

Una agricultura alternativa a la tradicional

Agroelectricidad en la Comunidad de Madrid

POSIBILIDADES DE DESARROLLO

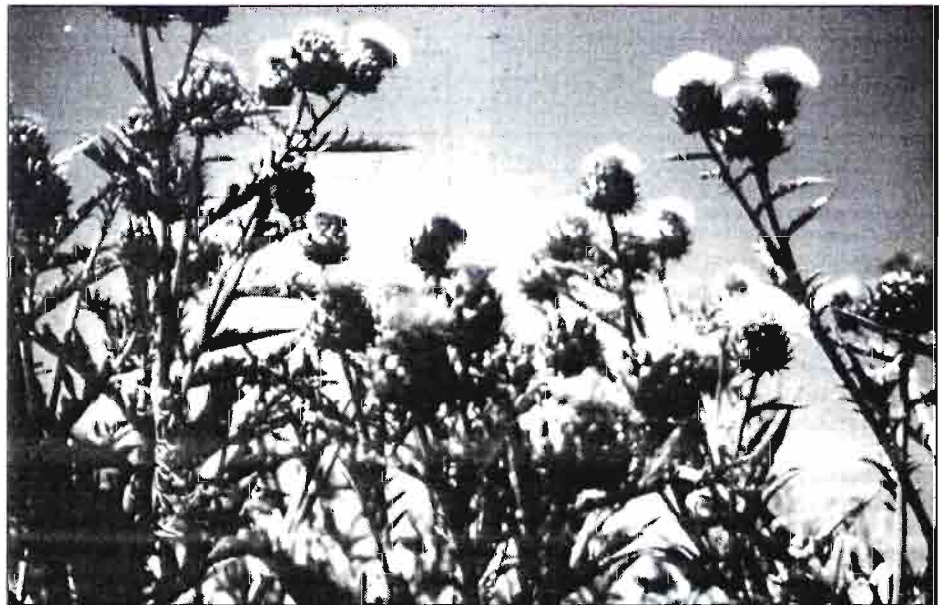
por: Jesús Fernández González*

SUPERFICIES RETIRADAS DE CULTIVO POR APLICACION DE LA PAC EN LA COMUNIDAD DE MADRID

La aplicación de la PAC establece una serie de subvenciones para algunos cultivos, entre ellos los cereales, a condición de mantener la proporción tradicional de barbecho y de retirar del cultivo una proporción determinada de la superficie establecida para cada agricultor. Para el año 1996 la superficie de retirada obligatoria se establece en un 10 % de la superficie de cultivo declarada, ya sea esta retirada de forma fija o rotatoria. También se establece el límite del 15 % para la retirada voluntaria en regadío y del 30 % en secano. En casos especiales y a petición de las Comunidades Autónomas en algunas zonas se puede llegar a permitir la retirada voluntaria de hasta el 50 % de la superficie de cultivo.

La normativa comunitaria establece la necesidad de mantener las tierras retiradas en barbecho blanco, aunque da la posibilidad de cultivar en ellas cultivos para usos no alimentarios ni forrajeros.

Según los datos estadísticos del MAPA de 1993, del total de la superficie geográfica de la Comunidad de Madrid (802.792 ha) los terrenos agrícolas ocupan 262.763 ha, de las que 216.368 son tierras de cultivos herbáceos y el resto leñoso (46.395 ha). Las tierras dedicadas a cultivos herbáceos de secano ocupan un total de 189.833 ha de las que 92.903 corresponden a barbechos. Los cultivos de regadío ocupan 26.535 ha en las que hay 2.419 ha de barbechos. En las tierras de secano los cultivos herbáceos son en su gran mayoría cereales (84.800 ha) y en los leñosos vid (23.319 ha) y olivo (22.703 ha).



El cardo (Cynara cardunculus L.) una especie utilizable para la producción de biomasa en secanos del área mediterránea.

En relación a la superficie ocupada por los cereales de secano, la aplicación de la PAC en su forma obligatoria supone una superficie de barbecho de unas 8.500 ha y si se llegase al límite de retirada voluntaria sería de unas 25.500 ha.

En el año actual (1995), el cultivo de trigo en la Comunidad de Madrid tiene una subvención por aplicación de la PAC de 17.568 pta/ha (índice de regionalización medio de 1,9) y las superficies retiradas de la producción de 22.253 pta/ha.

