

# EVALUACION TECNICO-ECONOMICA DE LA INTRODUCCION DE BIOCARBURANTES EN ESPAÑA A PARTIR DE CULTIVOS ENERGÉTICOS

**Autor: Campo Heredero, Felipe Manuel.**

Director del proyecto: Montes Ponce de León, Julio.

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

**Proyecto Subvencionado por la Cátedra Rafael Mariño**

## **Artículo sobre el proyecto**

El parque automovilístico ha crecido en los últimos años incrementándose el consumo de hidrocarburos a un ritmo que se hace insostenible por la limitación de los recursos naturales y por el impacto ambiental que producen: el efecto invernadero y el efecto sobre la salud de las personas y los ecosistemas.

- La Comisión europea preparó el "Libro Blanco sobre Energías Alternativas", que presentó poco antes de la cumbre de Kyoto. En él se indica que estas Energías deberían de aportar el 10% del total de energía consumida en la Comunidad el año 2010. Una de estas energías son los llamados BIOCMBUSTIBLES, combustibles obtenidos a partir de material vegetal. Posteriormente, la Unión Europea incide sobre el tema publicando la Directiva 2003/30/CE del Parlamento y del Consejo de 8 de mayo de 2003 relativa al fomento del uso de biocarburentes u otros combustibles renovables en el transporte en la que se expone que:
  - El sector del transporte, representa más del 30 % del consumo final de energía registrado en la Comunidad y se halla en fase de expansión.
  - Como consecuencia las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del transporte aumentarían en un 50 % entre 1990 y 2010. Un mayor uso de biocarburentes para transporte podría reducir este aumento.
  - Por ello, Los Estados miembros deberían velar por que se comercialice en sus mercados una proporción mínima de biocarburentes y de otros combustibles renovables, llegando a las siguientes cifras:
    1. Introducir un 2% del contenido energético de la gasolina y gasóleos comercializados a través de biocarburentes antes de diciembre de 2005

2. Introducir un 5,75% del contenido energético de la gasolina y gasóleos comercializados a través de biocarburantes antes de diciembre de 2010
  
3. Introducir un 20% del contenido energético de la gasolina y gasóleos comercializados a través de biocarburantes antes de diciembre de 2020

Desde hace algunos años los biocarburantes (bioetanol y biodiesel) han sido considerados como posibles alternativas a los hidrocarburos en el sector del transporte. Su introducción fue impulsada por países con unos excedentes agrícolas muy importantes. Brasil (caña de azúcar) y Estados Unidos (maíz) hace tiempo que han desarrollado la producción de bioetanol a partir de estas materias primas excedentarias. Los países europeos no tienen de forma natural excedentes agrícolas, los han producido artificialmente por una política de protección mediante subvenciones que consumen una parte importante del presupuesto europeo. La producción de biocarburantes ha de hacerse necesariamente mediante la introducción de cultivos energéticos a gran escala. Para ello es preciso que cada país determine que cultivos pueden ser los más aconsejables en cada ecosistema teniendo en cuenta sus condiciones edafoclimáticas, los aspectos medioambientales así como el balance energético de la producción de biocarburantes a partir de esos cultivos energéticos.

El objeto del presente artículo es hacer un análisis previo de la viabilidad de diferentes cultivos en España: trigo, cebada, patata, y sorgo para la producción de bioetanol y de la colza para la producción de biodiesel con rendimientos razonablemente aceptables, en diferentes zonas geográficas de la Península

## ❖ *Materias Primas consideradas*

Como se indicado anteriormente los cultivos contemplados han sido :

- Producción de Bioetanol: trigo, cebada, patata, y sorgo
- Producción de Biodiesel: colza

De forma sistemática se han considerados en cada uno de esos cultivos:

- Aspectos morfológicos: Botánica, estados de desarrollo, plagas, enfermedades
- Labores de cultivo: Maquinaria utilizada, horas de trabajo, consumos de carburantes. tratamientos aplicados
- Producciones a nivel europeo y nacional.
- Rendimientos a nivel europeo y nacional.

Además de estos aspectos se ha estimado un coste medio de producción de materia prima por hectárea cultivada, para realizar un análisis económico y energético de la producción de biocarburantes.

### ▪ *Trigo*



El trigo pertenece a la familia de las gramíneas (*Poaceae*), siendo las variedades más cultivadas *Triticum durum* y *T. compactum*. El trigo harinero hexaploide llamado *T. aestivum* es el cereal panificable más cultivado en el mundo. La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del cultivo de trigo está entre 10 y 24 °C, pero lo más importante es la cantidad de días que transcurren para alcanzar una cantidad de

temperatura denominada integral térmica, que resulta de la acumulación de grados días. La integral térmica del trigo es muy variable según la variedad de que se trate. Como ideal puede decirse que los trigos de otoño tienen una integral térmica comprendida entre los 1.850 °C y 2.375 °C.

La temperatura no debe ser demasiado fría en invierno ni demasiado elevada en primavera ni durante la maduración. Si la cantidad total de lluvia caída durante el ciclo de cultivo ha sido escasa y es especialmente intensa en primavera, se puede producir el asurado.

Se ha demostrado en años secos que un trigo puede desarrollarse bien con 300 ó 400 mm de lluvia, siempre que la distribución de esta lluvia sea escasa en invierno y abundante en primavera. El trigo requiere suelos profundos, para el buen desarrollo del sistema radicular. Al ser poco permeables los suelos arcillosos conservan demasiada humedad durante los inviernos lluviosos. El suelo arenoso requiere, en cambio, abundante lluvia durante la primavera, dada su escasa capacidad de retención. En general se recomienda que las tierras de secano dispongan de un buen drenaje.

- En la tabla 1 se indican los rendimientos de este cereal obtenidos en los diferentes países de la Unión Europea en los años 2003 y 2004

Rendimiento Trigo		
País	Año 2003 Tn/ha	Año 2004 Tn/ha
Bélgica	8,49	8,78
Dinamarca	7,08	7,24
Alemania	6,50	8,17
España	2,84	3,31
Francia	6,25	7,57
Hungría	3,68	5,12
Holanda	8,74	8,96
Austria	4,38	5,92
Polonia	3,40	4,12
Eslovaquia	3,03	4,94
Suecia	5,55	6,41
Reino Unido	7,68	8,00

