

Sostenibilidad energética y viabilidad monetaria de los cultivos herbáceos extensivos ecológico en Andalucía

Pérez Neira, David^{1,4}; Marta Soler Montiel²; Xavier Simón Fernández³

¹Secretaría de Educación Superior, Ciencia Tecnología e Innovación de la República del Ecuador y Universidad Estatal de Milagro, Ciudadela Universitaria km 1 y ½ vía Km 26, Milagro (Ecuador);

²Departamento de Economía Aplicada II, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Sevilla, Avda. Ramón y Cajal Nº 1, 41018 Sevilla (España); ³Departamento de Economía Aplicada, Facultad de Ciencias Económicas e Empresariales Universidad de Vigo, Campus de Vigo. 36310, Vigo (España); ⁴ dapaneira@uvigo.es

Pérez Neira, David; Marta Soler Montiel; Xavier Simón Fernández (2015) Sostenibilidad energética y viabilidad monetaria de los cultivos herbáceos extensivos ecológicos en Andalucía. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (1): 15-26

Una de las características más importantes de la agricultura es su capacidad para transformar la energía y generar "excedentes" energéticos con diversos usos (alimentación humana, animal, fertilización, etc.). Estos excedentes energéticos son potencialmente mayores en la agricultura ecológica como resultado del menor uso de insumos vinculados a la energía fósil. Los cereales y las leguminosas son cultivos que se caracterizan por altos outputs y balances de energía, ambos indicadores fundamentales de la sostenibilidad agraria. En este trabajo se analiza, tanto en términos monetarios como energéticos, el comportamiento de los cultivos extensivos ecológicos en Andalucía para el año 2005. Así mismo, se realiza un análisis comparativo entre los resultados energéticos obtenidos en el presente estudio y los aportados en otros estudios nacionales e internacionales. El balance monetario y energético de los cultivos extensivos se estimó en 2,47 y 3,65 respectivamente. Este último se incrementa hasta 6,49 si solamente se tiene en cuenta el uso de energía no renovable. En términos comparativos con cultivos convencionales, los resultados muestran un elevado grado de eficiencia energética.

Palabras claves Agricultura sustentable, agricultura ecológica, análisis energéticos, eficiencia energética, cereales y leguminosas

Pérez Neira, David; Marta Soler Montiel; Xavier Simón Fernández (2015) Energy sustainability and economic viability of organic extensive herbaceous crops in Andalusia. Rev. Fac. Agron. Vol 114 (1): 15-26

One of the most important characteristics of agriculture is its capacity to transform energy and generate energy "surpluses" with various uses (human food, animal feed, fertilization, etc.). These energy surpluses are potentially larger in ecological agriculture as result of low fossil fuel inputs related. Cereals and legumes are crops with high energy balance and output, both key agrarian sustainability indicators. This work analyses the behaviour of ecological extensive crops in Andalusia (2005), in both monetary and energy terms. In addition, a comparative analysis is made of the energy results obtained in the present study and those contributed by other national and international studies. The monetary and energy balance of extensive crops is estimated at 2.47 and 3.65, respectively. When only the use of non-renewable energy is taken into consideration, the energy balance increases and reaches 6.49. In comparative terms, the results show a high degree of energy efficiency.

Key Words: Sustainable agriculture, organic farming, energy analysis, energy efficiency, cereals and legumes.

Recibido: 24/11/2013

Aceptado: 09/03/2015

Disponible on line: 15/06/2015

ISSN 0041-8676 - ISSN (on line) 1669-9513, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, Argentina

INTRODUCCIÓN

La ciencia económica tradicionalmente se ha centrado en el estudio y análisis de la viabilidad de los sistemas agrarios desde una perspectiva monetaria y ha dejado al margen aspectos centrales de la sostenibilidad biofísica de los mismos. Desde una perspectiva de sostenibilidad fuerte (Norton, 1992) el análisis monetario se torna insuficiente y es necesario articular otras herramientas conceptuales que permitan entender las relaciones existentes entre la naturaleza y los procesos socioeconómicos (Costanza, 1991; Wackernagel & Rees, 1997; Fischer-Kowalski & Amann, 2001; Martínez Alier, 2008). El uso eficiente de los recursos naturales es uno de los aspectos más importantes a la hora de pensar en sistemas de producción de alimentos más sostenible (Meul et al., 2007). Sin embargo, la alta dependencia del petróleo y la ineficiencia energética son características estructurales de los sistemas agrarios industrializados conocidas desde hace más de cuatro décadas (Odum, 1967; Pimentel et al., 1973). En los últimos años, el consumo de energía de la agricultura lejos de haber disminuido no ha dejado de incrementarse (Simón, 1999; Venturi & Venturi, 2003; Karimi et al., 2008; Ozkan et al., 2011; Ghorbani et al., 2011) con los consiguientes impactos medioambientales entre los que destaca el cambio climático (Hatirli et al., 2006; West & Marland, 2002; Mohammadi & Omid, 2010). En el caso concreto del Estado español, la agricultura ha pasado de tener un balance energético de 6,11 en el periodo 50-51 a un balance de 1,27 en el periodo 99-00 (Carpintero & Naredo, 2006). Es este contexto, el análisis energético de los sistemas agrarios –como metodología de análisis– está llamado a desempeñar un papel crecientemente importante en la comprensión del funcionamiento de los mismos, en la toma de decisiones técnico-productivas y económicas, así como en la búsqueda de alternativas energéticas agrarias viables en un contexto de creciente escasez energética y fragilidad ambiental (Dalgaard et al., 2001; Flores et al., 2007).