ALTERNATIVAS DE LA AGRICULTURA ACTUAL

La retirada de tierras de cultivo en virtud de la PAC, obliga a los científicos y

técnicos del sector agrario a buscar nuevos cultivos y aplicaciones a los productos agrícolas al objeto de poder seguir manteniendo la actividad del sector agrario. Pensando en poder mantener la subvención de la PAC para las tierras retiradas de la producción de alimentos, es necesario que los cultivos alternativos que se establezcan no sean de uso alimentario ni forrajero.

Entre las posibles alternativas para las tierras retiradas, los cultivos energéticos parecen ofrecer unas buenas posibilidades en un futuro inmediato ya que podrían ser capaces de ocupar todas las tierras disponibles sin llegar a producir la saturación de la demanda energética (en España la energía convencional consumida

(*) Catedrático de Producción Vegetal.
E.T.S. de Ingenieros Agrónomos de Madrid.

MEDIO AMBIENTE: OTRAS ALTERNATIVAS



Central termoeléctrica de 12 MWatios alimentada con residuos de almazara ("alperujo") en El Tejar (Córdoba).

diariamente per cápita –unas 59,3 Mcal– es del orden de 30 veces superior a la energía de una dieta media –unas 2000 kcal– obtenida en su mayoría con productos de origen agrario).

Las posibles orientaciones actuales de los cultivos energéticos pueden ir hacia la obtención de *biocarburantes líquidos* (alcoholes y aceites o sus derivados) y *biocombustibles sólidos* para la generación de calor o energía eléctrica.

La obtención de *biocarburantes líquidos* para la sustitución de combustibles de automoción (gasolinas y gasoleos) mediante cultivos energéticos es un tema de creciente interés en los países desarrollados y entre ellos en los de la UE. El desarrollo de estos cultivos no solamente permite la continuación de la actividad del sector agrícola, sino que además, puede rebajar las importaciones de petróleo y reducir el incremento del CO₂ atmosférico al reducir la combustión de carburantes de origen fósil (los biocarburantes son neutros respecto del balance de la producción de CO₂, ya que todo el producido ha sido previamente fijado por las plantas). El principal inconveniente que tienen estos productos es el elevado coste de la materia prima si se utilizan productos excedentarios de la agricultura alimentaria, por lo que para su mantenimiento, en las actuales circunstancias, dependen de subvenciones específicas y muy particularmente

de la rebaja sensible del impuesto especial de hidrocarburos para automoción, que en la actualidad, según la modificación de la Directiva Scrivener podría reducirse al 10 % del impuesto que grava al carburante sustituido (Tabla I). Aparte de las consideraciones puramente económicas, existen toda una serie de razones de tipo social, medioambiental y estratégico que contrarrestan a las primeras y están actuando en favor de un desarrollo creciente de este tipo de productos energéticos generados en el medio rural. La utilización de nuevos cultivos productores de materias primas específicamente concebidas para la producción de biocarburantes (en lugar de utilizar excedentes agroalimentarios) podría llegar a rebajar sensiblemente el coste de estos productos.

La producción de biocombustibles sólidos para su aplicación a la producción de electricidad (**agroelectricidad**) se perfila a corto plazo como la aplicación más rentable de la agroenergética (producción de biomasa para fines energéticos mediante cultivos específicos –cultivos energéticos–). Esta afirmación se sustenta en los bajos costes a que pueden obtenerse los biocombustibles destinados a esta finalidad, que ya resultan competitivos con los tradicionales de origen fósil.

EL SISTEMA AGROELÉCTRICO

Los sistemas agroeléctricos se conciben como Agroindustrias en las que la Central Termoeléctrica estaría situada en el centro de la superficie agraria en la que

TABLA I
Estructura del precio de 1 litro de carburante de automoción del tipo clásico, en comparación con los de los biocarburantes. Valores referidos a febrero de 1995

CARBURANTE	COSTE DE PRODUCCION	BENEFICIO DEL FABRICANTE	IMPUESTO ESPECIAL	I. V. A. 16%	TOTAL
Gasóleo A	16,0	17,1	41,7	11,9	86,7
Gasolina super	17,7	18,5	62,6	15,5	112,3
Ester metílico de colza	76,0	16,0	4,2	15,4	111,6
Etanol de cereal	96,4	18,0	6,3	19,1	139,8
Etanol de remolacha	76,0	16,0	6,3	15,7	114,0