## *Cebada*



La cebada pertenece a la familia *Poaceae*. Las cebadas cultivadas se distinguen por el número de espiguillas que quedan en cada diente del raquis. Si queda solamente la espiguilla intermedia, mientras abortan las laterales, tendremos la cebada de dos carreras (*Hordeum distichum*); si aborta la espiguilla central, quedando las dos espiguillas laterales, tendremos la cebada de cuatro carreras (*Hordeum tetrastichum*); si se desarrollan las tres

espiguillas tendremos la cebada de seis carreras (*Hordeum hexastichum*). Las exigencias en cuanto al clima son muy pocas, por lo que su cultivo se encuentra muy extendido, aunque crece mejor en los climas frescos y moderadamente secos. La cebada requiere menos unidades de calor para alcanzar la madurez fisiológica, por ello alcanza altas latitudes y altitudes. En Europa llega a los 70° de latitud Norte, no sobrepasando en Rusia los 66°, y en América los 64°. En cuanto a la altitud, alcanza desde los 1.800 m. en Suiza a 3.000 m. en Perú, ya que es entre los cereales, el que se adapta mejor a las latitudes más elevadas (teniendo la precaución de tomar las variedades precoces). Para germinar necesita una temperatura mínima de 6°C. Florece a los 16°C y madura a los 20°C. Tolera muy bien las bajas temperaturas, ya que puede llegar a soportar hasta -10°C. En climas donde las heladas invernales son muy fuertes, se recomienda sembrar variedades de primavera, pues éstas comienzan a desarrollarse cuando ya han pasado los fríos más intensos. La cebada prefiere tierras fértiles, pero puede tener buenas producciones en suelos poco profundos y pedregosos, con tal de que no falte el agua al comienzo de su desarrollo. No le van bien los terrenos demasiado arcillosos y tolera bien el exceso de salinidad en el suelo. Los terrenos compactos no le van bien, pues se dificulta la germinación y las primeras etapas del crecimiento de la planta.

Los suelos arcillosos, húmedos y encharcadizos, son desfavorables para la cebada, aunque en ellos se pueden obtener altos rendimientos si se realiza un buen laboreo y se conserva la humedad del suelo. Los suelos con excesivo nitrógeno inducen el encamado e incrementan el porcentaje de nitrógeno en el grano hasta niveles inapropiados, cuando se destina a la fabricación de malta para cerveza

En cuanto al calcio, la cebada es muy tolerante, vegetando bien incluso en suelos muy calizos, por lo que muchas veces a este tipo de suelos es corriente llamarlos “cebaderos”, si bien tiene un amplio margen en cuanto a tolerancia de diferentes valores de pH. A las cebadas cerveceras les van bien las tierras francas, que no sean pobres en materia orgánica, pero que su contenido en potasa y cal sea elevado. La cebada es el cereal de mayor tolerancia a la salinidad, estimándose que puede soportar niveles de hasta 8 mmhos/cm, en el extracto de saturación del suelo, sin que sea afectado el rendimiento.

A su vez la producción española es muy baja frente a producciones europeas, obteniendo rendimientos demasiado bajos como se indica en la tabla 2.

Rendimiento cebada		
País	Año 2003 Tn/ha	Año 2004 Tn/ha
Bélgica	6,64	7,60
Dinamarca	5,32	5,27
Alemania	5,11	6,57
España	2,82	3,32
Francia	5,60	6,76
Hungría	3,30	4,30
Holanda	6,36	6,13
Austria	4,16	5,26
Polonia	2,79	3,46
Eslovaquia	2,99	4,32
Suecia	4,25	4,51
Reino Unido	5,91	5,77

La producción de un litro de bioetanol a partir de trigo o cebada exige tres kilos de cereal, a un coste de 0,12 euros/kg, lo que supone un precio de 0,36 euros cada litro de bioetanol sólo en materia prima.

Si la materia prima es paja de cereal son necesarios seis kilos, a un coste de 0,03 euros/kg, lo que supone un total de 0,18 euros el litro de bioetanol en materia prima, la mitad que con trigo o cebada. Este abaratamiento permitirá que el precio final del bioetanol así obtenido sea el mismo que el de cualquier gasolina.

## ▪ *Sorgo*



El sorgo pertenece a la familia de las gramíneas. Las especies son el *Sorghum vulgare* y el *Andropogum sorgum sudanensis*.

El sorgo tiene una altura de 1 a 2 metros. Tiene inflorescencias en panojas y semillas de 3 mm, esféricas y oblongas, de color negro, rojizo y

amarillento. Tiene un sistema radicular que puede llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad. Las flores tienen estambres y pistilos, pero se han encontrado en Sudán sorgos dioicos. Las exigencias en calor del sorgo para grano son más elevadas que las de maíz. Para germinar necesita una temperatura de 12 a 13 °C, por lo que su siembra ha de hacerse de 3 a 4 semanas después del maíz. El crecimiento de la planta no es verdaderamente activo hasta que se sobrepasan los 15 °C, situándose el óptimo hacia los 32 °C.

Al principio de su desarrollo, el sorgo soporta las bajas temperaturas de forma parecida al maíz, y su sensibilidad en el otoño es también comparable. Los descensos de temperatura en el momento de la floración pueden reducir el rendimiento del grano. Por el contrario, el sorgo resiste mucho mejor que el maíz las altas temperaturas. Si el suelo es suficientemente fresco no se comprueba corrimiento de flores con los fuertes calores.

El sorgo resiste la sequía más que el maíz. Es capaz de sufrir sequía durante un periodo de tiempo bastante largo, y reemprender su crecimiento más adelante cuando cesa la sequía. Por otra parte, necesita menos cantidad de agua que el maíz para formar un kilogramo de materia seca.

Se desarrolla bien en terrenos alcalinos, sobre todo las variedades azucaradas que exigen la presencia en el suelo de carbonato cálcico, lo que aumenta el contenido en sacarosa de tallos y hojas. Prefiere suelos sanos, profundos, no demasiado pesados. Soporta algo la sal.

Es un mal precedente de otros cultivos, particularmente para los cereales de otoño.

El sorgo exige para la preparación del terreno una labor de alzar profunda, un par de cohechos y pases de cultivador, que mantengan el terreno limpio de malas hierbas. La forma de siembra está determinada por la temperatura del suelo. Como regla general, la siembra del sorgo debe comenzar de quince a treinta días después de lo que es usual en el maíz en cada región.

La densidad de plantación en el sorgo no es muy importante, aunque las plantaciones demasiado claras no son deseables. Según ensayos realizados en Francia, se puede aconsejar una densidad de 20 a 30 plantas por metro cuadrado y una separación de líneas comprendidas entre 20 y 60 cm. Por encima de los 60 cm se ha comprobado en la mayor parte de los ensayos una disminución del rendimiento.

La siembra puede ser realizada con diferentes modelos de sembradoras de trigo, regulando la separación de línea según se desee, o bien con sembradoras de maíz equipadas con tipos de discos adaptados al grano de sorgo.

Es esencial no enterrar excesivamente el grano, debiendo ser de unos 2 a 4 cm la profundidad, y procurando que ésta sea regular.

Generalmente, con sorgos híbridos se necesitan unos 15 kg/ha de semilla.

Como productos recomendados para la desinfección del suelo en el sorgo, se recomiendan: Carbofurano, Carbofurano+fenamifos, Carbosulfán, Clormefos, Disulfotón y Terbufos

El sorgo es menos exigente en agua que el maíz, aunque no deben regatearse los riegos. Generalmente, pueden considerarse como suficiente cinco riegos.