En la actualidad, uno de los principales focos de atención de los debates agrarios se ha centrado en aportar evidencias y valorar en qué medida la agricultura ecológica puede ser una alternativa sostenible para la producción de alimentos (Altieri, 1987; Gliessman 2000; Sarandón, 2002). Una cuestión fundamental de análisis han sido las contribuciones de la agricultura ecológica a la eficiencia energética en comparación con la convencional (Ziesemer, 2007; Smith et al., 2013) y sus aportaciones a la lucha contra el cambio climático (LaSalle, 2008; Borron, 2006; Badgley et al., 2007; El-Hage & Scialabba, 2010). Un estudio realizado por el Ministerio Británico de Agricultura, Pesca y Alimentación demuestra que los requerimientos energéticos por hectárea de la producción de trigo ecológico son un 40% menores que en un manejo convencional, 50% en el caso de las zanahorias, 54% para las patatas, 65% para las cebollas, etc. (MAFF, 2000).

En el caso del Estado español, la agricultura ecológica constituye un sector en proceso de consolidación que no ha dejado de crecer en los últimos años. Sin embargo, los estudios que analizan el comportamiento

energético de la misma son relativamente escasos. En el territorio español, se ha pasado de tener 4.235 hectáreas certificadas en 1991 a 1.650.866 en 2010 (MARM, 2011) siendo el país de la Unión Europea (E-15) con mayor superficie de cultivo ecológico en términos absolutos aportando el 20% de la superficie ecológica europea (FiBL, 2011). Andalucía, con gran tradición cerealista, es la región con mayor superficie ecológica del Estado representando más del 50% de la superficie total (MARM, 2011) de la cual el 19% corresponde a los cultivos herbáceos extensivos.

Estos cultivos ecológicos tienen la capacidad potencial de generar balances energéticos positivos con alta eficiencia energética, como resultado tanto de un elevado output energético intrínseco como de bajos requerimientos energéticos en los inputs. Por tanto, la expansión de los cultivos herbáceos extensivos ecológicos puede contribuir activamente a mejorar la sostenibilidad agraria en términos de uso de energía.

El análisis que se presenta parte de dos hipótesis interrelacionadas. Por una parte, se parte de la premisa de que los cultivos herbáceos ecológicos extensivos en Andalucía están contribuyendo a la sostenibilidad agraria de la región en términos energéticos sin que esta contribución sea reconocida en términos monetarios. Por otra parte, se parte de la hipótesis de que dicha contribución es potencialmente mayor en la producción ecológica que en la convencional. Con el fin de contrastar la contribución en términos energéticos a la sostenibilidad agraria regional e identificar los factores que la determinan, en este trabajo se analiza el comportamiento energético y monetario de la producción de cereales y leguminosas ecológicas en Andalucía en el año 2005 y se comparan estos resultados con los de otros trabajos previos a partir de una exhaustiva revisión de la bibliografía científica sobre el tema, poniendo especial atención en la comparativa ecológico y convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Antecedentes

El estudio se enmarca dentro de una tradición de investigaciones que analizan el metabolismo energético de la agricultura en el territorio español. Los primeros trabajos fueron realizados en la década de 1970 para Extremadura (Campos & Naredo, 1978), Andalucía Occidental (Campos & Naredo, 1980) y la agricultura española en su conjunto (Naredo & Campos, 1980). Posteriormente en la década de 1990 destacan los trabajos de López (1990) para Asturias y Simón (1999) actualizando las estimaciones de Naredo & Campos (1980). Más recientemente, los trabajos de Roselló et al. (2000), Lacasta & Meco (2000) analizan cítricos y hortalizas, mientras Guzmán Casado & Alonso Mielgo (2008) estudian el olivar en Andalucía. Desde una perspectiva histórica y territorial destaca el trabajo de Cussó et al. (2006) en Cataluña, así como el análisis de Carpintero & Naredo (2006) que vuelve a retomar el estudio de la agricultura española en su conjunto.

