

# Eficiencia energética de los sistemas agrícolas ecológicos y convencionales

La agricultura ecológica reduce las aportaciones energéticas externas, siendo más eficiente que la convencional

La agricultura ecológica puede ofrecer soluciones integrales para lograr un sistema alimentario sustentable.

Específicamente dentro del área energética, este tipo de agricultura presenta oportunidades viables. Por un lado, utiliza técnicas de cultivo que permiten reducir el uso de insumos agrícolas de alto contenido energético, y por otro, fomenta el consumo de productos locales y regionales.

**M.J. Llosa, M. Laurim y J.L. Porcuna.**

Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE).

La agricultura implica flujos de materia y energía que tienen su base en la actividad fotosintética de las plantas verdes, las cuales son, entre otros organismos vivos que habitan en nuestro planeta, las que utilizan con mayor eficiencia la energía solar disponible, convirtiéndola en compuestos bioquímicos estables y siendo el eslabón para la producción de sustancias orgánicas que complementan los ciclos biológicos y geológicos sobre la tierra.

En la agricultura preindustrial los aportes energéticos externos se limitaban a la fuerza muscular, humana o animal (energía endosomática, generada a través de la transformación metabólica de la energía alimenticia en energía muscular en el cuerpo humano). Estos aportes eran biológicos. También las herramientas –arados, guadañas, hoces, trillos, etc.– suponían una inversión de trabajo humano con otros aportes energéticos biológicos, puesto que la producción del hierro y la fabricación de la herramienta consumía sobre todo carbón vegetal. Sólo una pequeña parte de los insumos energéticos era no biológica: se incluye el carbón mineral, la energía eólica y las de las corrientes que movían molinos de viento y agua para elevar el agua y regar o para moler el

grano u otros menesteres. Las energías renovables tenían una participación prácticamente exclusiva en las labores agrícolas tradicionales (Riechmann, 2003).

En los años cincuenta y sesenta, la agricultura sufrió una transformación drástica de la que se habla comúnmente como de la Revolución Verde, la cual condujo a la industrialización de la agricultura. Parte del progreso provino de nuevas plantas alimenticias híbridas, que resultaron en cosechas de cultivos más productivos (Pfeiffer, 2004). En la agricultura industrial los aportes energéticos pasan a ser en su mayoría fósiles. La mecanización de casi todas las labores implica la sustitución por máquinas del trabajo muscular humano y de las bestias de tiro (caballos, bueyes, etc.). Los aportes de estiércol y otros fertilizantes orgánicos son sustituidos por insumos de abonos que se fabrican consumiendo carbón o petróleo. La escarda manual queda reemplazada por los herbicidas, que, como ocurre con las sustancias fitosanitarias, son en su casi totalidad producto de la industria química. La moderna producción de acero y otros metales usados en la fabricación de tractores, maquinaria y otros aperos agrícolas no consume carbón vegetal, sino mineral. Y la casi totalidad de los trabajos de construcción de canales y depósitos de agua y de silos, la elevación (cuando hace falta) del agua de riego y el transporte han pasado a depender de la tracción mecánica movida por gasolina o



gasóleo; es decir, la energía adicional necesaria en la agricultura industrializada fue suministrada por combustibles fósiles (Riechmann, 2003).

La Revolución Verde aumentó el flujo de energía a la agricultura en un promedio de cincuenta veces el insumo energético a la agricultura tradicional (Giampietro y Pimentel, 1994).

## La energía asociada a los factores de producción

La energía de uso directo procede principalmente de los productos derivados del petróleo, siendo el combustible más utilizado el gasóleo en explotaciones agrarias. Otros combustibles empleados son el metanol, etanol, gases derivados del petróleo y los que proceden del aceite de plantas oleaginosas (colza y girasol). Se considera también energía de uso directo la procedente de las centrales eléctricas, que a su vez pueden ser de origen térmico, hidráulico o nuclear.

La energía de uso indirecto incluye la requerida para la obtención de todos los factores que intervienen en un proceso productivo: producción de las materias primas y fabricación de los equipos; elaboración, preparación, envasado y transporte de fertilizantes, así como de fitosanitarios; energía consumida en la producción, selección, limpieza, tratamientos, almacenamiento, ensacado, transporte y, en su caso, pildorado de semillas; energía consumida en el riego (Herranz, 2006).

Sin contar el consumo indirecto de energía, las estadísticas de la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) indican que la agricultura sólo ocupa un 2% del total de la energía directa que se utiliza en los países de la OECD. Sin embargo, los limitados recursos de energía fósil y la relevancia climática de su uso exigen un consumo eficiente de la energía, incluso en la agricultura (FAO).