El período crítico de necesidades de agua del sorgo va desde el momento que aparece la panícula en las hojas del vértice de las plantas hasta el final del estado lechoso del grano. Gracias al tamaño corto de los tallos, el riego por aspersión es más fácil de realizar que en el maíz y menos exigente en mano de obra. Cuando la cantidad de agua es insuficiente para asegurar una buena producción del maíz, puede ser sustituido el maíz por el sorgo, por resistir más a la sequía que este último.

La recolección se hace con cosechadora. El grano no debe almacenarse con más del 15% de humedad. Cuando se requiere hacer un almacenaje de larga duración, la humedad del grano no debe pasar del 12%.

En cuanto al rendimiento en la producción de sorgo se observa que al igual que en el trigo y cebada se encuentra en clara desventaja frente a otros países de la UE, por lo tanto los costes de producción se ve acusados de una manera similar.

Rendimiento		
País \ Año	2003 tn/ha	2004 tn/ha
España	4,4769	3,625
Francia	3,77	5,3958
Italia	5,1796	6,3428
Hungría	1,9793	-

### ▪ *Pataca*



La pataca (*Helianthus tuberosus* L) es una especie herbácea de la familia de las Compuestas, de origen americano que fue introducida en Europa por los conquistadores españoles y desde el siglo XVII se ha cultivado localmente en diversas partes de Europa como alimento humano y para el ganado. En España todavía se cultiva en pequeños huertos de algunas zonas aisladas, principalmente en algunos pueblos de Cuenca y Salamanca.

Es un cultivo muy rústico, resistente a plagas y enfermedades. Los tubérculos en el suelo son capaces de resistir fuertes heladas (hasta  $-15^{\circ}$  según hemos comprobado experimentalmente), pero tienen muy poca resistencia a la desecación cuando quedan expuestos al aire. Aunque puede desarrollarse en secanos frescos, para dar rendimientos elevados en Castilla y León es necesario que su cultivo se realice en tierras de regadío. Requiere suelos sueltos y profundos sin problemas de encharcamiento, siendo muy adecuados los suelos en que se cultiva el maíz o la remolacha.

La parte de interés comercial del cultivo son los tubérculos, que están compuestos fundamentalmente por agua (78%) e hidratos de carbono fácilmente hidrolizables (15-18%), principalmente inulina, de cuya hidrólisis se obtiene del orden de un 80% de fructosa y un 20% de glucosa.

Aunque puede ser un cultivo destinado al consumo humano o a la alimentación animal, su verdadera importancia es como materia prima para la industria del bioetanol-carburante. La producción de etanol a partir de los tubérculos se realiza a razón de 1 l de etanol por cada 12 kg de tubérculos (frescos), pudiéndose obtener rendimientos de 5000-6000 l etanol/ha con la ventaja de que, si se utiliza el poder calorífico de los tallos, no se necesita aporte calórico suplementario para la destilación del alcohol.

## ▪ *Colza*



La colza (*Brassica napus*) es una crucífera de raíz pivotante y profunda. Cuando esta raíz principal encuentra obstáculos para profundizar, tiene facilidad para desarrollar raíces secundarias.

El tallo tiene un tamaño de 1,5 m aproximadamente. Las hojas inferiores son pecioladas pero las superiores lanceoladas y enteras. Las flores son pequeñas, amarillas y se agrupan en racimos

terminales.

Su cultivo, gracias a la gran diversidad de variedades, es posible hoy en día en la totalidad de la península Ibérica.

No soporta temperaturas inferiores a los 2 ó 3 °C bajo cero desde la germinación hasta el estado de roseta; en este estado puede aguantar hasta los 15 °C bajo cero (incluso el frío le favorece pues desarrolla más la raíz).

La colza se puede desarrollar a partir de los 400 mm de lluvia si éstos están bien distribuidos. Tiene resistencia a la sequía invernal y sufre con los encharcamientos.

En la floración no convienen temperaturas altas para que no se acorte el ciclo y se produzca mejor la granazón.

El intervalo de pH deseable es 5,5-7, aunque puede cultivarse en cualquier tipo de suelo, soportando incluso una cierta acidez.

Al ser la raíz pivotante, prefiere suelos profundos y con buen drenaje.

<b>Rendimiento</b>		
<b>País \ Año</b>	<b>2003 tn/ha</b>	<b>2004 tn/ha</b>
Bélgica	3,60	3,94
Republica Checa	1,53	3,58
Dinamarca	3,42	3,83
Alemania	2,87	4,11
Estonia	1,49	1,64
España	1,88	1,50
Francia	3,11	3,54
Italia	1,37	1,72
Letonia	1,43	1,56
Lituania	1,79	1,87
Luxemburgo	3,41	3,94
Hungría	4,21	2,17
Holanda	3,49	3,39
Austria	1,76	3,43
Polonia	1,86	2,77
Suecia	2,21	2,76
Reino Unido	3,26	3,08

Análogamente en el rendimiento de la colza España se encuentra en clara desventaja frente al resto de países de la UE, lo cual implica que para obtener unos precios razonables y obtener unos costes menores, es necesario el desarrollo de técnicas que incrementen la producción junto con localizaciones óptimas de cultivo.

## *Posibles tierras de cultivo*

- ♦ La posibilidad de disponer de tierras para cultivos energéticos va depender de una serie de factores unos tecnológicos y otros estructurales. Entre los primeros se encuentran las características edafoclimáticas de las tierras consideradas. Los segundos vienen condicionados por las modificaciones que se puedan introducir en la actual política agraria comunitaria en los próximos años impulsadas por determinados estados miembros y la obligación que tiene España de retirar tierras de cultivo

En este artículo se ha considerado la mitad superior e la península, por disponer de una red de riego, junto con mayor pluviometría. La mitad sur también es susceptible de un estudio análogo, especialmente zonas de Extremadura, Castilla La Mancha y Andalucía donde los cultivos actualmente subvencionados por la U.E. pueden estar en situaciones precarias en los próximos años.

La elección de las superficies necesarias para el cultivo de las materias primas, tiene por finalidad la búsqueda de rendimientos competitivos frente al resto de países de la UE, donde se obtienen producciones ostensiblemente mayores (en torno al doble).

En el estudio se ha ignorado la actual politización de la explotación de los recursos hídricos a nivel nacional. Gran parte de los cultivos son capaces de desarrollarse a partir de 400 mm de pluviometría, razón por la cual podríamos establecer cualquiera de los cultivos en prácticamente la totalidad del territorio español. Esta pluviometría se podría complementar con riegos adecuados que salvaran la épocas de condiciones meteorológicas adversas y aumentase el rendimiento por hectárea.

A continuación se muestra un ejemplo ilustrativo de la recogida de datos de las zonas de España, junto con las superficies disponibles, y las superficies disponibles según su tipo (Superficies regables y su uso).

## **Ejemplo de recogida de datos de zonas españolas.**

El relieve español: El territorio español está integrado por un amplio y variado conjunto de montañas, mesetas y llanuras labradas sobre rocas muy distintas y perteneciente a diversas eras geológicas, que han sufrido una larga y compleja evolución con el paso del tiempo.