En relación al análisis energético de los cultivos extensivos, éstos también cuentan con una gran tradición histórica, así algunos de los principales trabajos se recogen en la Tabla 1. En el ámbito

internacional, es pionero el estudio de Berardi (1978) que realiza una comparativa del comportamiento del trigo ecológico y convencional en los Estados Unidos. A este le siguieron las investigaciones de Pimentel (1980) y Tsatsarelis (1993) en Estados Unidos y Grecia respectivamente. Posteriormente destacamos los trabajos realizados por Shahan et al. (2008), Koocheki et al. (2011), Kiani & Houshayar (2012), Azarpour et al. (2012) en Irán (trigo, cebada, habas y guisantes); Canakci et al. (2005), Necat & Huseyin (2006), Cicek et al. (2011) y Marakoglu & Çarman (2010) en Turquía (trigo); Khan et al. (2010) en Australia (trigo, arroz y cebada); Singh S. et al. (1997) y Singh H. et al. (2007) en la India (trigo) y Hetz (1992) en Chile (trigo).

Selección de datos

Las estimaciones energéticas se realizaron a partir de los datos recogidos en el proyecto titulado "Cuentas Económicas de la Agricultura y Ganadería Ecológica en Andalucía en 2005" (Soler et al., 2009)¹. El año 2005 fue un año de climatología excepcionalmente adversa lo que afectó a los rendimientos de las cosechas siendo este un dato a tener en cuenta a la hora de interpretar los datos. Sin embargo, es el único año para el cual se dispone de información detallada sobre el comportamiento físico y monetario del sector ecológico en Andalucía gracias al proyecto citado anteriormente.

Tabla 1. Eficiencias energéticas de los cultivos extensivos según países y tipos de cultivo. ^(*) Balance Energético en base al uso de energía total (ver metodología); ^(**) Balance Energético en base al uso de energía no renovable (ver metodología).

País	Cultivo	BE ^(*)	BE _{nr} ^(**)	Referencia	Características
U.S.A	Trigo	3,93	4,91	Berardi (1978)	Grano Ecológico
	Trigo	3,43	4,10	Berardi (1978)	Grano
	Varios Cereales	-	2,00 - 5,00	Pimentel (1980)	Grano
Marruecos	Trigo	-	2,63	Baali & Ouwerkerk (2005)	Grano
	Trigo	-	4,87	Baali & Ouwerkerk (2005)	Grano y paja
Grecia	Trigo	-	2,34 - 3,12	Tsatsarelis (1993)	Grano
	Trigo	-	5,8 - 5,92	Tsatsarelis (1993)	Grano y paja
Iran	Habas	1,81	2,95	Koocheki et al. (2011)	Grano y paja
	Lentejas	1,79	2,60	Koocheki et al. (2011)	Grano y paja
	Guisantes	1,21 - 2,02	1,79 - 2,40	Koocheki et al. (2011)	Grano y paja
	Trigo	1,41	1,64	Shahan et al. (2008)	Grano
	Trigo	1,97	2,29	Shahan et al. (2008)	Grano y paja
	Trigo	-	1,20 - 1,63	Kiani & Houshayar (2012)	Grano; Agricultura de Conservación
	Trigo	1,44- 3,40	1,92 - 4,53	Ghorbani et al. (2011)	Grano y paja
	Trigo	2,04	2,86	Azarpour et al. (2012)	Grano y paja
	Cebada	2,70	3,74	Azarpour (2012)	Grano
	Cebada	5,59	7,74	Azarpour (2012)	Grano y paja
	Trigo	1,49	1,86	Ziaei et al. (2015)	Grano y Paja
Cebada	1,95	2,27	Ziaei et al. (2015)	Grano y Paja	
Paquistán	Arroz	-	3,62 - 4,14	Toufiq (2007)	Grano
	Trigo	-	2,5 - 7,2	Azam (2002)	Grano
Turkia	Trigo	-	5,2 - 14,9	Azam (2002)	Grano y paja
	Trigo	3,30	4,94	Cicek et al. (2011)	Grano
	Trigo	-	2,8	Canakci et al. (2005)	Grano
India	Trigo	2,21	2,37	Necat & Huseyin (2006)	Grano y paja
	Varios Cereales	-	3,87 - 5,51	Singh S. et al. (1997)	Grano
Chile	Trigo	-	2,74 -4,69	Hetz (1992)	Grano y paja
Australia	Trigo	-	9,2	Khan et al., 2010	Grano
	Arroz	-	6,7	Khan et al., 2010	Grano
	Cebada	-	8,21	Khan et al., 2010	Grano
España	Cebada-Rotación	-	1,18 - 8,77	Lacasta y Meco (2000)	Grano Ecológico con diferentes rotaciones
	Cebada-Rotación	-	1,15 - 5,31	Lacasta & Meco (2000)	Grano y Paja Conv. con diferentes rotaciones

¹ Proyecto financiado por la antigua Dirección General de Agricultura Ecológica de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía.

