



## A4-89 La tasa de retorno energético desde un enfoque agroecológico y su aplicación a la evolución de la agricultura española, 1900-2010.

Gloria I. Guzmán, David Soto Fernández, Juan Infante Amate & Manuel González de Molina.

Laboratorio de Historia de los Agroecosistemas (Universidad Pablo de Olavide, Sevilla, España). [giguzcas@upo.es](mailto:giguzcas@upo.es)

### Resumen

Los análisis energéticos aplicados a la agricultura deben expresar algo más que el "coste energético" de la biomasa neta producida en beneficio de la sociedad. Deben, además, informar sobre los cambios estructurales y funcionales en los agroecosistemas que puedan afectar al mantenimiento de los servicios ambientales que éstos proporcionan. Con este fin, hemos desarrollado una propuesta metodológica que propone Tasas de Retorno Energético (TRE) con enfoque agroecológico, que complementan las TRE con enfoque económico existentes. Esta propuesta se ha aplicado a la agricultura española en tres momentos clave: la agricultura orgánica equilibrada (año 1900), el comienzo de la industrialización de la agricultura (1960) y la plena industrialización agraria (2008). Los resultados muestran la pérdida de eficiencia energética debido al proceso de industrialización y cuestionan que la intensificación haya supuesto beneficios ambientales a causa del abandono parcial de las tierras agrarias.

**Palabras clave:** servicios ecosistémicos, land sharing, land sparing, metabolismo social, cambios de uso del suelo.

**Abstract:** Energy analyses applied to agriculture should express something more than the "energy cost" of the net biomass produced for the benefit of society. They should also provide information about structural and functional changes in the agro-ecosystem which might affect the maintenance of the ecosystem services which the agro-ecosystem provides. With this aim, a methodological proposal has been developed to add agro-ecological Energy Return on Investment (EROIs) to the existing economic EROIs. This proposal has been applied to Spanish agriculture at three key moments: one of balanced organic agriculture (1900), at the beginning of agriculture industrialization (1960) and full agricultural industrialization (2008). The results show the energy efficiency loss caused by industrialization and believe that intensification has caused environmental benefits due to the partial abandonment of agricultural land.

**Keywords:** ecosystem services, land sharing, land sparing, social metabolism, land use change.

### Introducción

La Tasa de Retorno Energético (TRE, EROI en inglés) mide la eficiencia en el uso de la energía y aporta información útil para tomar decisiones relativas al funcionamiento energético de las actividades productivas (Pervanchon et al., 2002). Su origen es estrictamente económico. Se basa en los análisis costo-beneficio. Proporciona un indicador numérico que permite comparar con otros procesos energéticos similares, tanto en el espacio, como en el tiempo (Murphy et al., 2011).

Aplicada a la agricultura, la TRE mide el "coste energético" de la biomasa neta apropiada por la sociedad (Martínez Alier, 2011), ya sea en forma de alimentos, fibras o biocombustibles. Este indicador es muy importante en el contexto de la agricultura



industrializada que utiliza directa e indirectamente grandes cantidades de energía externa y que se enfrenta al reto de reducir sus costos de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Sin embargo, la eficiencia energética no se puede reducir a un único número o un único criterio para el análisis, especialmente cuando se aplica a la agricultura (Giampietro et al., 2010). Si se diseñan adecuadamente, las TRE pueden convertirse en una medición de la eficiencia metabólica. Es decir, del intercambio de energía entre un sistema agrario y el medio ambiente, e informar sobre si ese intercambio metabólico es sostenible o no en el tiempo. Esto nos obliga a reconocer que no sólo es necesario invertir energía en la producción de biomasa útil para la sociedad, sino que también hay que invertir energía en el mantenimiento de los agroecosistemas de modo que puedan continuar produciendo biomasa en las mejores condiciones posibles. Esto es, los agroecosistemas requieren una específica cantidad de energía para su reproducción y mantenimiento que sólo parcialmente puede ser sustituida por energía externa. Por ejemplo, sólo la biomasa puede alimentar las cadenas tróficas que sostienen la vida edáfica y la biodiversidad general de los agroecosistemas. Es, por tanto, necesario adoptar un enfoque agroecológico en la evaluación del funcionamiento energético de los agroecosistemas que contemple estos aspectos.