Estas fases han sido, en buena parte, dirigidas por la ubicación de la península ibérica entre los continentes africano y europeo, localización que a su vez ha tenido una acentuada trascendencia tanto en la organización de sus roquedos como en la configuración de sus principales relieves.

Los terrenos que afloran en España pueden ser agrupados en varios conjuntos geológicos entre los que destacan:

Materiales muy antiguos de edad precámbrica o arcaica afectados y desfigurados por orogenias anteriores al Primario.

Regiones paleozóicas constituidas por terrenos del Primario (Cámbrico, Ordovicio, Silúrico) deformadas a finales de los tiempos primarios (Carbonífero por la orogenia hercínica).

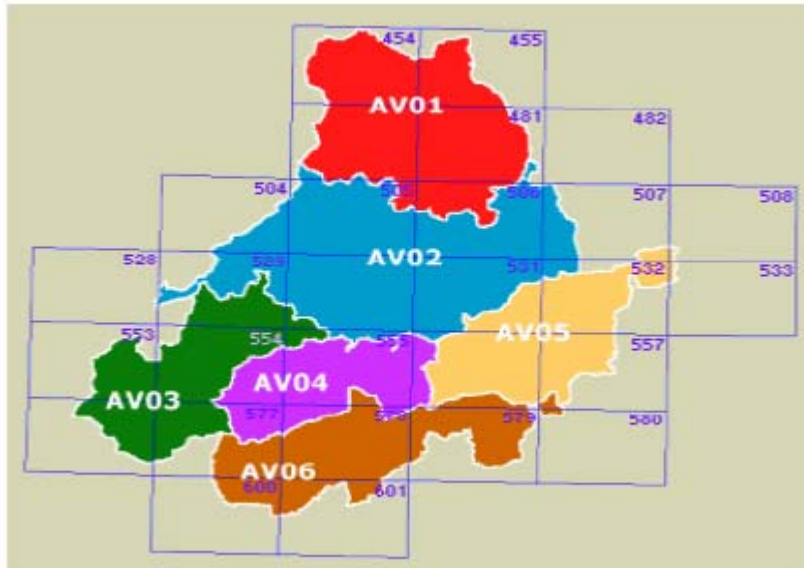
Territorios integrados por roquedos y estratos de Edad Secundaria y del Terciario plegados y dislocados por la orogenia alpina (Terciario medio).

Áreas constituidas por terrenos de distintas edades, apenas deformados o no afectados por la orogenia alpina, asociados fundamentalmente a estratos sedimentados con posterioridad a la etapa tectónica más violenta de esta orogenia.

Estos dominios geológicos se disponen en una placa litosférica de modestas dimensiones, denominada Placa Ibérica.

**Ejemplo Ávila:**

**Mapa Comarcal**



**Suelos Dominantes**

Código	Comarca	Suelos dominantes
AV.01	Arevalo-Madrigal	Haploxeralf, Xeropsamment, Xerochrept
AV.02	Avila	Xerochrept, Haploxeralf, Xerorthent
AV.03	Barco Avila-Piedrahita	Cryorthent, Xerorthent, Cryumbrept
AV.04	Gredos	Ustochrept, Cryumbrept, Cryorthent
AV.05	Valle Bajo Alberche	Xerochrept, Xerumbrept, Ustochrept
AV.06	Valle del Tietar	Cryorthent, Xerumbrept, Xerochrept

**Materiales Originales**

<b>Código</b>	<b>Comarca</b>	<b>Materiales originales</b>
AV.01	Arevalo-Madrigal	Arenas, arcillas y rañas Rocas ácidas: Granito de dos micas Rocas metamórficas: Gneis, micacitas, filitas y cuarcitas
AV.02	Avila	Rocas ácidas: Granito adamelítico de dos micas Arcillas rojas, margas, rañas, pizarras, calcoesquistos, calizas, cuarcitas Rocas metamórficas: Esquistos cristalinos (indiferenciados)
AV.03	Barco Avila-Piedrahita	Rocas ácidas: Granito adamelítico de dos micas Rocas metamórficas: Esquistos cristalinos (indiferenciados)
AV.04	Gredos	Rocas ácidas: Granito adamelítico de dos micas Rocas metamórficas: Esquistos cristalinos (indiferenciados)
AV.05	Valle Bajo Alberche	Rocas ácidas: Granito adamelítico de dos micas Rocas metamórficas: Gneis, esquistos cristalinos y esquistos micáceos
AV.06	Valle del Tietar	Rocas ácidas: Granito adamelítico de dos micas Rocas metamórficas: Esquistos cristalinos (indiferenciados) Terrenos calizos

## Datos Climáticos

Código	Comarca	Datos climáticos
AV.01	Arevalo-Madrigal	Temperatura media anual, °C: 7.5-12.5 Precipitación media anual, mm: 200-600 Meses con mayor precipitación: Nov-Dic Meses de menor precipitación: Jul-Ago Días con temperaturas ≤ 0, °C: 60->120 -Clase bioclimática: C3 (h1-f3)
AV.02	Avila	Temperatura media anual, °C: 0-12.5 Precipitación media anual, mm: 400-1000 Meses con mayor precipitación: Nov-Dic Meses de menor precipitación: Jul-Ago Días con temperaturas ≤ 0, °C: 60->120 -Clase bioclimática: C4 (h1-f4)
AV.03	Barco Avila-Piedrahita	Temperatura media anual, °C: 0-12.5 Precipitación media anual, mm: 600-1000 Meses con mayor precipitación: Nov-Dic Meses de menor precipitación: Jul-Ago Días con temperaturas ≤ 0, °C: 60->120 -Clase bioclimática: C4 (h1-f4)
AV.04	Gredos	Temperatura media anual, °C: 0-12.5 Precipitación media anual, mm: 600-1000 Meses con mayor precipitación: Nov-Dic Meses de menor precipitación: Jul-Ago Días con temperaturas ≤ 0, °C: 60-90 -Clase bioclimática: C4 (h1-f4)
AV.05	Valle Bajo Alberche	Temperatura media anual, °C: 10-15 Precipitación media anual, mm: 400-800 Meses con mayor precipitación: Nov-Dic Meses de menor precipitación: Jul-Ago Días con temperaturas ≤ 0, °C: 40-90 Clase bioclimática: C3 (h1-f3)
AV.06	Valle del Tietar	Temperatura media anual, °C: 10-15 Precipitación media anual, mm: 800-1200 Meses con mayor precipitación: Nov-Dic Meses de menor precipitación: Jul-Ago Días con temperaturas ≤ 0, °C: 40-60 -Clase bioclimática: C3 (h1-f3)