TABLA II
Relación entre la potencia de una central termoeléctrica (rendimiento 30%) y la superficie necesaria para producir la biomasa lignocelulósica que la alimente durante todo un año (8.000 horas de funcionamiento) sobre la base de una producción anual de 20 ton/ha.
(Equivalencia: 1 kg de biomasa produce 1,4 kWh)

POTENCIA DE LA CENTRAL MW	PRODUCCION ANUAL GWH	SUPERFICIE NECESARIA HA	RADIO DE UNA SUPERFICIE CIRCULAR EQUIVALENTE KM
1	8	285,7	0,95
5	40	1428,5	2,13
10	80	2857,0	3,02
35	280	9995,0	5,64
100	800	28570,0	9,54

se produciría la biomasa necesaria para alimentarla durante todo el año. Para esta finalidad se requiere un tipo de biomasa de muy bajo coste y con alto rendimiento por unidad de superficie. La biomasa lignocelulósica producida con especies leñosas de rápido crecimiento o con herbáceas perennes de alta producción, parece ser la más adecuada para esta finalidad.

Para calcular la superficie necesaria para abastecer una Central de 8.000 horas de funcionamiento anual, podemos asumir que con 1 kg de biomasa seca de 4000 kcal/kg, se puede producir 1,4 kWh de electricidad con un rendimiento del 30 %. Según estas consideraciones, y asumiendo una producción media anual de 20 t m.s./ha, la superficie necesaria para centrales de diversas potencias se muestra en la Tabla II, variando entre las 286 ha para una Central de 1 Mw a 28.570 ha para una de 100 Mw.

CULTIVOS ALTERNATIVOS PARA LOS SISTEMAS AGROELECTRICOS

Entre las **especies leñosas** propias para esta finalidad en la Comunidad de Madrid cabe destacar el chopo (*Populus* sp.) para zonas frescas o con posibilidad de riego barato, y para zonas más secas habría que pensar en especies resistentes a la sequía, entre las que cabe destacar algunas pertenecientes a los géneros *Robinia* y *Eucalyptus* entre otros. Estas especies deben plantarse en alta densidad (alrededor de 10.000 plantas por ha) y con turnos de corta de 4 a 6 años, aprovechando la capacidad de rebrote para continuar la plantación en años sucesivos. La productividad que se puede alcanzar con este tipo de plantaciones oscila entre las 10 y las 15 toneladas de materia seca por ha y año. La plantación de especies leñosas en tierras agrícolas produce en principio un cierto rechazo entre los agricultores ya que la recuperación futura de la tierra para los usos tradicionales, si fuera necesario, podría no ser tan inmediata como se quisiera y, en cualquier caso, siempre supondría un cierto coste la eliminación de los tocones.

Entre las **especies herbáceas** productoras de biomasa lignocelulósica para estos fines podemos citar el cardo (*Cynara cardunculus* L.), especie típica del área mediterránea perfectamente adaptada a su climatología. Es una especie perenne gracias a sus órganos subterráneos, pero su ciclo de producción de biomasa aérea es anual. En su ciclo natural brota en otoño, pasa el invierno en forma de roseta y en primavera emite un escapo floral que se seca en verano, permaneciendo vivas durante esta época desfavorable las raíces y yemas remanentes en la base del tallo. Al llegar el otoño éstas brotan y forman

una nueva roseta para continuar el ciclo durante varios años (hasta 8 hemos comprobado experimentalmente). El potente

sistema radicular de esta especie le permite obtener agua y nutrientes de zonas profundas y gracias a ello, en condiciones

TABLA III
Gastos de implantación del cultivo de cardo (*Cynara cardunculus* L.) realizados durante el primer año. Valores en pta/ha

OPERACION	LABOR	MATERIALES	TOTAL
Abonado 700 kg/ha 9: 18: 27	800	21000	21800
Alzar	7000	-----	7000
2 Pases de grada	4000	-----	4000
Siembra 5 kg/ha	2800	5000	7800
Aplicación de herbicida	800	5495	6295
2 Pases de cultivador	4000	-----	4000
1 Aplicación de insecticida	1930	1740	3670
TOTAL	21330	33235	54565
ANUALIDAD DE AMORTIZACION EN 10 AÑOS AL 8%			8132