Por este motivo, este estudio debe considerarse una primera radiografía del alcance y los límites de la eficiencia energética de la producción de cereales y legumbres ecológicas en Andalucía que permite identificar los ámbitos en los que concentrar la investigación y los cambios técnico-productivos para avanzar hacia una mayor eficiencia energética.

La superficie estudiada representa el 19,1% de la superficie cultivada y certificada en Andalucía para el año 2005, centrándose en la superficie cultivada y excluyendo la superficie de pastos y bosques. A su vez, la superficie estudiada de cultivos extensivos representa el 8,8% de la superficie total certificada, es decir, 1.341 de 16.209 hectáreas estudiadas (DGAE (2007). La información acerca de los inputs y output energéticos de los cultivos fueron tratados en una hoja Excel y analizados en SPSS. Los parámetros se han estimado mediante el estimador de razón separado estratificando la población en 3 estratos de forma que cada uno de ellos representó el 1/3 de la superficie de la población de estudio.

Metodología del análisis energético

La metodología de análisis de referencia es el análisis energético de proceso (Meul et al., 2007; ISO, 2006; Udo de Haes, 2007). Se han definido 5 niveles de estudio resumidos en la figura 1.

El nivel 0 corresponde al output energético medido por la producción bruta agrícola. En el nivel 1 se cuantifica el consumo de energía directa (ED) en finca. En el nivel 2 el consumo de energía indirecta (EI), en concreto se contabiliza el coste energético de producción de los inputs utilizados durante el proceso productivo. En los niveles 3 y 4 se cuantifica la energía proporcional vinculada al consumo del capital fijo (EC), en concreto, el consumo energético vinculado a la amortización de la maquinaria (nivel 3) y a la reparación y mantenimiento del capital fijo (nivel 4). No se ha considerado el

consumo energético vinculado a las instalaciones en las explotaciones agrícolas por carecerse de los datos físicos necesarios para dicho cálculo. En este trabajo tampoco se ha estimado el coste energético asociado al transporte.

Parámetros analizados y coeficientes energéticos

El output agrario se ha valorado en base al contenido energético del peso total de la producción agrícola más el contenido energético de la paja de los cereales (trigo, avena y cebada). La valoración energética del output se ha realizado a partir del estudio nutricional realizado por Moreiras et al. (2005) que aporta conversores por cultivos (α) de peso a energía (MJ kg⁻¹):

$$(1) \text{ Output Energético } (OE)_{(i)} = \text{Output } (O)_{(i)} \text{ (kg)} \times \alpha^{-1}_{(i)} \text{ (MJ unidad}^{-1}\text{)}$$

Donde, $O_{(i)} = \sum \text{ventas (kg)} + \text{autoconsumo (kg)} + \text{reemplazo (semillas y alimentación animal) (kg)}$; i : tipo de cultivo; $\alpha_{(i)}$: coeficiente energético del cultivo i

En la Tabla 2 se recogen los coeficientes energéticos de valoración del output y las superficies de los cultivos estudiados. En el caso de la paja se ha considerado un coeficiente energético de 12,5 MJ kg⁻¹ (Ozkan et al., 2004; Shahan et al., 2008).

Para el caso de los inputs, la valoración energética se ha realizado a partir de la siguiente ecuación:

$$(2) \text{ Consumo Total de Energía } (CTE)(ji) = \sum \text{Input } (I)(ji) \text{ (unidad)} \times \beta^{-1}_{(j)} \text{ (MJ unidad}^{-1}\text{)} = \sum \text{Energía Directa } (ED)(ji) \text{ (MJ)} + \text{Energía Indirecta } (EI)(ji) \text{ (MJ)} + \text{Energía de Capital } (EC)(ji) \text{ (MJ)}$$

Siendo I : input (unidad física); ij : input j (diesel, estiércol, trabajo, maquinaria...) del cultivo i ; $\beta_{(j)}$: coeficiente energético del input j