En los análisis energéticos agrarios con enfoque económico, a menudo sólo se tienen en cuenta las plantas cultivadas y, de éstas, la parte aérea, haciendo caso omiso de la biomasa radicular y, muy a menudo, de los residuos de cosecha. Un enfoque agroecológico debe considerar toda la biomasa producida (Producción Primaria Neta, PPN) dentro de los límites de los agroecosistemas. Estas peculiaridades del rendimiento energético de los agroecosistemas pueden ser capturadas por varias TREs si se elaboran con criterios agroecológicos. El objetivo de las TREs agroecológicas es determinar si un agroecosistema dado es capaz de mantener sus servicios ecosistémicos (sostenibilidad) o si se degrada, lo que requeriría cantidades crecientes de energía externa para parcialmente compensar la pérdida. Lo que proponemos en esta comunicación, es una manera diferente de abordar la cuestión de la eficiencia energética en los agroecosistemas que es "complementaria" a los métodos tradicionales y que tiene como objetivo aportar una perspectiva agroecológica para el análisis energético.

Para demostrar su utilidad, hemos aplicado esta propuesta a la agricultura española en tres momentos clave: en 1900, cuando existía una agricultura de base orgánica; en 1960, cuando se acelera el proceso de industrialización agraria; y en 2008, cuando este proceso está completamente consumado. Dado el breve espacio disponible para esta comunicación, se han elegido cuatro Tasas de Retorno Energético (una con enfoque económico y tres con enfoque agroecológico), de las siete elaboradas, para ilustrar la propuesta, que puede leerse completa en Guzmán y González de Molina (2015) aplicada a otro estudio de caso.

## **Metodología**

### Cálculo de la Productividad Primaria Neta

La biomasa cosechada se ha obtenido de fuentes históricas, tales como los "Anuarios Estadísticos de las Producciones Agrícolas". La PPN de los agroecosistemas no aparece en las estadísticas, que por lo general se centran en la parte cosechada de la PPN. Por tanto, ésta se ha estimado mediante: a) el uso de algoritmos que tienen en cuenta las variaciones en la vegetación y el suelo y las condiciones climáticas de los agroecosistemas para calcular la PPN de pastos y bosques; b) el uso de factores de conversión que permiten la estimación de la PPN a partir de la biomasa cosechada de los cultivos; y c) la extrapolación



de mediciones directas basadas en diferentes condiciones agroclimáticas y de gestión para calcular la biomasa de la malezas asociadas a los cultivos. Más información en Guzmán et al. (2014).

Una vez calculada la PPN de los agroecosistemas, ésta se ha dividido en las siguientes partes:

*Biomasa Vegetal Socializada (BVS)*: es la biomasa vegetal (madera, leña, grano, aceituna, etc.) apropiada directamente por la sociedad humana, antes de su procesamiento industrial.

*Biomasa Reciclada (BRc)*: es la biomasa que no es apropiada directamente por la sociedad (BVS), ni está acumulada en las estructuras de las plantas vivas, sino que se reincorpora al agroecosistema. La mayor parte de la BRc se recicla a través de la cría de ganado o a través de otros organismos heterótrofos salvajes. También se recicla biomasa en forma de semillas y órganos de reproducción vegetal (tubérculos, plántones...). Desde la perspectiva de la sociedad, la BRc se puede dividir en dos partes:

*Biomasa reutilizada (BRu)*: ésta es la parte devuelta intencionadamente al agroecosistema por los seres humanos. Esto implica: 1. El trabajo humano es necesario para que pueda ser devuelta. 2. La reincorporación al agroecosistema de esta biomasa vegetal tiene un propósito que es reconocido y apreciado por la sociedad. Por ejemplo, la obtención de un producto (carne, leche ...) o de un servicio: (trabajo animal, fertilizante orgánico: estiércol, abonos verdes, el control de malezas, la regeneración de pastos, etc.). El producto de la ganadería, que está disponible para la sociedad como resultado de esta reutilización (peso vivo de carne a la salida de la explotación, leche, lana...) se llama Biomasa Animal Socializada (BAS). Para conocer la cabaña ganadera y su consumo de biomasa (alimentación, camas) y las producciones ganaderas hemos empleado también fuentes estadísticas de cada época (Censos ganaderos, entre otras).