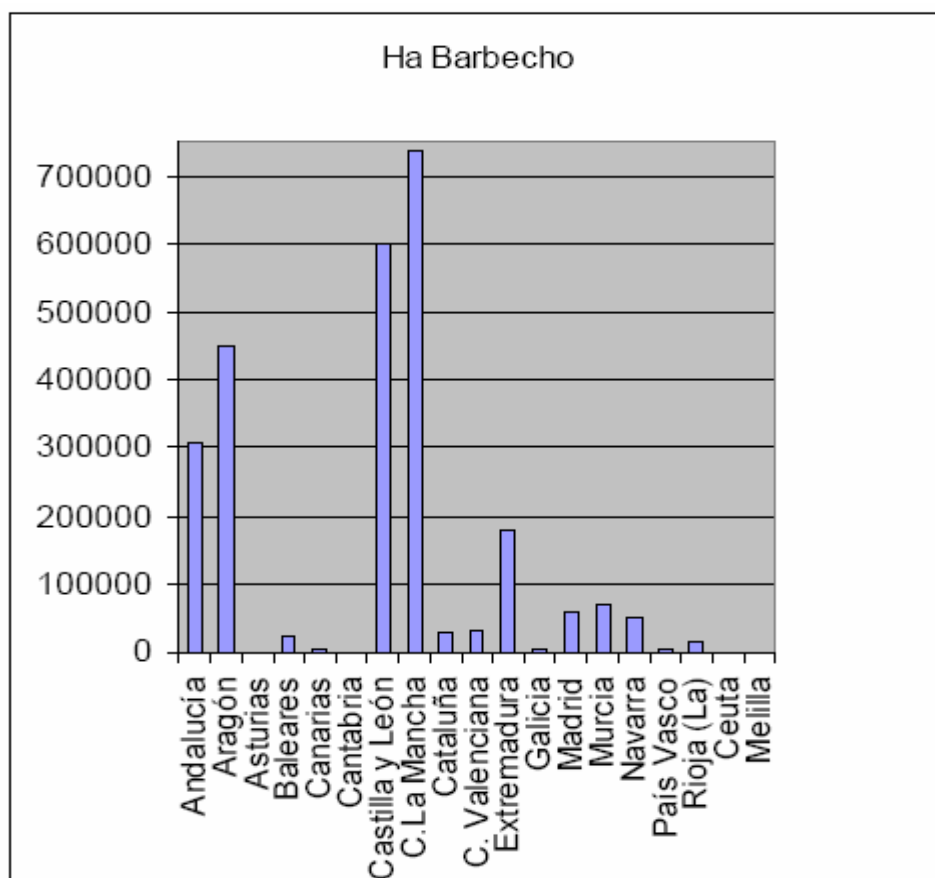
## Indicadores Ambientales

Provincia	Indicadores agro-ambientales
Avila	Productividad potencial: -Reducción de rendimiento, %: 0

## Tabla de superficies utilizables

Resultados por comunidades/provincias, otros cultivos herbáceos y barbechos y Explotaciones/Ha..								
TOTAL	Barbechos		Otros cultivos herbáceos. Total		Otros cultivos herbáceos. Secano		Otros cultivos herbáceos. Regadio	
	Explotac	Ha.	Explotac.	Ha.	Explotac.	Ha.	Explotac.	Ha.
	260035	2569485	2027	3899	1673	3082	372	817
Andalucía	36506	309178	86	130	8	12	79	118
Almería	2928	25273	1	1	1	1	..	..
Cádiz	1747	17780	..	..	..	..	..	..
Córdoba	4663	75433	4	25	1	0	3	25
Granada	9661	70295	65	64	2	0	63	64
Huelva	3011	31488	2	2	1	2	1	0
Jaén	4347	18398	1	0	..	..	1	0
Málaga	3023	13375	1	0	..	..	1	0
Sevilla	7126	57135	12	38	3	9	10	29
Aragón	29819	448664	45	151	21	87	25	65
Huesca	9085	99841	2	29	..	..	2	29
Teruel	7417	134834	10	4	9	2	2	2
Zaragoza	13317	213989	33	118	12	84	21	34
Asturias	86	234	4	0	1	0	3	0
Baleares	6679	24763	25	85	23	73	3	12
Canarias	1822	4145	7	4	3	3	4	0
Palmas (Las)	1499	3871	4	3	3	3	1	0
Santa C. de Tenerife	323	274	3	0	..	..	3	0
Cantabria	43	111	2	1	1	0	1	1
Castilla y León	59859	600661	524	866	477	690	53	176
Ávila	3090	27372	3	37	3	37	..	..
Burgos	7593	73759	12	89	7	74	5	15
León	9561	75118	11	13	2	2	9	11
Palencia	4994	59360	13	56	4	28	10	29
Salamanca	6100	57185	12	38	4	19	8	18
Segovia	5325	46169	3	16	2	16	1	0
Soria	4064	64033	4	4	4	4	1	0
Valladolid	6107	72951	2	7	..	..	2	7
Zamora	13025	124715	464	606	451	510	17	96
Castilla-La Mancha	54691	738136	40	271	19	198	22	73
Albacete	8540	176969	6	4	2	2	4	2
Ciudad Real	15196	216202	..	..	..	..	..	..
Cuenca	11997	90789	17	140	9	88	8	52

Guadalajara	4080	64399	4	2	..	..	4	2
Toledo	14878	189777	13	125	8	108	6	17
Cataluña	6735	28722	104	376	58	218	49	158
Barcelona	1524	6377	8	20	5	13	4	7
Girona	1081	3908	39	91	32	79	7	12
Lleida	3357	15643	38	175	16	61	24	114
Tarragona	773	2794	19	90	5	65	14	25
Com. Valenciana	17974	32758	31	48	14	38	17	10
Alicante	7081	13290	4	1	2	0	2	1
Castellón	2172	4923	8	4	2	0	6	4
Valencia	8721	14544	19	43	10	38	9	5
Extremadura	12809	179031	7	124	2	2	5	122
Badajoz	10594	146385	3	24	1	2	2	22
Cáceres	2215	32646	4	100	1	0	3	100
Galicia	9253	4758	694	46	611	40	86	5
Coruña (A)	2626	957	3	1	2	0	1	0
Lugo	1968	1276	11	8	9	6	2	2
Ourense	2087	1941	17	20	14	20	3	0
Pontevedra	2572	584	663	17	586	14	80	3
Madrid	2875	57460	6	39	2	18	5	21
Murcia	9408	70472	10	54	1	7	9	47
Navarra	5961	50688	4	0	1	0	3	0
País Vasco	1376	5626	434	1699	430	1695	5	4
Alava	1309	5554	27	23	24	19	4	4
Guipúzcoa	30	60	399	1673	399	1673	..	..
Vizcaya	37	12	8	3	7	3	1	0
Rioja (La)	4139	14079	4	6	1	0	3	6
Ceuta	..	..	..	..	..	..	..	..
Melilla	..	..	..	..	..	..	..	..