TABLA IV
Coste de producción de la biomasa de cardo (*Cynara cardunculus* L.) durante los años siguientes al de implantación. Valores en pta/ha

OPERACION	LABOR	MATERIALES	TOTAL
Abonado 400 kg/ha 15:15:15	800	12000	12800
2 Pases de cultivador	4000	-----	4000
3 Tratamientos insecticidas	5800	5200	11000
Recolección y empacado	25424	-----	25424
Transporte a la planta termoeléctrica (0,72 pt/kg en radio de 10 km)	14400	-----	14400
TOTAL	50424	17200	67624
Amortización de la implantación del cultivo			8132
COSTE TOTAL DE PRODUCCION			75756

MEDIO AMBIENTE: OTRAS ALTERNATIVAS

de secano, pero aprovechando las aguas del otoño, invierno y primavera puede llegar a dar producciones totales de biomasa de 20 a 30 Toneladas de materia seca con 2000-3000 kg de semillas ricas en aceite (25%) y proteína (20%).

RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE CARDO PARA LA PRODUCCION DE ELECTRICIDAD

Coste de la producción de biomasa de cardo

Para estimar el coste de producción de la biomasa lignocelulósica producida en un cultivo de cardo, hay que tener en cuenta que dicho cultivo es perenne durante un cierto número de años, entrando en plena producción ya durante el segundo año de implantación.

Partimos de un supuesto de cultivo en condiciones de pluviometría normal (unos 400 mm/año) en las que se puede obtener unas 20 t de materia seca por ha y año de las que 2 t corresponden a semillas. Una estimación de los costes de implantación y de producción de biomasa de cardo, se indican en las Tablas III y IV, en las que se considera una duración del cultivo implantado de 11 años (1 de implantación y 10 de producción) y un 8 % de interes para la amortización del coste de la implantación del cultivo durante los 10 años de de producción siguientes. Según este planteamiento, el coste de producción de biomasa (incluyendo las semillas) podría establecerse en 75.756 pta/ha.

Beneficio bruto del cultivo de cardo

El precio actual de los carbones que se utilizan para la generación de electricidad varía entre 1 y 2,5 ptas la termia (1 termia = 1000 kcal), según que se trate de carbón de importación o de carbón nacional de minería de interior. El precio de fuel térmico nº 2, normalmente utilizado en la producción de electricidad, está alrededor de las 20.000 ptas la tonelada, lo que implica un precio de la termia de 2 ptas. El poder calorífico superior de la biomasa de cardo puede establecerse en unas 4 termias/kg, por lo que el precio resultante de esta biomasa, para que resulte competitivo con el de los combustibles fosiles, debería ser de unas 4 pta/kg (1 pta/termia).

Teniendo en cuenta que las semillas de cardo producidas (2.000 kg/ha) podrían separarse de la biomasa en el momento de acondicionar el combustible, antes de utilizarse en la planta termoeléctrica, éstas podrían comercializarse por separado a un precio estimado de 15 pta/kg. El resto de la biomasa lignocelulósica (18.000 kg/ha), utilizable como combusti-

ble sólido en la central, se podría pagar en condiciones competitivas a unas 4 pta/kg según se dijo anteriormente, lo que en conjunto hace que se pueda pagar al agricultor un precio global de 102.000 pta/ha (5,1 pta/kg de biomasa global) con un beneficio neto por ha de 26.200 pta.

