

TEMA 3: FUENTES DE ENERGÍA DE LA BIOMASA, (2): LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS



F. Jarabo

LA AGROENERGÉTICA

El cultivo de cosechas atendiendo al valor que poseen como combustible, es decir, con la directriz de su potencial energético, es lo que se conoce como *cultivos energéticos*.

Recientemente, y como consecuencia de la crisis energética, se ha empezado a considerar seriamente la posibilidad de producir biomasa vegetal transformable en energía, conociéndose esta nueva faceta agrícola como *Agroenergética*, sobre la cual, por falta de datos experimentales, existen todavía interrogantes acerca de su rentabilidad e impactos social y ecológico. Actualmente sólo se obtienen pequeñas cantidades de energía procedentes de esta fuente; el conocer su rentabilidad económica y energética debe ser objeto de investigación para que se pueda llevar a cabo esta actividad de forma masiva en un futuro no muy lejano.

BALANCE DE ENERGÍA EN CULTIVOS ENERGÉTICOS

Un aspecto que necesita una consideración especial en los cultivos energéticos es el balance de energía. Cuando se realiza un cultivo de este tipo, además de la energía solar, indispensable para el desarrollo de los vegetales, aunque gratuita, se necesita una cierta cantidad de energía exterior que proviene de diversas fuentes, desde el trabajo muscular a la electricidad, pasando por el petróleo y sus derivados. En el análisis del balance energético de la producción agrícola hay que tener en cuenta estos dos tipos de fuentes de energía (solar por un lado y convencional por otro) de forma separada, como integrantes de las magnitudes energéticas de entrada del proceso productivo.

Cuando se analiza un cultivo energético, es necesario tener en cuenta que éste debe aportar más energía de la que recibe del agricultor, siendo, pues, una premisa básica del cultivo energético el hecho de que su balance energético sea positivo.

La estimación del consumo energético en el proceso de producción lleva a la asignación de un equivalente energético para cada uno de los siguientes componentes:

- El trabajo humano, considerando al agricultor como una máquina que consume biomasa del propio proceso. Obsérvese que la asignación de un valor energético a cada hora de la vida del agricultor en el medio rural, como máquina destinada para trabajar en el cultivo energético, puede ser aleatoria porque influyen muchos factores.
- El trabajo de animales de labor, que se utilizan sólo en ciertas épocas, pero hay que mantenerlos todo el año.
- Los abonos y productos químicos, en los que hay que considerar además de su energía interna, la energía consumida en su fabricación, transporte, y aplicación.
- Las semillas. Cuando se utilizan semillas cosechadas en la producción normal, el consumo energético debido a ellas sería el equivalente a su energía interna. En el caso de semillas híbridas o seleccionadas, habría que considerar la energía gastada en su producción.
- La maquinaria agrícola, en la que hay que valorar aperos de labranza, tractores, motores y otras máquinas, de los que no sólo hay que considerar su consumo de combustible, sino también los gastos energéticos de su fabricación, conservación y mantenimiento.
- El material de construcción, al que se le suelen asignar valores fijos preestablecidos.
- El material de instalación y funcionamiento del riego con la valoración energética de los embalses y canales implicados en el mismo.

SELECCIÓN DE CULTIVOS Y EFECTOS AMBIENTALES

Los cultivos susceptibles de ser utilizados como productores de energía deben

ser seleccionados de acuerdo a la premisa general de obtener la máxima cantidad posible de energía neta compatible con las condiciones climáticas y del suelo de cada zona.