Los insumos de un sistema agrícola, enunciados a continuación, se pueden convertir en valores energéticos:

- La energía solar no se contabiliza como entrada, ya que es renovable e inagotable a escala humana, y no se puede intervenir directamente.

- La energía humana considerada como la energía consumida en los bienes y servicios que necesita el agricultor para realizar los trabajos agrarios. Se puede tomar como media 100 kcal/hora.

- Fertilizantes: el estiércol o compost no se considera un insumo, ya que es un subproducto con un valor energético residual producto de la degradación de los materiales de partida; pero debido a la importancia que tiene en el sistema ecológico, se debe tener en cuenta como una aportación que, al igual que las otras orgánicas no energéticas, sirve para disminuir el cómputo final de kilocalorías no renovables.

- El coste energético de los fertilizantes químicos es el resultado del proceso de producción y distribución de los mismos; es decir, no sólo el valor energético del producto (entalpía) sino también las materias primas consumidas en el proceso de extracción, elaboración y distribución, así como los envases y la cadena industrial que supone.

- La maquinaria ha sido valorada por Leach para tractores de 50, 65 y 90 CV, considerando el coste de su construcción, amortización, reparaciones, combustible y aceites, asignando un coste horario.

- La electricidad se utiliza fundamentalmente en la extracción del agua de riego del subsuelo. En los riegos de pie (aquéllos im-



La mayor eficiencia energética del olivar ecológico se debe a una menor intensidad en la realización de labores en el suelo y en la utilización de productos químicos de síntesis industrial.

pulsados sólo por gravedad), sólo se puede valorar el coste energético del mantenimiento de las infraestructuras de acequias y canales, ya que están amortizadas.

- En los fitosanitarios (se incluyen: insecticidas, acaricidas, fungicidas, herbicidas y otros productos utilizados en relación a la sanidad de la planta y del medio donde crece), se distinguen entre los aceites minerales, productos relativamente simples que se obtienen en la destilación de los crudos de petróleo, y los demás biocidas de síntesis química, en los cuales se incluye el gasto energético de su producción industrial más su valor energético.

## La eficiencia energética como indicador

Cada kilogramo de alimento representa un gasto de energía para llegar a su obtención y, a su vez, aporta fuentes de abastecimiento que proporcionan energía para dar continuidad a la vida sobre la Tierra. Se puede expresar el rendimiento de la transformación de la energía implicada en el sistema agrario relacionando la producción bruta del sistema, expresada en una unidad común como pueden ser las kilocalorías, con el conjunto de entradas o insumos energéticos necesarios al sistema para conseguir esta producción bruta (**ecuación 1**).

### ECUACIÓN 1

$$\text{Rendimiento energético} = \frac{\text{Producción bruta}}{\text{Insumos energéticos necesarios}}$$

ENERGÍA



Así es que se puede definir eficiencia energética o razón energética como el balance entre la energía invertida y la energía obtenida en esa inversión. Todos los procesos en la naturaleza se rigen por flujos energéticos y por este motivo podemos decir que éste es un indicador de suma importancia a tener en cuenta ante cualquier análisis que involucre una visión de sistemas.

Desde el punto de vista de la ecología, esta relación mide la eficacia en la conversión de una forma de energía en otra para un ecosistema determinado, supone la contabilidad de todos los flujos de entrada y salida en términos energéticos.

La producción bruta, a su vez, se puede separar en producción utilizada por el hombre, más producción inutilizada, o fracción que quedaría como residuo y que puede retornar al agroecosistema; por otra parte, los insumos energéticos necesarios son la suma de los insumos renovables, entendiendo por tales aquéllos que se reponen de forma natural en un tiempo inferior al ritmo de extracción o de uso, más los insumos no renovables (ecuación 2).

**ECUACIÓN 2**

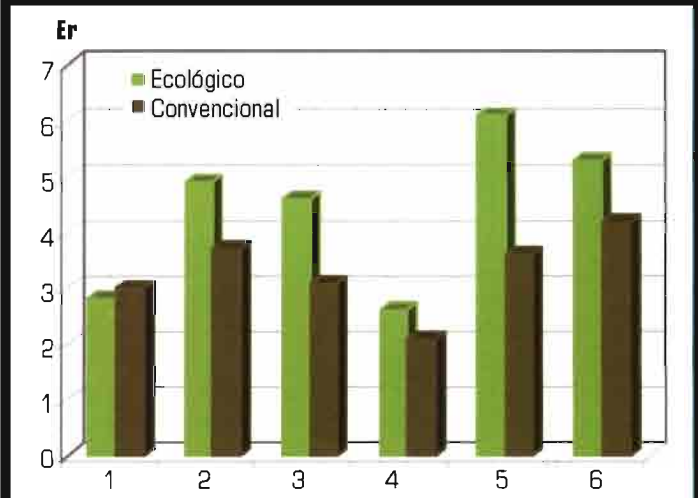
$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción utilizada} + \text{Producción no utilizada}}{\text{Insumos renovables} + \text{Insumos no renovables}}$$

Para un nivel dado de producción utilizada y una relación constante entre producción utilizada y no utilizada, un sistema de producción será más eficaz que otro si utiliza menos insumos energéticos no renovables, es decir, utiliza más insumos gratuitos.