En el caso de que el cultivo de cardo se efectúe en tierras retiradas para tener

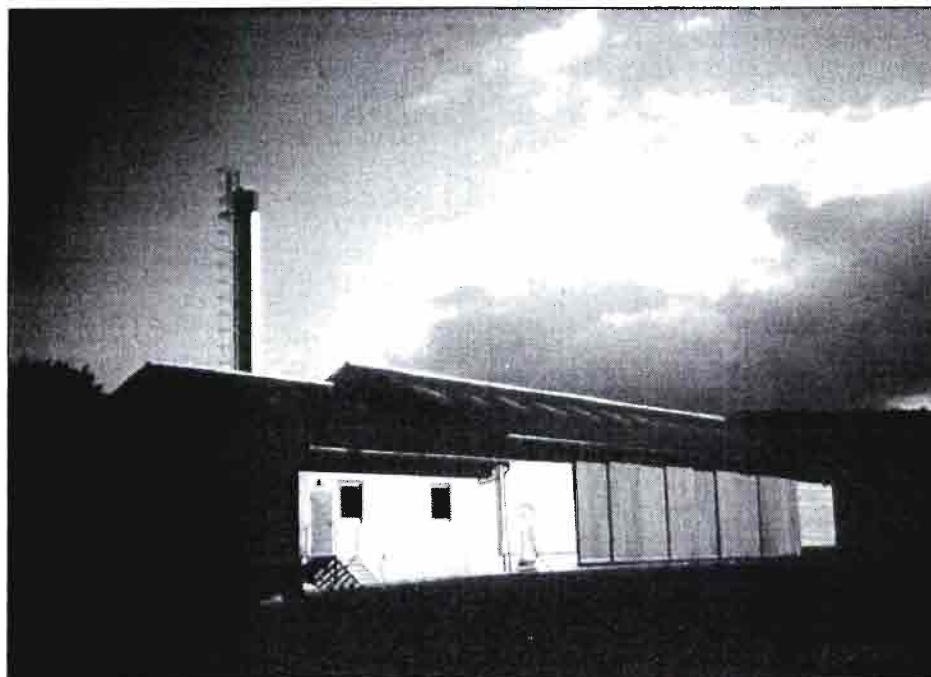
derecho al cobro de la subvención de la PAC (en lugar de dejarlas en barbecho blanco), al beneficio anterior hay que añadirle el ahorro que supone el no tener que realizar las labores anuales necesarias para mantener el barbecho limpio de malas hierbas (alzado y un par de pases anuales de cultivador o grada), estimadas en unas 11.000 pta/ha.

TABLA V
Estimación del coste de producción del trigo en la Comunidad de Madrid.

OPERACION	LABOR	MATERIAS	TOTAL
Alzar	7000	-----	7000
2 pases de cultivador	4000	-----	4000
Abonado 250 kg de 8:15:25 a 28 pt/kg	800	7000	7800
Siembra 200 kg de semilla a 40 pt/kg	2000	8000	10000
Abonado de cobertera 100 kg de NO ₃ NH ₄ a 25 pt/kg	800	2500	3300
Tratamiento herbicida Glean 20 g/ha a 153 pt/g	900	3100	4000
Recolección	6000	-----	6000
Transporte 0,8 h tractor/ha	2800	-----	2800
TOTAL	24300	20600	44900

TABLA VI
Rentabilidad de los cultivos (de secano) trigo y cardo para la producción de biomasa en la Comunidad de Madrid

OPERACION	CARDO EN SECANO	TRIGO
Produccion de semillas	2.000 kg/ha	1.800 kg/ha
Produccion de biomasa	18.000 kg/ha	---
Precio de venta de semillas	15 pt/kg	30 pt/kg
Precio de venta de biomasa	4 pt/kg	- -
Ingresos brutos	102.000 pt/ha	54.000 pt/ha
Coste de produccion	75.756 pt/ha	44.900 pt/ha
Beneficio neto	26.244 pt/ha	9.100 pt/ha
Ingreso adicional en el caso de Aplicacion de la pac	22.252,92 pt/ha	17.568 pt/ha
Ahorro por labores de barbecho	11.000 pts/ha	



Central térmica para calefacción urbana de 1,5 MWatios térmicos en Kessekhaus (Austria), alimentada con residuos forestales (0,5MW) y restos de cosecha del girasol (1MW).

Rentabilidad comparada con el cultivo de trigo

Comparando la rentabilidad de este cultivo con la del trigo de secano en la Comunidad de Madrid, cuyo coste de producción puede establecerse en 44.900 pta/ha (Tabla V) y cuyos ingresos brutos, para una producción de 1.800 kg/ha, pueden suponer unas 54.000 pta/ha, resulta un beneficio neto por ha de 9.100 ptas, notablemente inferior a lo que se obtendría con la biomasa de cardo (casi la tercera parte).