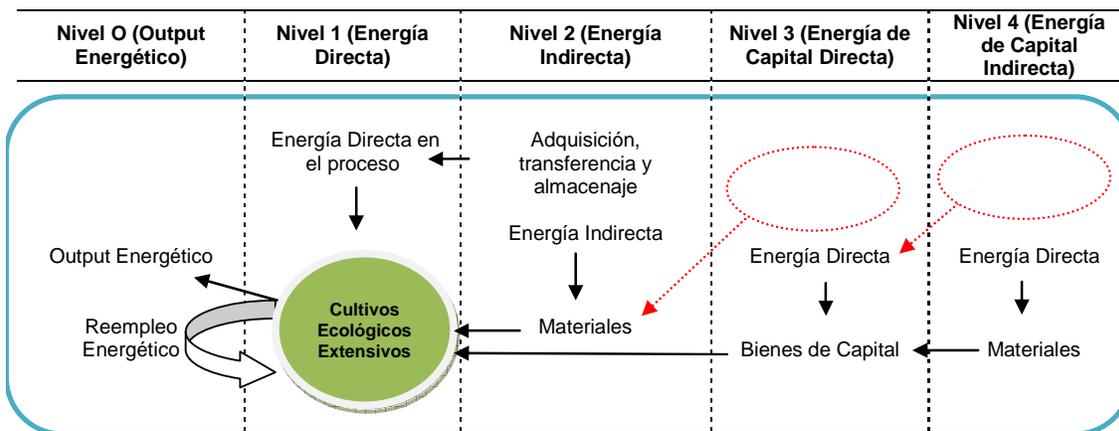


Figura 1. Límites analíticos de los cultivos ecológicos extensivos en Andalucía

La valoración energética de los inputs agrícolas en los niveles 1, 2, 3 y 4 correspondientes al consumo energético directo, indirecto y de capital (producción, mantenimiento y reparación), se ha realizado a partir de los conversores energéticos medios ($\beta_{(i)}$) calculados a partir de la literatura especializada² y resumidos en la tabla 3 y 4.

Tabla 2. Cultivos extensivos, superficie y coeficientes ($\alpha_{(i)}$) para la valoración del output energético

Cultivos	Superficie (ha)	Superficie (%)	Coefficientes (MJ kg ⁻¹)
A. Cereales	13.986	86,3	
Avena	1.461	9,0	14,5
Cebada	2.211	13,6	14,8
Trigo	9.941	61,3	14,2
Otros cereales	373	2,3	14,2
B. Leguminosas	2.223	13,7	
Girasol	452	2,8	23,8
Garbanzos	347	2,1	13,8
Habas	287	1,8	14,2
Veas	297	1,8	14,2
Guisantes	805	5,0	13,3
Resto Leguminosas	35	0,2	13,8
C.Total (A+B)	16.209	100,0	

Selección de indicadores sintéticos para el análisis energético de la agricultura

El análisis energético se ha realizado a partir de los indicadores sintéticos vinculados al output, los inputs y la eficiencia energética que se definen en las siguientes ecuaciones (Yilmad et al., 2005; Canakci et al., 2005; Koocheki et al., 2011; Ghorbani et al., 2011):

$$\text{Intensidad Energética (IE)} = \text{Output (O)}_{(i)} \text{ (t)} \times \text{Consumo Total de Energía (CTE)}_{(i)}^{-1} \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)}$$

$$\text{Producción Energética Neta (PEN)}_{(i)} = \text{Output Energético (OE)}_{(i)} \text{ (MJ)} - \text{Consumo Total de Energía (CTE)}_{(i)} \text{ (MJ)}$$

$$\text{Balance Energético (BE)}_{(i)} = \text{Output Energético (EO)}_{(i)} \text{ (MJ)} \times \text{Consumo Total de Energía (CTE)}_{(i)}^{-1} \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)}$$

El balance energético (BE) también ha sido calculado en base al uso de energía no renovable (BEnr) (Ghorbani et al., 2011). Para ello, se ha contabilizado como energía renovable el contenido energético de la biomasa (estiércol, compost, etc.), el trabajo humano, así como el uso de energía directa o indirecta

proveniente de fuentes de energía renovables (eólica, hidráulica y solar).

Metodología del análisis monetario

El análisis monetario de la producción ecológica de cultivos extensivos se ha realizado a partir de los indicadores margen bruto, margen neto y balance monetario (Eurostat, 1997). El balance monetario (BM) es el resultado de dividir el total de ingresos entre el total de gastos.

RESULTADOS

En las tabla 5, 6 y 7 se presentan los principales resultados del análisis energético y monetario de la producción de cultivos extensivos en Andalucía para el año 2005.

Resultados energéticos

La producción energética de los cultivos extensivos se estimó en 487.097 GJ (30,0 GJ ha⁻¹), 36,6% correspondiente al contenido energético de la paja y 63,4% al contenido energético del grano. El 77,2% de la energía producida tuvo como destino la alimentación animal (375.927 GJ; 23,2 GJ ha⁻¹) de la cual el 47,3% corresponde a la paja y el resto al reemplazo del grano. El 19,9% fueron ventas al mercado (ecológico y convencional) (97.042 GJ; 5,9 GJ ha⁻¹) y el 2,9% restante tuvo como destino el autoconsumo y el reemplazo para semillas (14.127 GJ; 0,87 GJ ha⁻¹).