En la agricultura tradicional esta relación ha estado siempre por encima de la unidad, pues había una entrada de energía, la solar, que nunca se contabiliza en el balance, ya que es gratuita y no ha sufrido ninguna transformación previa por la acción del

**FIGURA 1.**

Eficiencia energética en el olivar



FUENTES: 1 de Guzmán *et al.* (2002a); 2 de Guzmán *et al.* (2002b); 3 y 4 de Guzmán *et al.* (2002c); 5 de Guzmán y Alonso (2004); y 6 de Alonso (2003).

hombre antes de usarla en la actividad agraria (Campos y Naredo, 1980).

Actualmente, esta relación es, a veces, inferior a la unidad, pues los mecanismos naturales de funcionamiento de los ecosistemas (reciclaje, diversidad, etc.) han sido sustituidos por la introducción continua de energía procedente de combustibles fósiles (Guzmán y González, 2005).

**Situación actual y planteamiento**

Con el desarrollo de la mecanización y la química agraria, se ha incrementado exponencialmente el uso de energía. La agricultura "moderna" industrializada emplea, en casi todos los casos, mayor cantidad de energía que la que es capaz de producir y ese es un elemento que define de manera determinante la insostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Según Pimentel (1989), los sistemas alimentarios modernos enfrentan en la actualidad dos grandes problemas desde el punto de vista energético: primero, un aumento en la dependencia de combustibles fósiles y, segundo, la disminución de la eficiencia energética de la producción de cultivos. Por ejemplo, en Estados Unidos, la mayor economía del mundo, se usan como promedio

**CUADRO I. COSTES ENERGÉTICOS MEDIOS DE LAS PARCELAS DE CÍTRICOS (KCAL/HA Y AÑO).**

|                        | Media ecológico (kcal/ha y año) | Media convencional (kcal/ha y año) |
|------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Mano de obra           | 35.543                          | 33.765                             |
| Fertilizantes          | 989.201                         | 8.220.151                          |
| Fitosanitarios         | 673.737                         | 3.701.904                          |
| Riego                  | 6.304.036                       | 5.178.281                          |
| Maquinaria             | 318.261                         | 201.222                            |
| Total insumos          | 8.320.778                       | 17.335.323                         |
| Total extracciones     | 13.791.750                      | 14.136.314                         |
| Índice energético (Er) | 2,28                            | 0,91                               |

Fuente: Roselló-Oltra (2002).

Nota: el índice energético es adimensional.



**GRACIAS**



28 kcal de insumo energético para producir 1 kcal en forma de producto y por cada kg de proteína animal producida, los animales consumen 6 kg de proteína vegetal (Pimentel, 1997).

Cabe destacar que el 50% de la energía consumida en la agricultura en España se debe al uso de fertilizantes y el 35% a la combustión de diesel en las labores mecanizadas (Fernández, 1999). Así, la progresiva sustitución de trabajo humano y animal, es decir, de energía renovable, por energía proveniente de combustibles fósiles está reduciendo considerablemente la eficiencia energética de la producción agraria en general (López y Naredo, 1996; Alonso, 2003).

La agricultura ecológica puede ofrecer soluciones integrales para lograr un sistema alimentario sustentable. Específicamente dentro del área energética, este tipo de agricultura presenta oportunidades viables. Por un lado, utiliza técnicas de cultivo que permiten reducir el uso de insumos agrícolas de alto contenido energético, y por otro, fomenta el consumo de productos locales y regionales (Masera y Astier, 1996).

La diferencia fundamental entre la agricultura convencional y la agricultura ecológica, según Kolmans y Vázquez (1996), está en que la agricultura convencional recurre a fuentes de energía externa para el mantenimiento de los equilibrios internos del sistema; mientras que en la agricultura ecológica dicho equilibrio se logra fomentando los ciclos vitales de la naturaleza. El rasgo fundamental de la agricultura convencional de hoy es su dependencia de un aporte energético distinto de la energía solar y no renovable: los combustibles fósiles (Rodríguez, 1994). Es por ello por lo que el grado de artificialización de un agroecosistema está relacionado directamente con la alteración de estos ciclos y la introducción de insumos externos.