El impacto ambiental de los cultivos energéticos requiere una especial atención. La práctica agrícola reduce considerablemente el número de especies vegetales, aunque en conjunto se aumenta la productividad; esta disminución del número de especies reduce la estabilidad de cualquier ecosistema y lo hace más vulnerable a las alteraciones del medio ambiente, pero es de esperar que éstas sean muy inferiores a las producidas por los cultivos alimentarios o industriales. Las razones que se pueden aducir en apoyo de esta tesis son:

- Los cultivos energéticos se implantarían en zonas marginales de escasa productividad natural, en las que los cultivos protegerían el suelo contra la erosión y aumentarían su contenido en materia orgánica.
- Por ser cultivos poco exigentes en cuanto a labores y tratamientos químicos, no serían tan contaminantes como los cultivos agrícolas tradicionales.
- Al no ser necesaria la monoespecificidad de los cultivos, se podría aumentar la variabilidad de las especies, con lo que aumentaría la estabilidad del ecosistema agroenergético y como consecuencia éste tendría una mayor aptitud para mantener una elevada productividad ante las posibles variaciones climáticas del año agrícola.
- La reutilización de los residuos del proceso de producción y transformación de la biomasa como fertilizante de las plantaciones, haría mejorar sensiblemente las propiedades del suelo al aumentar su contenido en materia orgánica.

No obstante, antes de abordar masivamente los cultivos energéticos en una zona, sería necesario realizar los estudios ecológicos para evaluar el impacto ambiental que produciría su establecimiento y tomar las medidas oportunas para que dicho impacto fuese lo menos perjudicial posible.

CULTIVOS TRADICIONALES

Los cultivos tradicionales son aquéllos que el ser humano ha venido utilizando desde hace mucho tiempo, no sólo para la producción de alimentos, indispensables para su subsistencia, sino también para la obtención de productos de interés industrial.

Tratándose de utilizar algunos de estos cultivos con fines energéticos, es necesario distinguir aquéllos que puedan destinarse exclusivamente a la producción de energía por haber decaído su interés en su ámbito tradicional, de los que puedan ser competitivos con la producción de alimentos. La viabilidad de estos últimos podría ser muy discutible, ya que esta competitividad tendería a ofrecer más dificultades que ventajas cara al futuro, salvo que se usen como fuente energética los excedentes de cosechas.

En un plano ideal, los cultivos energéticos se deberían de localizar sobre terrenos marginales; sin embargo, el concepto de marginalidad es relativo y, exceptuando las zonas desérticas donde ningún vegetal puede ser cultivado, los límites para el aprovechamiento de la tierra vienen marcados por imperativos económicos.

La **cebada** y el **trigo** son cultivos que, junto con la caña de azúcar, son los más populares bajo el punto de vista de la obtención de energía, ya que su fermentación a alcohol es conocida y practicada hace cientos de años.

La **caña de azúcar** (*Saccharum officinarum*) es la especie agroenergética ideal para los climas que permitan su cultivo, pudiéndose obtener cosechas de 40 a 65 Tm/ha de peso seco cada año. Se estima que su rendimiento energético oscila entre 3.700 y 13.000 litros de etanol por hectárea y año.

El **sorgo dulce** (*Sorghum bicolor*) es una planta parecida al maíz, pero no posee mazorca, sino semillas agrupadas y, al igual que la caña de azúcar, es capaz de rebrotar, permitiendo cortes sucesivos sin necesidad de ser sembrada cada temporada. Sus rendimientos en peso fresco pueden llegar a ser hasta de 112 Tm/ha·año.

El **maíz de tallo azucarado** (*Zea mays*) se encuentra también en esta línea, y de él se pretende el doble aprovechamiento del almidón de la semilla y del azúcar del tallo. Se han obtenido rendimientos de 2,4 Tm/ha·año de azúcar procedente del tallo.

La **remolacha** (*Beta vulgaris*), tanto azucarera como forrajera ha sido considerada por Nueva Zelanda como la materia prima con mayores posibilidades para la obtención de alcohol como combustible para automóviles. La remolacha azucarera puede tener rendimientos de hasta 56 Tm/ha·año de biomasa fresca y producir hasta 4.000 litros de etanol por hectárea y año.