En relación a los inputs, el consumo total de energía (CTE) de los cultivos extensivos se estimó en 133.374 GJ (8,23 GJ ha⁻¹), de los cuales el 66% fue en forma de ED (5,54 GJ ha⁻¹), 30% en forma de EI (2,51 GJ ha⁻¹) y 3,3% en forma de EC (tabla 6). El consumo de combustibles fósiles en forma de diesel, aceites, lubricantes y plásticos supuso el 33,1% (2,72 GJ ha⁻¹) del total del gasto energético, seguido del gasto en semillas y fertilización que supusieron un 30,1% (2,47 GJ ha⁻¹) y 29,1% (2,39 GJ ha⁻¹) respectivamente. Estos tres inputs suman el 92% del gasto energético de los cultivos extensivos. El resto de inputs tienen una menor importancia, así el gasto energético en electricidad supuso 3,9% (3,9 GJ ha⁻¹), el gasto en maquinaria el 3,3% (3,3 GJ ha⁻¹) y el trabajo un 0,4% (34,4 MJ ha⁻¹). El 56,2% (4,66 GJ ha⁻¹) de la energía consumida fue energía no renovable (Tabla 6). La energía renovable (43,8%) estuvo vinculada mayoritariamente tanto a la energía bruta de las semillas (55%) como al uso de fertilización orgánica (reemplazo del estiércol de la ganadería y compost) (36,6%).

La productividad energética (PE) de los cultivos ecológicos extensivos en Andalucía (2005) se estimó en 353.723 GJ (21,8 GJ ha⁻¹) con una intensidad energética de 0,23 t MJ⁻¹. Así mismo, la eficiencia energética medida a través del indicador del balance de energía se estimó en 2,86 teniendo en cuenta la producción de grano y en 3,65 incluyendo el reemplazo de paja para alimentación animal. Si se analiza el comportamiento energético de los cultivos extensivos en base al uso de energía no renovable los resultados mejoran sustancialmente siendo el BEnr de 4,12 para el caso en el que se contabiliza el grano y 6,49 si se tiene en cuenta el reemplazo de paja.

² A partir de los coeficientes energéticos aportado por la literatura se han calculado coeficientes medios en el caso de más de un dato disponible.

Tabla 3. Inputs agrícolas y coeficientes energéticos (β_{ij}) niveles 1 y 2

Inputs	Unidad	Coeficientes Energéticos (MJ unidad ⁻¹)		Referencias
		Nivel 1	Nivel 2	
A. Inputs				
1. Semillas		Cultivo i	5,03	Fluck, 1992; Naredo & Campos, 1980; Moreira et al., 2005
2. Eco-Protección de cultivos	kg	-	43,12	Helsel, 1992; Mobtaker et al., 2010; Yilmaz et al., 2005; Karimi et al., 2008
3. Fertilización				
(a) Estiércol	kg	1,32	-	Pérez-Neira, 2010; Pimentel, 1980; Fluck, 1992; Kaltsas et al., 2007
(b) Compost	kg	1,32	0,11	
(c) Otras Fertilización Eco	kg	-	4,96	
4. Diesel	kg	39,27	9,52	Fluck, 1992; Yilmaz et al., 2005; Hatirli et al. 2006; Canakci & Akinci, 2006; Meul et al., 2007; Karimi et al., 2008
5. Aceite y Lubricantes	kg	-	67,25	
6. Plásticos	kg	-	92,23	
7. Herramientas				
(a) Hierro	kg	-	84,58	Tsatsarelis, 1993; Pellizzi, 1992; Baird et al., 1997
(b) Madera	kg	-	2,50	
8. Electricidad	Kw-h	4,05	8,22	Kitani 1999; Meul et al., 2007; Mobtaker, et al., 2010; Ozkan et al. 2004
9. Trabajo	h	0,58	2,33	Pérez-Neira, 2010; Kizilaslan, 2009; Hatirli et al. 2006; Ozkan et al., 2011

Tabla 4. Capital fijo y coeficientes energéticos (β_{ij}) niveles 3 y 4

	Unidad	Coeficientes Energéticos (MJ unidad ⁻¹)		Referencias
		Nivel 3	Nivel 4	
B. Inputs de Capital				
1. Maquinaria				
(a) Grande (> 50 CV)	kg	80,5	41,9	Hetz, 1992 & 1998; Canakci et al., 2005; Yilmaz et al., 2005; Hatirli et al., 2006; Guzmán & Alonso, 2008
(b) Pequeña (< 50 CV)	kg	53,5	13,9	
2. Alquiler Maquinaria				
(a) 60 CV	h	13,4	6,9	Hetz, 1992 & 1998; Pelizzi, 1992; Yilmaz et al., 2005; Hatirli et al., 2006; Guzmán & Alonso, 2008; Karimi et al., 2008
(b) 80 CV	h	16,1	8,4	
(c) 90 CV	h	19,1	10,0	
(d) 120 CV	h	22,3	11,6	

Tabla 5. Análisis energético de los cultivos extensivos en Andalucía (2005). * La partida de otros gastos incluye: gasto en agua, certificación e impuestos.