## Estudios de energética en distintos cultivos

### Cítricos

La tendencia observada es que en las parcelas ecológicas se reducen a la mitad los insumos energéticos totales, repercutiendo directamente en el índice energético (**cuadro I**).

### Olivar

Según los investigadores Guzmán y Alonso (2004), existen diversos indicadores que pueden servir para la evaluación de la sustentabilidad del olivar ecológico frente al convencional, tales como la productividad física (rendimientos), indicadores económicos, generación de empleo, productividad energética, estabilidad, resiliencia y equidad, entre otros.

A través de diversos estudios realizados sobre el olivar, se puede percibir que la progresiva sustitución de energía renovable por energía proveniente de combustibles fósiles está reduciendo considerablemente la eficiencia energética de la producción de aceite de oliva (López y Naredo, 1996; Alonso, 2003).

En la **figura 1** se representa la eficiencia energética comparada del olivar ecológico y el convencional, según diversos estudios consultados.

En todos los casos excepto en el primero, este indicador presenta mayores valores en el manejo ecológico, como consecuencia de una menor intensidad en la realización de labores en el suelo y en la utilización de productos químicos de síntesis industrial.

El laboreo excesivo y, sobre todo, la aplicación de grandes cantidades de materia orgánica (estiércol y alperujo compostados) sin la maquinaria adecuada (remolque esparcidor), tienien-

**CUADRO II. EFICIENCIAS ENERGÉTICAS EN DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUCCIÓN.**

|                                  | Sistema manual | Tracción animal | Convencional mecanizado | Agricultura ecológica | Rotación soja/trigo /alfalfa |
|----------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|------------------------------|
| Insumo total                     | 228            | 665             | 2.285                   |                       |                              |
| Salida total                     | 6.962          | 3.352           | 7.636                   |                       |                              |
| Razón energética (salida/insumo) | 30,50          | 5               | 3,30                    | 6,70                  | 8,30                         |

Fuente: Miguel Ángel Altieri, "El 'estado del arte' de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina", en Alfredo Cadenas Marín (ed.), *Agricultura y desarrollo sostenible*, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, 1995, p. 172.

do que recurrir a remolques normales que alargan sobremanera el tiempo de uso del tractor, pueden reducir notablemente la eficiencia energética del olivar ecológico, como ocurre en el caso 1.

### Maíz

Cuando los patrones de producción son analizados mediante estos coeficientes, queda de manifiesto que los sistemas tradicionales son extremadamente más eficientes que los agroecosistemas modernos en cuanto al uso de energía. Un sistema agrícola comercial suele mostrar razones de egreso/ingreso calórico de 1-3, mientras que los sistemas agrícolas tradicionales exhiben razones de 3-15. En el **cuadro II** se muestra la eficiencia energética de varios sistemas de producción de maíz (en 103 kcal/ha y año) (Altieri, 1995).

## Conclusiones y recomendaciones

La agricultura ecológica se muestra mucho más eficiente en cuanto al uso de recursos energéticos que la agricultura convencional. Se debe, sobre todo, a que la agricultura convencional recurre a fuentes de energía externa proporcionada por combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón), mientras que la agricultura ecológica fomenta el uso de residuos orgánicos como fertilizantes, reduce el aporte de abonos químicos y fitosanitarios de síntesis y mantiene la fertilidad natural del suelo mediante tratamientos orgánicos y aumentando la diversidad agrícola con rotaciones, abonos verdes, cultivo de leguminosas, etc., pudiendo así disminuir las aportaciones energéticas externas.

La relación entre la energía disponible en calorías alimenticias y la energía aplicada para obtenerla (combustible, fertilizantes, semillas, etc.) es una medida de la productividad energética. Los estudios mencionados muestran que, al medir la productividad en forma de coeficientes energéticos, los sistemas tradicionales son extremadamente más eficientes que los agroecosistemas modernos en cuanto al uso de la energía, siendo la razón energética en el caso de producción de maíz el doble en agricultura ecológica respecto a la agricultura convencional. En los agroecosistemas de cereales la agricultura ecológica gasta la mitad de energía y cuesta también la mitad de la convencional, debido principalmente al no uso de los agroquímicos.

Los rendimientos productivos de los sistemas industrializados dependen de una elevada aportación de insumos y están sujetos a los altibajos del petróleo y a los precios de las energías no renovables. Por tanto, pueden ser ineficaces en cuanto al uso de energía y no sostenibles a largo plazo, ya que son energías no renovables y pueden agotarse. ■