## Superficie regable

Resultados por comunidades/provincias, superficie regable y Explotaciones/Ha..						
TOTAL	Total regable		Superficie regada		Superficie no regada	
	Explotaciones	Ha.	Explotaciones	Ha.	Explotaciones	Ha.
	927754	3575494	903979	3315600	88613	259894
Andalucía	168478	861067	166072	832551	9166	28516
Almería	28799	58457	28030	52476	2416	5981
Cádiz	6560	51376	6493	50102	272	1274
Córdoba	10584	98589	10414	92290	928	6299
Granada	39628	103339	39143	100325	2231	3014
Huelva	6124	35158	5997	33351	384	1806
Jaén	40536	196181	40154	194142	942	2040
Málaga	19335	50377	19112	48502	827	1874
Sevilla	16912	267590	16729	261363	1166	6227
Aragón	52372	406326	51018	377685	8869	28640
Huesca	15441	194341	15034	176363	4455	17977
Teruel	9876	26728	9487	24041	1494	2687
Zaragoza	27055	185257	26497	177281	2920	7976
Asturias	20811	8417	20808	8231	75	186
Baleares	9902	21716	9592	17814	1310	3902
Canarias	25202	30372	24966	27796	1341	2576
Palmas (Las)	6262	9300	6221	9195	126	105
Santa Cruz de Tenerife	18940	21072	18745	18601	1215	2471
Cantabria	6119	1983	6108	1263	80	720
Castilla y León	79366	492209	76096	438892	12307	53317
Ávila	9144	37034	8923	35187	644	1847
Burgos	7618	24936	7404	21210	712	3726
León	26717	128006	25393	117078	5519	10928
Palencia	4616	60193	4200	46989	1581	13204
Salamanca	7688	45109	7459	39043	704	6066
Segovia	3011	21686	2707	17137	831	4550
Soria	3107	14802	2905	10438	711	4364
Valladolid	5717	101325	5520	95893	712	5432
Zamora	11748	59117	11585	55916	893	3201
Castilla-La Mancha	53913	518578	51370	468934	6902	49644
Albacete	14494	149207	13985	140995	1612	8212
Ciudad Real	15720	209225	14828	184294	2566	24931
Cuenca	7317	46512	6819	37311	1030	9201
Guadalajara	3436	15757	3391	15265	220	492
Toledo	12946	97877	12347	91069	1474	6808
Cataluña	45819	248322	44988	237418	3741	10903

Barcelona	5505	10874	5460	10272	257	603
Girona	5072	29611	5006	25816	551	3795
Lleida	16004	143704	15743	140311	1441	3393
Tarragona	19238	64132	18779	61019	1492	3113
Comunidad Valenciana	171098	304997	164854	283565	20265	21432
Alicante	36278	96376	34057	84454	6782	11923
Castellón	33720	50877	32522	48449	3673	2429
Valencia	101100	157743	98275	150663	9810	7081
Extremadura	31355	246011	30777	235931	2839	10081
Badajoz	13693	147085	13478	140492	1302	6594
Cáceres	17662	98926	17299	95439	1537	3487
Galicia	160228	77522	158249	73718	9137	3804
Coruña (A)	39417	15800	39260	15341	894	458
Lugo	32799	21693	32765	21141	232	551
Ourense	40358	19710	39493	18421	3017	1290
Pontevedra	47654	20320	46731	18815	4994	1504
Madrid (Comunidad de)	4347	27892	4199	25765	359	2128
Murcia	45413	185811	43571	170150	5556	15661
Navarra	16651	74122	16367	72088	1100	2034
País Vasco	23650	24807	23530	10606	1212	14201
Álava	3874	23472	3780	9429	907	14044
Guipúzcoa	7378	447	7378	445	19	2
Vizcaya	12398	888	12372	732	286	156
Rioja (La)	13019	45337	11403	33188	4354	12149
Ceuta	3	2	3	2	..	..
Melilla	8	4	8	4	..	..

## *Procesos de producción de biocarburantes*

En la economía de los biocarburantes son fundamentales r sus procesos de producción:

- el biodiesel, se obtiene a partir de aceites vegetales, que se someten a un proceso de esterificación con metanol obteniendo el biodiesel y glicerina
- el bioetanol, se obtiene a partir de productos azucarados, a los cuales se les somete a un proceso de fermentación y una posterior decantación para la obtención del alcohol, o de sustancias ricas en almidón las cuales sufren una primera transformación del almidón a glucosa y fructosa y estas sustancias azucaradas se someten a una fermentación.
- El bioetanol se puede también producir por la hidrólisis ácida de sustancias celulósicas

La economía de cada uno de los procesos es fundamental como se dijo anteriormente para determinar el coste del producto

## ▪ *Biodiesel*

La producción del biodiesel es bien conocida y citada extensamente en la literatura y a través de diversos medios informativos. Básicamente se elabora mediante la transesterificación de grasas y aceites con alcohol metílico en ambiente básico. Los catalizadores a emplear pueden ser sosa cáustica o metilato sódico, ambos en solución metanólica.

Esta es la vía actualmente empleada para producirlo, ofrece entre otras las siguientes ventajas:

- Elevada conversión (98%) con pocas reacciones secundarias y reducido tiempo de reacción.
- Conversión directa a ester metílico sin pasos intermedios.
- Materiales de construcción estándar (AISI 304 y acero al carbono)

La producción de biodiesel puede hacerse de forma discontinua, apropiado para producciones pequeñas de no más de 10.000.- (diez mil) t/año, y en un proceso continuo, que se va a describir someramente en este artículo. El diagrama de flujo del proceso de producción del biodiesel se puede observar en la siguiente figura:

.Este proceso los aceites o grasas libres de acidez, se transforman en metilester por la adición de alcohol metílico en el mezclador estático