La **mandioca** o yuca (*Manihot esculenta*) es otro de los cultivos tradicionales del que se conocen varios proyectos para su transformación en alcohol por fermentación

(en Brasil y Sudáfrica). Es un componente básico de la dieta de muchos países tropicales subdesarrollados y, por tanto, su uso como cultivo energético debe ser cuidadosamente estudiado. A partir de 1 Tm de mandioca se pueden obtener 180 litros de etanol.

Los **cítricos** en general, poseen en sus cáscaras una pequeña proporción de un aceite denominado *citrolina*, que tiene la misma potencia energética que el gas-oil (44 MJ/kg), al que puede reemplazar.

El **girasol** (*Heliantus annuus*) posee unas semillas que producen un aceite, actualmente utilizado como alimento, en la fabricación de jabones y pinturas, como lubricante, etc., y además la fibra residual se aprovecha para hacer papel.

Cabe destacar también dentro del grupo de los cultivos tradicionales las **plantaciones forestales**, con objeto de producir grandes cantidades de biomasa convertibles en energía, principalmente por métodos termoquímicos. Los rendimientos de estos cultivos pueden oscilar entre 11 y 27 Tm/ha-año de materia seca, con un poder energético superior a los 20 MJ/kg, pudiendo ascender mediante cuidados especiales hasta valores entre 36 y 45 Tm/ha-año.

Entre las plantaciones forestales que han sido consideradas más adecuadas para cultivos energéticos, las más importantes parecen ser las de eucalipto, álamo, sauce y acacia, destacando el primero de ellos por su resistencia a las plagas y su facilidad de adaptación a condiciones climáticas diversas. Además, la abundancia de sus especies (se conocen más de 600) es tal, que con toda seguridad debe ser posible seleccionar aquéllas que se acomoden mejor a los terrenos marginales.

CULTIVOS POCO FRECUENTES

Desde que se ha empezado a considerar la posibilidad de utilizar cultivos con fines energéticos, se han iniciado diversos proyectos de prospección de especies silvestres. Algunas de ellas ya se cultivaban en sitios aislados, pero nunca con la intención de obtener energía.

La principal ventaja de estos cultivos sería su posible adaptación a zonas marginales o áreas no aprovechables para fines alimentarios o industriales.

Los **cardos** *Onopordum nervosum* (toba), *O. illyricum* y *O. acanthum* han sido sometidos a ensayos en España. Todos ellos presentan un gran desarrollo, pudiendo-

se encontrar ejemplares de hasta 4 m y siendo normal un desarrollo entre 2,5 y 3 m.

La **pataca** o tupinambo (*Heliantus tuberosus*) es una planta que posee tallos de dos clases: unos subterráneos o tubérculos, formados por acumulación de sustancias de reserva (alrededor del 20% de materia seca, casi en su totalidad hidratos de carbono), y unos tallos aéreos, que pueden alcanzar alturas de hasta 3 m. Tolera fuertes calores y sequías intensas y se adapta bien a todo tipo de suelos. Los tubérculos rebrotan de los rastrojos de la cosecha, por lo que no es necesaria la siembra anual.

Las **chumberas** o tuneras (*Opuntia ficus-índica*) crecen espontáneamente en terrenos marginales de las regiones meridionales y levantinas españolas, así como en Canarias. En zonas áridas como el sur de EE.UU., Australia, Africa e India son objeto de cultivo como plantas forrajeras.

Los **ágaves**, pitas o piteras (*Agave americana*) tienen en su haber un cierto historial por su aprovechamiento en zonas marginales. Distintas especies de ágaves se han aprovechado como fuente de fibras para la industria, ensayándose asimismo su posible utilización como fuente de celulosa y azúcares fermentables a alcohol.

La **caña de Provenza** o caña común gigante (*Arundo donax*) es una planta espontánea en la mayoría de las regiones, crece vegetativamente por rizoma y se extiende superficialmente, emitiendo tallos aéreos que pueden alcanzar de 3 a 5 m de altura con 3 cm de diámetro. Abunda en terrenos inundados, siendo éste un factor limitante fundamental para su cultivo en zonas marginales.