Según estos datos vemos que la rentabilidad del cultivo de cardo para fines energéticos (sin contar la subvención de la PAC) podría ser superior a la del trigo incluyendo la subvención de la PAC (Tabla VI), con la ventaja de que sería un cultivo perenne, por lo que la superficie dedicada a su cultivo produciría el beneficio todos los años sin tener que dejar años en barbecho como ocurre con las tierras dedicadas a cereales de secano, ahorrándose además los costes de mantenimiento de este barbecho.

TABLA VII

Superficie agrícola necesaria para alimentar a las centrales agroeléctricas que suministraran toda su energía a diversos municipios de la Comunidad de Madrid. (Datos referidos a 1991).

**Supuestos: -Producción de biomasa en base a cardo. 20 t/ha de 4000 kcal/kg
-Rendimiento termoeléctrico de la central 30%
-Trabajo de la central: 8000 h/año.**

MUNICIPIO	HABITANTES	CONSUMO ANUAL DE ELECTRICIDAD GWH	POTENCIA MEDIA MW	CONSUMO DIARIO POR HABITANTE KWH	SUPERFICIE DE CULTIVO (HA)	
					TOTAL	NECESARIA PARA AGROELECTRICIDAD
Brunete	2.482	6,4	0,8	7,06	3.744	229
Chinchón	3.947	10,6	1,4	7,36	4.718	400
Navalcarnero	10.126	49,8	6,3	13,47	6.178	1.800
Majadahonda	33.475	98,4	12,3	8,05	1.477	3.514
Móstoles	192.018	302,8	37,8	4,32	2.641	10.800
Madrid	4.947.555	9.424,3	1.178,0	8,58	9.638	336.554
Nucleos con menos de 50.000 habitantes	632.083	2.820,1	352,5	12,20	195.613	100.709

MEDIO AMBIENTE: OTRAS ALTERNATIVAS

A esta ventaja económica hay que añadirle otras de tipo ecológico dado el bajo nivel de polución atmosférica que producen los biocombustibles, no solamente por ser neutros en cuanto a la producción de anhídrido carbónico, sino por el bajísimo contenido en azufre de la biomasa, lo que evita la generación de las nocivas "lluvias ácidas" que se producen al emplear algunos de los combustibles fósiles en la generación eléctrica. Además, la sustitución de un barbecho por un cultivo perenne como sería el caso del cardo, a parte de mantener la actividad del sector agrícola, produce una protección del suelo contra la erosión y un enriquecimiento paulatino de éste en materia orgánica, ya que todo el sistema radicular y parte de las hojas basales permanecen en el terreno de un año para otro.