	GJ	MJ ha ⁻¹	Miles €	€ ha ⁻¹
A. Output	487.097	30.052	8.572	529
Producción	308.977	19.062	2.827	174,4
Paja	178.119	10.989	-	-
Subvenciones	-	-	5.745	354,4
B. Input	133.374	8.229	3.474	214,3
Semillas	40.114	2.475	627	38,7
Fertilización	38.698	2.388	236	14,6
Protección	22	1,4	7	0,42
Electricidad	5.135	316,8	38	2,34
Petróleo	44.090	2.720	603	37,2
Trabajo	558	34,4	848	52,2
Herramientas	373	23,0	73	4,5
Maquinaria	4.384	270,5	525	32,4
Otros Gastos*	-	-	516	31,8

Tabla 6. Consumo total de energía de los cultivos ecológicos extensivos en Andalucía (2005)

Composición del Input Energético	GJ	MJ ha ⁻¹
Energía Directa	88.343	5.450
Energía Indirecta	40.646	2.507
Energía de Capital	4.384	270
Uso Energía No Renovable	75.009	4.627
Consumo Total de Energía	133.374	8.228

Tabla 7. Indicadores monetarios y energéticos de los cultivos ecológicos extensivos en Andalucía (2005)

Indicadores	U.d.	Cantidad	Cantidad ha ⁻¹
Margen Bruto (MB)	Miles €	5.623	0,35
Margen Neto (MN)	Miles €	5.098	0,31
Balance Monetario (BM)	-	2,47	-
BM (sin subvenciones)	-	0,81	-
Producción Energética Neta (PEN)	GJ	353.723	21,8
Intensidad Energética (IE)	t MJ ⁻¹	0,23	-
Balance Energético (BE) (Grano)	-	2,32	-
BE (Grano y paja)	-	3,65	-
BEno renovable (Grano)	-	4,12	-
BE no renovable (Grano y paja)	-	6,49	-

Resultados monetarios

La producción bruta de los cultivos extensivos se estimó en 8,5 millones de € (529 € ha⁻¹), de los cual el 67% corresponden a subvenciones (354 € ha⁻¹), el 19,6% al reemplazo del grano para alimentación animal (103 € ha⁻¹) y el 13,4% a las ventas y autoconsumo

(70,8 € ha⁻¹). Los consumos intermedios se estimaron en 3,4 millones de € (214,3 € ha⁻¹), siendo los gastos más importantes la remuneración del trabajo asalariado (24,4%), la compra de semillas (18,1%), el gasto en petróleo (17,4% de diesel, aceites y lubricantes) y el uso de maquinaria (15,9%). Estas cuatro partidas suman el 75% del total de los costes. El margen bruto de los cultivos ecológicos extensivos se estimó en 5,6 millones de € (347 € ha⁻¹) y el margen neto en 5,0 millones de € (315 € ha⁻¹). En consecuencia, el balance monetario para el año 2005 fue 2,47. Restando de los ingresos totales las subvenciones se puede observar que el balance monetario disminuye hasta 0,81 lo que implica una rentabilidad monetaria negativa.

DISCUSIÓN

Output energético

Los cultivos extensivos ecológicos en Andalucía en el año 2005 muestran unos bajos rendimientos agrícolas y consecuentemente una reducida producción energética del grano que se estimó en 19,1 GJ ha⁻¹ para el conjunto de los cultivos, muy inferior a la estimación realizada por Berardi (1978) para trigo ecológico en Estados Unidos (31,8 GJ ha⁻¹). Esta diferencia se incrementa sustancialmente si se compara con cultivos convencionales, con mayores rendimientos, como Tsatsarelis (1993) en Grecia que estima el output energético del trigo entre 27,8 y 90,7 GJ ha⁻¹ y Shanani et al. (2008) en 70,6 GJ ha⁻¹ para el caso iraní. Así mismo, Azapour (2012), para el cultivo de la cebada en Irán estima un output energético de 44,1 GJ ha⁻¹, mientras que Topak et al. (2009) en Turquía y Koochechi et al. (2011) en Irán estiman outputs comprendidos 37,21 y 42,9 GJ ha⁻¹ y 25,2 GJ ha⁻¹ para el caso de las lentejas. Incluso las estimaciones más bajas de output energético, como los obtenidos por Ziaei et al. (2015) (26,4 y 24,9 GJ ha⁻¹ para el trigo y la cebada), resultan ser superiores a los datos obtenidos en este trabajo.

Los resultados aumentan si se considera la biomasa total del cultivo y no solamente el grano en el cálculo del output energético. Contabilizando el reemplazo de paja, el output energético de los cultivos extensivos en Andalucía se incrementa hasta 30 GJ ha⁻¹, del cual el 77% se destina a usos ganaderos. En términos comparativos, el output energético de los cultivos extensivos en Andalucía sigue siendo bajo. Así, Azarpour et al (2012) y Ziaei et al. (2015), incluyendo la paja, estiman un output energético para el trigo iraní en 48,5 y 49,1 GJ ha⁻¹ respectivamente. Para la cebada, Azarpour (2012) y Shanani et al. (2008) llegan a estimar producciones de 92,1 GJ ha⁻¹ y 97,0 GJ ha⁻¹ respectivamente.