El **pasto elefante** (*Pennisetum purpureum*) es otro cultivo reciente, y se puede considerar una hierba invasora, dada la facilidad y abundancia de su crecimiento (hasta 313 Tm/ha·año). Puede ser usado como materia prima para la fermentación anaerobia a biogás, desconociéndose aún los rendimientos de la aplicación de dicho proceso.

Los **helechos** (*Pteridium aquilinum*) son especies a las que se han dedicado extensos estudios como cultivo energético (principalmente en Gran Bretaña), dada su abundancia natural y su facilidad de crecimiento. Los resultados obtenidos como productores de biomasa son muy variables según los investigadores, dada la cantidad de variables determinantes de su crecimiento; se ha llegado a obtener unos rendimientos de 5 a 14 Tm/ha·año de materia seca.

CULTIVOS ACUÁTICOS

Los océanos cubren aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra; desde el punto de vista de la captación de la energía solar poseen entre 5 y 10 veces más superficie potencialmente productiva que la tierra. Hasta el momento no se ha abordado con suficiente extensión y profundidad la creación de cultivos en explotaciones marinas, sin embargo, el incremento de la población y la demanda creciente de alimentos y productos energéticos, han vuelto en gran medida la atención científica hacia esta posible forma de producción de biomasa.

El cultivo de plantas marinas por excelencia, es el de las **algas**. *Macrocystis pyrifera* es especialmente interesante por su gran productividad ligada a una alta eficacia fotosintética. Puede alcanzar esta alga marina hasta 46 m de longitud, pudiéndose obtener en una explotación en *granjas marinas* un rendimiento aproximado de 76 Tm/ha·año de materia seca, que posee un potencial energético de unos 10,8 MJ/kg.

También entre las algas hay que destacar el cultivo de las **algas unicelulares**, principalmente de los géneros *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Spirulina*. La productividad de estos vegetales oscila alrededor de las 100 Tm/ha·año de materia seca, pudiendo alcanzar el género *Chlorella* valores de hasta 125 Tm.

La planta acuática que quizás haya recibido más atención en los últimos tiempos es el **jacinto de agua** (*Eichornia crassipes*), especie de agua dulce de origen tropical, cuyo crecimiento es óptimo entre 26 y 28 °C y nulo si la temperatura del agua baja de 10 °C. En condiciones térmicas y nutritivas adecuadas, su crecimiento y consiguiente reproducción vegetativa son extraordinariamente rápidos: una mata aumenta diariamente su peso fresco en un 10%, duplicándose el número de individuos cada 12 ó 15 días. Su productividad media se estima superior a las 30 Tm/ha·año en peso seco (del 6 al 8% del peso fresco), habiéndose obtenido en algunos casos rendimientos de hasta 150 Tm/ha·año de materia seca.

Además de las especies citadas, existen otras muchas plantas acuáticas, tanto de agua salada como de agua dulce, que podrían ser utilizadas, bien para la obtención de energía o, de forma alternativa, para la alimentación (producción de proteínas). El estudio de cada especie en su hábitat natural puede ofrecer grandes posibilidades en un futuro de cara al aprovechamiento de muchas plantas acuáticas para la obtención

de biomasa.

CULTIVO DE PLANTAS PRODUCTORAS DE COMBUSTIBLES LÍQUIDOS

La mayor parte de los vegetales almacena su energía básicamente en forma de hidratos de carbono (azúcares, almidón, celulosa). Existen otros, en cambio, que, presentando una gran fracción de residuo leñoso, producen sustancias que, con un tratamiento sencillo, pueden ser usadas como combustibles, por sus propiedades parecidas a los derivados del petróleo, en los motores de combustión interna o diesel. Son las plantas productoras de combustibles líquidos.