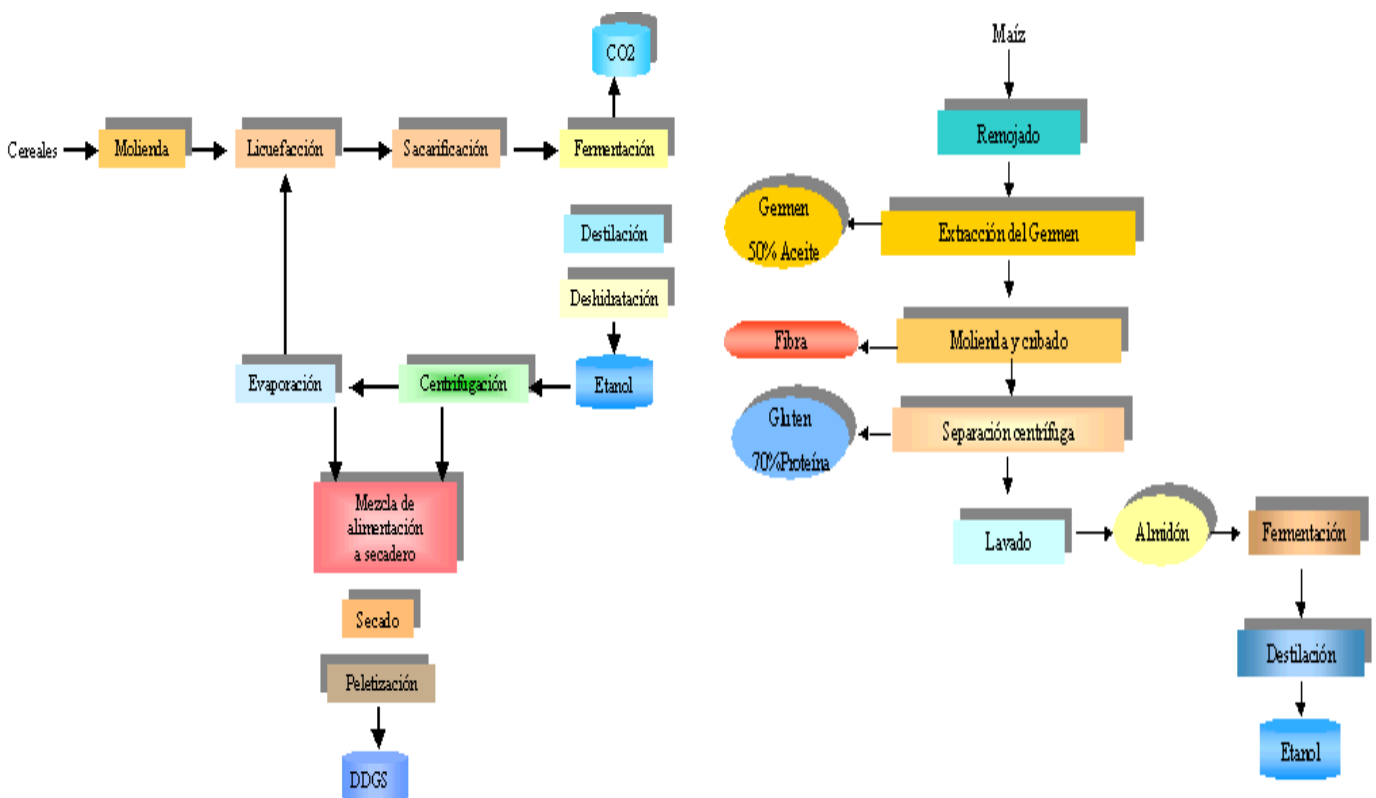
Este producto se hace pasar luego a través del reactor que funciona con catalizador en lecho fijo donde se produce la reacción de esterificación de los ácidos grasos libres. La corriente proveniente de esta unidad se mezcla en la unidad estática con el metanol necesario para la transesterificación, mas un pequeño exceso del mismo, y el catalizador. Esta corriente ingresa en el reactor tubular en el cual se produce la transesterificación de los triglicéridos. El producto de la reacción, compuesto por el metilester, la glicerina, el metanol en exceso y el catalizador, debe ser neutralizado. Para ello se mezcla en la unidad estática, con un ácido mineral en la cantidad necesaria. Posteriormente en la unidad de destilación flash FC se despoja al producto de los volátiles, compuestos fundamentalmente por el alcohol metílico en exceso. Los vapores de metanol se condensan y se envían al tanque de almacenamiento, del cual será nuevamente introducido en el ciclo. El producto de fondo del evaporador flash FC, que contiene el metilester, la glicerina, sales y agua se envía al decantador continuo D,

en el cual se separa el metilester del resto de los productos. La fase ligera (biodiesel) se envía al tanque de almacenaje, mientras la fase pesada (glicerina bruta) que contiene glicerina (aprox 90%) , agua y sales se envía asimismo al almacenaje.

▪ **Producción Bioetanol:**

El bioetanol se puede producir por un proceso de fermentación de azúcares o por hidrólisis ácida. En el momento actual, el bioetanol se obtiene en España a partir de cereales. de un forma general este proceso se puede realizar de dos formas:

- Vía húmeda (wet milling o vía larga) en la que se fraccionan los cereales en un medio acuoso, y posteriormente se somete a un proceso de cocción y de sacarificación para obtener una solución de glucosa.
- Vía seca (dry milling o vía corta) consiste en una trititación grosera de los granos para una posterior cocción – licuefacción en agua caliente, obteniendo una solución mas simple y que se encuentra mas cerca de la molienda que del propio tratamiento del almidón.



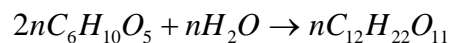
### ❖ *Fermentación*

Químicamente la obtención de etanol a partir de almidón se realiza de la siguiente manera:

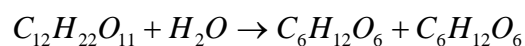
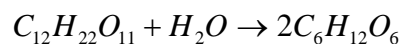
- Conversión enzimática del almidón en azúcar:
  - Hidrólisis del almidón
  - Sacarificación
- Fermentación
- Destilación

En la primera parte, se trata de realizar la conversión del almidón en un sustrato adecuado para la posterior fermentación, por lo tanto mediante la hidrólisis del almidón y la sacarificación, se transforma el almidón en componentes azucarados como son la glucosa y la fructosa.

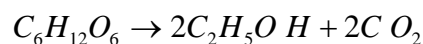
En el proceso de hidrólisis se transforma el almidón en maltosa en una reacción acuosa y con el uso de la  $\alpha$  - amilasa.



En la sacarificación, se pasará de maltosa y sacarosa por un lado a glucosa y por otro a glucosa y fructosa también en medio acuoso y con el uso de enzimas como la glucoamilasa y la invertasa.



En el proceso de fermentación se produce el paso o transformación de la glucosa en etanol.



Se añade levadura a la mezcla para convertir los monosacáridos en etanol 8-12 % y CO<sub>2</sub>, añadiendo 450 grms de levadura por cada 1.000 litros de mezcla en unas condiciones especiales de presión y temperatura:

P=48 a 72 bar

T=29 – 35 Grados centígrados.

Por ultimo se realiza el proceso de destilación mediante el cual se separa el etanol.

Cultivo Base	Coste de Producción Euro/hl Bioetanol	Coste de Producción Euro/l Bioetanol
Trigo	11,40	0,11
Remolacha	26,40	0,26
Patata	60,00	0,60
Vino	86,40	0,86
Maiz	19,56	0,20
Pataca	27,60	0,28

#### ❖ *Hidrólisis*

Una gran parte de los materiales con alto contenido de celulosa pueden ser utilizados como materia prima para la producción de etanol combustible mediante la hidrólisis ácida. La biomasa lignocelulósica presenta una estructura compleja compuesta de tres fracciones que deben ser procesadas por separado para asegurar su conversión a etanol. La fracción mayoritaria de esta biomasa es la celulosa cristalina. La celulosa está compuesta de cadenas largas de moléculas de D-glucosa unidas por enlaces beta(1-4) que, a su vez, se agrupan en estructuras superiores con un alto grado de cristalización, lo que dificulta su hidrólisis y conversión a azúcares fermentables. Sin embargo, una vez se producen los azúcares simples, pueden fermentarse sin dificultad. La celulosa puede ser hidrolizada a etanol mediante procesos ácidos o enzimáticos.