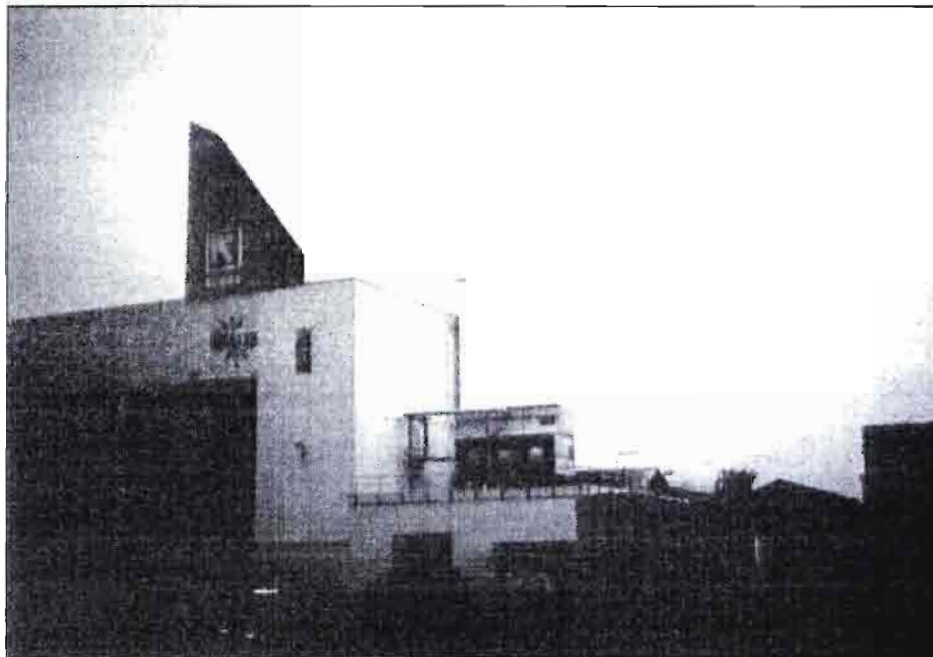
IMPORTANCIA POTENCIAL DE LA AGROELECTRICIDAD EN LA COMUNIDAD DE MADRID

El tamaño óptimo de las centrales termoeléctricas en base a biomasa parece ser el correspondiente a una potencia eléctrica media comprendida entre los 10 y 20 MW, por lo que tomaremos como "módulo tipo" el sistema agroeléctrico ligado a una planta termoeléctrica de 15 MW con una superficie agrícola asociada de 4.285 ha, que produciría al año (8.000 h) unos 120 GWh.

Tomando los datos del Anuario Estadístico de la Comunidad de Madrid correspondientes a 1991, el consumo eléctrico anual de la Comunidad ascendió a 15.562 GWh, para una población media de 4,947 millones de habitantes, lo que hace un consumo medio anual per cápita de 3,145 MWh. Cada planta de 15 Mw podría dar por tanto la electricidad equivalente a la consumida por 38.156 habitantes, lo que equivale a un núcleo urbano algo superior al de Majadahonda (vease TABLA VII).

Pensando solamente en las tierras de secano, si consideramos la utilización de las tierras de cereales de retirada obligatoria (8.500 ha) se podrían establecer **dos** centrales de **15 MW** y si consideramos la totalidad de las tierras de retirada voluntaria (25.500 ha) se podría llegar hasta **seis** centrales distribuidas por toda la Comunidad, sin que los agricultores perdieran el derecho a las subvenciones de la PAC.

Además de la biomasa producida en las plantaciones energéticas, estas centrales podrían admitir también los residuos procedentes de los cultivos agrícolas tanto herbáceos (los restos del tallo del maíz o girasol, por ejemplo) como leñosos, principalmente los restos de la poda de la vid o del olivo, además de los posibles residuos de origen forestal. Este ti-



Planta de producción del ester metílico de aceite de colza ("Diester") utilizable como biodiesel en Compiègne (Francia).

po de residuos, por si solos, no pueden hacer viable una planta termoeléctrica, principalmente por la dificultad de asegurar el abastecimiento continuo de combustible, pero en conjunción con la biomasa producida en los cultivos energéticos no solo posibilita su utilización sino que además puede servir de complemento para amortiguar el efecto de la estacionalidad de la cosecha de la biomasa del cultivo energético.

BIBLIOGRAFIA

- 1.-Fernández, J.; Manzanares, P. (1989).- *Cynara cardunculus* L. a new crop for oil, paper pulp and energy. Proc. 5 th Eur. Conf. on Biomass for Energy and Industry (Lisboa 9-13 oct 1989) 1.184-1.189. Elsevier. Appl. Sci.
- 2.-Fernández, J.; Manzanares, P. (1990). Lignocellulosic biomass production from annual energy crops. Report CCE EUR 12631. EN-C.
- 3.-Fernández, J. (1992).- Production and utilization of *Cynara cardunculus* L. biomass for energy, paper pulp and food industry. Project JOUB0030 E C.C.E (DG XII). Mayo 1990- Agosto 1992. Informe Final.
- 4.-Comunidad de Madrid (1993).- Anuario Estadístico correspondiente a 1991. Publicación de la Consejería de Economía.
- 5.-Fernández, J. (1993).- Agroenergética: una opción alternativa de la agricultura

actual. El Boletín nº 7 (sept. 1993) pp 10-18. Mº de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.

- 6.-Fernández, J. (1994).- Large scale production of energy crops in mediterranean countries. Proceedings of "Biomass and Environment", Workshop of THERMIE PROGRAM. Valencia Spain March 1994. 11p.
- 7.-Fernández J., Curt M.D. (1994).- Estimated cost of thermal power from *Cynara cardunculus* biomass in Spanish conditions. Application to electricity production. 8th European Conference on biomass for Energy, Environment, Agriculture and Industry. Viena 1995. En prensa.
- 8.-Fernández J., Marquez L. (1995).- Energetisches Potential von *Cynara cardunculus* L. aus landwirtschaftlichem Anbau in Trockengebieten des Mittelmeerraumes. Der Tropenlandwirt (Journal of Agriculture in the tropics and subtropics) nº 53, pp 121-129.