*Biomasa no-cosechada (BnC)*: biomasa que se devuelve al agroecosistema por abandono, sin objetivo específico, ni inversión de trabajo humano. Es el caso de los residuos de cosecha que no reciben ningún tratamiento específico, la porción de los pastos no consumida por el ganado, los restos de árboles y la mayor parte de las raíces que no son cosechados y que son reciclados por organismos heterótrofos salvajes

*Biomasa acumulada (BA)*: es la parte de la biomasa que se acumula anualmente en la estructura aérea (tronco y corona) y en las raíces en las especies perennes,

#### Cálculo del Input Externo (IE)

El IE incluye trabajo humano y todos los insumos (fertilizantes, plaguicidas, piensos...) que provienen de fuera del agroecosistema (véase Guzmán y González de Molina (2015).

#### Cálculo de las Tasas de Retorno Energético

Para ilustrar la propuesta vamos a considerar una TRE con enfoque económico:

$$\text{TRE FINAL} = \text{Biomasa Socializada} / (\text{BRu} + \text{IE})$$

donde la Biomasa Socializada = BVS + BAS

Este indicador expresa el retorno a la sociedad de la inversión energética realizada por ésta. Este retorno no está estrictamente relacionado con la capacidad productiva de los agroecosistemas. Por ejemplo, dos agroecosistemas con la misma productividad total (PPN) o parcial (BVS) e igual inversión en energía externa, pueden dar lugar a una diferente TRE



Final, dependiendo de la cantidad de biomasa utilizada como alimento para el ganado. En este sentido, la dieta de la sociedad tiene un fuerte impacto en este TRE, como también la necesidad de tracción animal o estiércol, debido a la baja eficiencia de la ganadería como convertidor de energía.

Y 3 TRE con enfoque agroecológico:

$$\text{TRE PPN} = \text{PPN} / \text{Input Total Consumido (ITC)}$$

$$\text{siendo ITC} = \text{BRc} + \text{IE}$$

Esta TRE relaciona la capacidad productiva real del agroecosistema, con la energía total recibida. Hablamos de "productividad real", ya que considera la totalidad de la biomasa vegetal producida, no sólo la que es socializada, y porque no se ve afectada por la conversión animal. Los procesos de degradación que afectan a los recursos naturales, como la salinización del suelo o de la erosión, la erosión genética, etc., deben ser compensados por la incorporación de cantidades crecientes de energía para paliar la pérdida de la capacidad productiva de los agroecosistemas. La caída de los valores de la TRE PPN en un agroecosistema a través del tiempo indican la degradación de la capacidad productiva.

$$\text{TRE Final Agroecológico} = \text{BS} / \text{ITC}$$

Desde el punto de vista agroecológico, la BS es el resultado no sólo de la energía invertida expresamente por la sociedad en el funcionamiento de los agroecosistemas, sino también de todo lo que se recicla sin intervención humana. Esta TRE da una idea más exacta de la inversión en energía requerida para obtenerla. Desde un punto de vista agroecológico, la relación entre este indicador y la TRE Final es de gran interés.