La **palma africana** (*Elaeis guineensis*) presenta una gran posibilidad potencial si se consideran las enormes áreas lluviosas de África y Sudamérica, cuyas condiciones son idóneas para su producción. La planta tiene pocas enfermedades y resiste suelos muy ácidos; se inicia la producción a los cuatro años y tiene una vida productiva de treinta años, dando unas 5 Tm de aceite por hectárea y año.

La **palma babasu** (*Orbignya martiana*) crece sólo en Brasil. Desde hace tiempo se extrae el aceite de las nueces, pero mediante destilación seca (pirólisis) de los residuos de este proceso, se podría obtener también gas de síntesis, metanol y coque. Se han registrado rendimientos de hasta 30 Tm/ha·año de nueces, lo que representa 4,5 Tm de coque, 6,5 Tm de gas de síntesis y 4,5 Tm de metanol. Ello equivale, en valor energético a unas 9 tep.

La **palma de coco** (*Cocos nucifera*) produce los cocos, que podrían ser una importante fuente energética en muchos países tropicales, dado su alto rendimiento de materia seca, del orden de 20 Tm/ha·año. El aprovechamiento integral de esta especie lleva, por un lado, a la obtención de aceite de coco, copra y fibras, y por otro, a la conversión de los residuos en gas de síntesis, por medio de la tecnología de la gasificación.

La **tabaiba** o planta de la tusa (*Euphorbia lathyris*) es una planta de más de un metro de altura, que se encuentra dispersa en muy diversas partes del mundo, siendo propia de los climas mediterráneos templados. La planta contiene cerca de un 6% de su peso seco de hidrocarburos (con un poder energético de 42 MJ/kg), que se pueden

separar por molienda de la materia vegetal y posterior extracción con disolventes orgánicos, y más de un 10% de azúcares fermentables a alcohol. El contenido en aceite de sus semillas oscila alrededor del 50%, y al no ser aprovechable para uso alimentario por su toxicidad, puede ser muy indicado para la obtención de energía o productos químicos.

La **jojoba** o azufaifo (*Simmondsia chinensis*) es un arbusto silvestre de tamaño medio que crece en zonas desérticas de los EE.UU. y México. En pleno período productivo se han obtenido en California hasta 200 kg de aceite por hectárea y año, pero como la jojoba puede crecer en tierras donde no crece otra cosa, con sólo una productividad del 10% de la indicada ya sería considerable su rentabilidad.

El **alga elástica** (*Botryococcus braurii*) es una alga unicelular que tiene un período verde de desarrollo y una fase roja de inactividad, en la cual, el 75% de la planta seca puede estar constituido por un aceite hidrocarbonado utilizable para producir combustible líquido. Crece en agua dulce y se multiplica a una velocidad cinco veces superior a cualquier otra planta.

El **membrillo negro** (*Croton sonderianus*) crece extensamente en el norte del Brasil y por su poder invasor se considera como mala hierba, ya que incluso se adapta bien a las estaciones frías. Una extracción total de la planta mediante destilación con vapor proporciona un 1% de aceite esencial, semejante al gas-oil. De hecho, los motores diesel funcionan bien con este aceite sin ninguna modificación. La resina restante de la destilación tiene valor potencial como combustible después de su pirólisis.

El **tártago** o ricino (*Ricinus communis*) es particularmente importante en las zonas meridionales de nuestra Península y en Canarias, donde crece espontáneamente en cualquier sitio, alcanzando una altura media de hasta 2 m, aunque existen ejemplares que sobrepasan los 4 m de altura. Admite aguas salobres y no requiere ningún cuidado especial. El fruto globuloso posee tres semillas, a partir de las que se extrae un aceite por prensado mecánico y posterior extracción de este jugo con disolventes. Se obtiene alrededor del 5% de aceite respecto al peso seco de las semillas.

La **copaiba** es el nombre para un grupo de especies de la *Copaífera*. En Brasil, la *C. langsdorfii* ha proporcionado un aceite, usado como combustible para lámparas.