La segunda fracción es la hemicelulosa, formada por polímeros de azúcares de cinco átomos de carbono (principalmente xilosa). Esta fracción es fácilmente hidrolizable ya que no presenta estructura cristalina; sin embargo, la xilosa es un azúcar difícil de fermentar a

etanol. La última fracción es lignina, polímero tridimensional de unidades de fenilpropano ligadas por enlaces éster y C-C.

Los procesos de obtención de etanol a partir de biomasa lignocelulósica que utilizan catalizadores ácidos permiten, en condiciones adecuadas de presión y temperatura, una solubilización de la hemicelulosa y la celulosa, quedando prácticamente inalterada la lignina. A temperaturas superiores a los 200°C aparecen productos de descomposición de los azúcares, por lo que no pueden obtenerse rendimientos muy altos. Además, estas sustancias son inhibitoras del proceso fermentativo por lo que deben eliminarse del hidrolizado antes de realizar la fermentación. Los métodos industriales de hidrólisis ácida de la fracción celulósica se agrupan en dos tipos: los que emplean ácidos concentrados y bajas temperaturas y los que utilizan ácidos diluidos a temperaturas más altas. A pesar de los altos rendimientos de hidrólisis que se obtienen con los procesos que utilizan ácidos concentrados, no existe ninguna planta industrial operando con este sistema, por su falta de rentabilidad. Entre los procesos de hidrólisis de celulosa utilizando ácidos diluidos, el más utilizado es el método de percolación, en el que el ácido se hace pasar a través del material.

Una vez realizada la hidrólisis se obtienen sustancias azucaradas a las cuales se les somete a un proceso de fermentación.

## ***Estudio Económico***

La viabilidad de la utilización de los biocombustibles en el sector del transporte depende del coste de producción del producto. Es necesario un análisis económico de todo el proceso de producción incluyendo el coste de la materia prima en el que se consideran salarios de la mano de obra, coste horario de la maquinaria, coste de las labores) y el de su transformación. Lógicamente habrá que considerar las subvención de 45 €/ha que recientemente ha establecido la Unión Europea para los cultivos agroenergético y la fiscalidad de los biocarburantes.

En este artículo se ha realizado una estimación del coste de los cultivos para producir un millón de toneladas de biocarburante partiendo de las superficies de cultivo necesarias para cada una de las materias primas consideradas:

Superficie necesaria (ha)			
Trigo-Cebada	Sorgo	Colza	Pataca
1.150.747,98	210.970,46	1.028.383,38	233.719,13

Coste Materia Prima (€/ha)				
Trigo	Cebada	Sorgo	Colza	Pataca
517,19	301,99	1.207,47	542,96	1.285,35

Coste Total €				
Trigo	Cebada	Sorgo	Colza	Pataca
595.155.347,78	347.514.382,48	254.740.501,34	558.371.040,72	300.410.883,75

Coste Transporte Materia Prima:

Coste transporte de M.P			
Trigo-Cebada	Sorgo	Colza	Pataca
28.231.421,40	5.659.032,82	11.474.821,46	133.377.732,91

Coste Producción de Biocarburante:

Coste Producción Biocarburante €/l	
Biodiesel	Bioetanol
0,14	0,23

Llegando finalmente al coste del biocarburante total en €/litro como se muestra a continuación.

Biodiesel	Sorgo	Trigo	Cebada	Pataca
0,64 €/l	0,38 €/l	0,63 €/l	0,44 €/l	0,56 €/l

Según los datos obtenidos parece viable la introducción de los biocarburantes, aunque resulta de gran importancia el coste de la materia prima, porque supone un alto porcentaje del precio final.

Finalmente se ha realizado un balance energético del proceso de producción así como de las emisiones producidas en todas las etapas del proceso productivo, dentro de un análisis medioambiental

Consumo Total Carburante, Producción y balance:

<b>Consumo Producción Materia Prima (Millones Kcal.)</b>			
<b>Trigo-Cebada</b>	<b>Sorgo</b>	<b>Colza</b>	<b>Pataca</b>
<b>2.635.000</b>	<b>48.299</b>	<b>2.355.000</b>	<b>537.000</b>

<b>Producción Biocarburante Consumo Carburante (Millones Kcal.)</b>	
<b>Bioetanol</b>	<b>Biodiesel</b>
<b>3.654.000</b>	<b>3.266.000</b>

<b>Fertilizantes y Pesticidas Consumo Carburante (Millones Kcal.)</b>	
<b>Bioetanol</b>	<b>Biodiesel</b>
<b>984.000</b>	<b>896.000</b>

<b>Transporte de M.P Consumo Carburante (Millones Kcal.)</b>			
<b>Trigo-Cebada</b>	<b>Sorgo</b>	<b>Colza</b>	<b>Pataca</b>
<b>409.000</b>	<b>82.000</b>	<b>166.000</b>	<b>1.928.000</b>

<b>Cantidad a obtener (Millones Kcal.)</b>	
<b>Bioetanol</b>	<b>Biodiesel</b>
<b>6.456.000</b>	<b>9.390.000</b>

<b>Total Consumo (Millones Kcal.)</b>			
<b>Trigo-Cebada</b>	<b>Sorgo</b>	<b>Colza</b>	<b>Pataca</b>
<b>7.680.000</b>	<b>4.767.000</b>	<b>6.682.000</b>	<b>7.102.000</b>
<b>Balance (millones Kcal.)</b>			
<b>Trigo-Cebada</b>	<b>Sorgo</b>	<b>Colza</b>	<b>Pataca</b>
<b>-1.224.000</b>	<b>1.689.000</b>	<b>2.708.000</b>	<b>-644.000</b>

Se ha realizado una estimación de la posible eutrofización de las tierras por la utilización de abonos nitrogenados.

Como conclusión: Potencialmente es posible la introducción de cultivos agroenergéticos en España. Tendría que hacerse una política adecuada en la que mediante estudios experimentales edafoclimáticos se optimizase el rendimiento de las especies seleccionadas. Los actuales rendimientos de la producción agraria española son sensiblemente inferiores a los obtenidos en otros países europeos, situación que no ha merecido la atención de las autoridades por la estructura de la PAC. .

Finalmente, la introducción de 2 millones de toneladas de Biocarburante tendría un impacto económico social, supondría un incremento en la población activa del sector agrario de 7.500 agricultores para una superficie cultivada indicada en la tabla anterior de superficies..

También se generaría empleo en las industrias transformadoras unos 2.000 puestos de trabajo, para producir las 2 toneladas de biocarburante.

En cuanto al balance energético cabe destacar que se requiere de una cogeneración de manera que el balance energético sea positivo.

En cuanto al precio final necesario destacar que reobtienen beneficios fiscales siempre y cuando no suponga un desequilibrio con otras fuentes de energía como los carburantes fósiles.