$$\frac{\text{TRE Final Agroecológico}}{\text{TRE FINAL}} =$$

$$\frac{\text{BRu} + \text{IE}}{\text{BRu} + \text{IE} + \text{BnC}}$$

$$\text{TRE FINAL}$$

$$\text{BRu} + \text{IE} + \text{BnC}$$

Esta relación alcanza un máximo de 1, cuando toda la biomasa reciclada se reutiliza, indicando agroecosistemas con alta intervención humana, que incluso podrían ser orgánicos, en los que no se deja biomasa para especies silvestres heterótrofas. Tendría un valor mínimo de 0 cuando no hay entradas externas y ninguna biomasa es reutilizada por la sociedad. Este sería el caso en los ecosistemas naturales sin intervención humana. Por la propia naturaleza de los agroecosistemas, un escenario con un valor de "0" no es posible, pero la agroecología considera la necesidad de dejar biomasa disponible para otras especies con el fin de generar cadenas tróficas complejas que garanticen las funciones ecosistémicas. Al mismo tiempo, liberar biomasa para las especies silvestres a expensas de reducir fuertemente la BRu implicaría reducir la necesidad de un patrón complejo de usos del suelo, típico de la agricultura tradicional. Esto es, anular la BRu por unidad de ITC podría conducir a una disminución de la heterogeneidad y complejidad espacial de los paisajes agroforestales, y una reducción en la riqueza de especies que puede albergar (Perfecto and Vandermeer, 2010). Además, una reducción drástica en la BRu llevaría a un incremento del IE para garantizar el funcionamiento del agroecosistema y, consecuentemente, de la energía fósil. Por ello, desde un punto de vista agroecológico, es necesario que estos dos usos de la biomasa (BRu y BnC) estén balanceados y el valor obtenido de este indicador debe analizarse desde esta perspectiva.

Si se invierte la relación, TRE Final/TRE Final Agroecológico, un valor en alza indicará que la inversión de energía realizada por la sociedad está generando crecientes cantidades de BnC y, por tanto, se está realizando una inversión en "naturaleza". De hecho, la inversión de energía externa en los agroecosistemas se ha considerado un medio para intensificar la producción agrícola que permite liberar territorio (land sparing) (traducible en término de biomasa) para la recuperación de la biodiversidad silvestre (Phaland et al., 2011), por ejemplo, a través de la conversión de tierras de cultivo o pastizales a bosques. Esta hipótesis ha sido cuestionada por otros autores como Perfecto and Vandermeer (2010). Este indicador nos permite evaluar las hipótesis del land sparing vs land sharing desde la perspectiva energética.

### Resultados y discusiones

La tabla 1 resume los resultados de esta comunicación. La TRE Final ha descendido un 41%. La industrialización del sector agrario español ha supuesto una grave pérdida de eficiencia energética. En otras palabras, el crecimiento de la producción agraria ha sido posible por la multiplicación de la inversión energética, tanto de combustibles fósiles como de biomasa. Nótese que se produce un fuerte incremento de la inversión energética en forma de biomasa, tanto como BRu, como de biomasa importada en forma de pienso para la alimentación ganadera. La cabaña ganadera española ha crecido espectacularmente durante el proceso de industrialización. Se trata de ganadería intensiva, sin funciones en el mantenimiento de los agroecosistemas (no aporta trabajo, y apenas estiércol), desacoplada del territorio (los pastizales españoles están subutilizados), que genera problemas de contaminación por sus residuos y de salud al haber sustituido la proteína de origen vegetal en la dieta de la población.

Sin embargo, la pérdida de eficiencia de la agricultura industrial respecto a la orgánica tradicional española tiene otras causas, además del proceso de ganaderización descrito. Las TRE agroecológicas permiten detectar procesos de degradación que minan la productividad de los agroecosistemas. La TRE PPN se mantiene hasta los años 60, a partir de esta fecha cae un 5%, coincidiendo con el proceso de industrialización. Caída que se produce a pesar de la inyección de energía y agua recibida. El deterioro de los recursos naturales (suelo, agua, biodiversidad), provocado por la propia agricultura industrial, estaría pasando factura.

