utile à l'homme. Son intérêt réside dans le fait que la biomasse est une source d'énergie renouvelable au même titre que la lumière solaire.

Dans une première partie, l'article essaie d'estimer quelles sont le potentiel et les limitations intrinsèques de l'agroénergétique, puis il développe un cas pratique dans le cadre d'une zone au potentiel agroénergétique élevé: la Moyenne Vallée du Guadalquivir. Compte tenu de la structure productive actuelle, afin qu'il soit intéressant de consacrer une partie de la surface agricole utile nationale (à présent insuffisante pour subvenir aux besoins en produits agricoles) à des cultures agroénergétiques il serait nécessaire que le prix de l'énergie se multipliât au moins par deux.

SUMMARY

As a result of the energy crisis some old techniques which had fallen into disuse due to the abundance and cheapness of energy have been rediscovered. Agroenergetics is one of these. It permits the transformation of the biomass into man available energy. Its interest lies in the fact that the biomass, such as solar light is a renewable energy source.

The first part of the article tries to evaluate the intrinsic potential and limits of agroenergetics. The second part deals with a practical case within the Middle Guadalquivir Valley, an area with a high agroenergetic potential. If we want to set apart an agricultural area (currently insufficient to meet the national needs of all farm products) for agroenergetic crops and for it to be economically interesting in our current productive structure it would be necessary for the price of energy to double at least.