La *C. multijuga* es un árbol ampliamente difundido en las zonas tropicales de Sudamérica y África, que se ha estimado que rinde una 7 Tm/ha·año de aceite.

El **árbol del caucho** (*Hevea brasiliensis*) ha sido muy estudiado y sometido a mejoras genéticas para aumentar su rendimiento en caucho, siendo muy elevada la cantidad de datos disponibles a este respecto. El caucho es el resultado de la coagulación al aire del látex de esta planta, que se extrae del árbol por simple sangrado, practicando un orificio en el tronco, y su contenido en hidrocarburos es de un 10%.

El **guayule** (*Parthenium argentatum*) es un arbusto que alcanza de 60 a 70 cm de altura que crece de forma natural en las zonas desérticas norteamericanas. El rendimiento en caucho de esta especie es, después de las últimas mejoras genéticas conseguidas, superior al 20% del peso seco de la planta, con lo que su cultivo intensivo puede proporcionar hasta 800 kg/ha·año de caucho.

El **toruyo** o calabacilla amarga (*Cucurbita foetidissima*) es una planta perenne que se reproduce asexualmente, creciendo como una mala hierba en regiones de baja pluviometría. Es una especie silvestre que no ha sufrido ningún tratamiento agronómico ni ha sido sometida a un proceso de mejora genética, lo que podría elevar notablemente los rendimientos obtenidos hasta ahora (unas 3 Tm/ha·año de semillas). Una tonelada de semillas produciría aproximadamente 1 barril de crudo, 300 kg de aceite vegetal y 150 kg de proteína.

Finalmente, es importante tener en cuenta, que las plantas de las que actualmente se extraen estos combustibles líquidos, son muchas de ellas especies espontáneas, que no han sido cultivadas y, por lo tanto, no han sido sometidas a ningún tipo de selección. Cabe pensar, pues, en un incremento notable de rendimiento si se someten las especies a mejoras genéticas y se estudian las necesidades nutritivas y de cultivo. En el futuro, un adecuado programa de mejora indudablemente podrá elevar de forma sustancial los valores actuales de producción de combustibles líquidos.

VALORACIÓN DE LOS CULTIVOS ENERGÉTICOS

La integración de este tipo de cultivos en el sistema económico de un país depende, como ya se ha citado, de diversos factores, principalmente agrícolas. No

obstante, a nivel social cabría citar diversos aspectos que podrían resultar positivos por la implantación de esta nueva faceta de la agricultura, resumidos en los siguientes puntos:

- Pueden liberar, en parte, a un país de su dependencia energética exterior, lo que produciría una inclinación favorable de su balanza de pagos.
 - No necesita de nuevas tecnologías; basta aplicar racionalmente los conocimientos científicos y técnicos actuales con criterios adecuados a las nuevas circunstancias.
 - Permite utilizar las tierras abandonadas, con su consiguiente revalorización. Podría evitar la emigración hacia las grandes urbes, fomentando un desarrollo más equilibrado de la ordenación del territorio.
 - Facilita la mejora de la calidad del medio ambiente, debido al uso de combustibles más limpios.
 - Los cultivos y la industria correspondiente (que no necesita estar acumulada en grandes zonas) requieren mano de obra rural, lo que permitiría generar empleo.
- Por otro lado, existen ciertos inconvenientes de principio que es necesario tener

en cuenta, destacando en este aspecto los siguientes puntos:

- La principal condición que debe cumplir un país para cultivar biomasa con fines energéticos es la de disponer de superficie suficiente de terrenos marginales para dedicarla a ello.
- Aunque se utilicen especies de pocas necesidades hídricas, podría ser frecuente que el agua fuese un factor limitante en la implantación de un cultivo energético.
- La Agroenergética, como faceta moderna e innovadora de la agricultura, requeriría el apoyo económico y financiero de las instituciones públicas, ya que el sector privado probablemente sería muy reacio a arriesgar su capital en un aspecto desconocido para él.