**TABLA 1.** Principales magnitudes energéticas de la agricultura española (TJ) (1900 = 100).

	1900		1960		2008	
	TJ	%	TJ	%	TJ	%
PPN	4.375.030	100	4.791.470	110	5.635.667	129
Biomasa Reutilizada (BRu) (a)	501.739	100	746.671	149	854.664	170
Biomasa no Cosechada (BnC) (b)	3.235.392	100	3.300.618	102	3.798.384	117
Biomasa Reciclada (BRc) (a+b)	3.737.130	100	4.047.289	108	4.653.048	125
Input Externo (IE) (e)	18.734	100	67.155	358	452.040	2.413
Pienso importado (forma parte del IE)	1.183	100	9.832	831	191.176	16.162
Input Total Consumido (ITC) (a+b+e)	3.755.865	100	4.114.444	110	5.105.088	136
Biomasa Socializada (BS)	409.503	100	428.663	105	603.490	147
<b>TRE con enfoque económico</b>						
TRE Final = BS/(BRu+IE)	0,79	100	0,53	67	0,46	59
<b>TRE con enfoque agroecológico</b>						
TRE PPN = PPN / ITC	1,16	100	1,16	100	1,10	95
TRE Final Agroecológico = BS / ITC	0,11	100	0,10	96	0,12	108
TRE Final Agroecológico / TRE Final	0,14	100	0,20	143	0,26	185



La ratio TRE Final Agroecológico / TRE Final se incrementa indicando un crecimiento de la BRu en relación a la BnC, lo que conlleva menor disponibilidad relativa de energía para organismos heterótrofos silvestres, sobre todo en la superficie agrícola (datos no mostrados). En este espacio se produce una fuerte caída de la BnC, tanto subterránea como aérea. La caída de la BnC subterránea afectaría a la calidad del suelo, debilitando las cadenas tróficas edáficas y la materia orgánica edáfica. La caída de la BnC aérea afectaría al sostenimiento de la biodiversidad heterótrofa aérea. En otras palabras, la dedicación de una cantidad creciente de la propia producción agrícola a la alimentación del ganado, componente fundamental de la BRu, estaría ejerciendo un impacto negativo sobre la biodiversidad. Efecto que no sería compensado por el abandono de los pastos y el bosque, cuestionando la estrategia del land sparing. Esto es, la disociación del agroecosistema en áreas de producción intensiva y área abandonadas y/o protegidas (el 40% de la superficie forestal española está protegida) no ha proporcionado un incremento significativo de la energía disponible para transferir desde las plantas a otros niveles de las cadenas tróficas de los ecosistemas.

### **Agradecimientos**

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto *Sustainable Farm Systems: Long-Term Socio-Ecological Metabolism in Western Agriculture* del Social Sciences and Humanities Research Council of Canada y el proyecto HAR2012-38920-C02-01 del Ministerio de Economía y Competitividad (España).

### **Referencias bibliográficas**

- Giampietro, M., Mayumi, K., Sorman, A.H., 2010. Assessing the quality of alternative energy sources: Energy Return On the Investment (EROI), the Metabolic Pattern of Societies and Energy Statistics. Working Papers on Environmental Sciences. ICTA, Barcelona (Spain).
- Guzmán, G.I., Aguilera, E., Soto, D., et al., 2014. Methodology and conversion factors to estimate the net primary productivity of historical and contemporary agro-ecosystems (I). Sociedad Española de Historia Agraria-Documentos de Trabajo 1406. www.seha.info. 52 pp.
- Guzmán, G.I., González de Molina, M., 2015. Energy efficiency in agrarian systems from an agro-ecological perspective. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, in revision.
- Martínez Alier, J., 2011. The EROI of agriculture and its use by the Via Campesina. *The Journal of Peasant Studies* 38(1), 145-160.
- Murphy, D.J., Hall, C.A.S., Dale, M., Cleveland, C., 2011. Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels. *Sustainability* 3, 1888-1907.
- Perfecto, I., Vandermeer, J., 2010. The agroecological matrix as alternative to the land-sparing/agriculture intensification model. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 107, 5786-5791.
- Pervanchon, F., Bockstaller, C., Girardin, P., 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural Systems* 72, 149-172.
- Phalan, B., Onial, M., Balmford, A., Green, R.E., 2011. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science* 333, 1289-1291.