Como muestra el análisis comparativo, la valoración energética del output de los cultivos extensivos ecológicos en Andalucía en el año 2005 es excepcionalmente baja. Los factores explicativos de este comportamiento del output energético pueden guardar relación tanto con cuestiones agroclimáticas, siendo 2005 un año agrícola anómalo, como de manejo. La adaptación a cultivo ecológico en un contexto de monocultivo y manejo convencional muestra dificultades agronómicas que se traducen en bajos rendimientos. Por otra parte, en algunas

explotaciones se están dando prácticas de semiabandono guiadas por estrategias "cazaprims" en la medida en que las subvenciones agrícolas se han desvinculado de la producción y la producción ecológica cuenta con una ayuda agroambiental complementaria (Soler et al., 2009).

Input Energético

El consumo total de energía (CTE) se estimó en 8,2 GJ ha⁻¹ del cual el 43,8% (3,6 GJ ha⁻¹) fue energía renovable asociada a la energía bruta de las semillas (para la siembra), el trabajo humano y la fertilización orgánica (compost y estiércol) mayoritariamente. En comparación con otros estudios, estos requerimientos energéticos son bajos. El trigo ecológico en Estados Unidos estudiado por Berardi (1978) requiere un consumo de energía no renovable por hectárea estimado en 8,02 GJ ha⁻¹, lo que supone un coste energético 174% superior al caso andaluz. Si estos datos los comparamos con los resultados obtenidos en convencional, el consumo de energía no renovable se incrementa de forma muy significativa para la mayoría de los casos: 38,8 GJ ha⁻¹, 23,6 GJ ha⁻¹ y 14,1 GJ ha⁻¹ para el caso del trigo (Shahin et al., 2008), las lentejas y las habas respectivamente en Irán (Koocheki et al., 2011), entre 20,5 GJ ha⁻¹ y 31,5 GJ ha⁻¹ para el trigo en Grecia (Tsatsarelis, 1993); entre 12 y 23 GJ ha⁻¹ para la cebada en Italia (Pellizzi, 1992) o 60,0 GJ ha⁻¹ para el trigo en Marruecos (Baali & Ouwerkerk, 2005).

El consumo energético no renovable de los cultivos ecológicos en extensivos andaluces se estimó en 4,6 GJ ha⁻¹, el 52% del CTE. En términos comparativos, este porcentaje es superior a los obtenidos en otros trabajos donde este porcentaje oscila entre el 12 y el 30% (Kiani & Houshayar, 2012; Cicek et al., 2011; Shahan et al., 2008) a valores del 38% (Koocheki et al., 2011). El consumo de energía no renovable está relacionado con la mecanización de las tareas y por tanto, con el consumo de diesel y maquinaria así como, aunque en menor medida, con la aplicación de insumos industriales certificados para la protección de cultivos y fertilización. Así mismo, el uso de energía renovable está asociado principalmente con la fertilización orgánica (compost y reemplazo del estiércol de la ganadería). El reemplazo de estiércol de la ganadería supone un importante ahorro energético (y monetario): el 55% del gasto energético de la fertilización correspondió al uso de estiércol, 1,3 GJ ha⁻¹ que representa el 16% del uso total de energía.

Eficiencia e Indicadores Energéticos

En términos de eficiencia energética, los bajos rendimientos de los cultivos extensivos andaluces se ven compensados por los bajos inputs energéticos requeridos. Por otra parte, las sinergias energéticas derivadas de la integración entre agricultura y ganadería permiten aprovechar una parte sustancial del output energético en forma de paja como alimentación animal que se traduce en importantes aportes de fertilización orgánica a los cultivos mejorando el aprovechamiento energético de los recursos. En 2005, se estimó que el 55% del gasto energético en fertilización de los cultivos herbáceos extensivos ecológicos provenía de la reutilización de estiércol de la ganadería ecológica, estimándose esta aportación en

1,3 GJ ha⁻¹ equivalente al 16% de los requerimientos totales de energía. El balance energético se estimó en 2,32 si se considera exclusivamente el grano como output energético, y aumenta hasta 3,65 si se considera la paja como coproducto. Los cálculos realizados en base al uso de energía no renovable mejoran sustancialmente. El BEnr para el 2005 se estimó en 4,12 y 6,49 sin y con paja respectivamente.

En términos comparativos, la eficiencia energética de los cultivos extensivos en Andalucía alcanza, en la mayoría de los casos, resultados similares o superiores a los obtenidos en otros trabajos³ centrados en el análisis de cultivos extensivos en convencional (Tabla 1). La eficiencia energética en base al uso de energía no renovable de los cultivos extensivos convencionales se encuentra comprendida entre 1,20 (Kiani & Houshayar, 2012) y 9,2 (Khan et al., 2010) para el caso del trigo en Irán y Australia respectivamente. Para el caso de la producción de trigo en Marruecos y Grecia, Baali & Ouwerkerk (2005) y Tsatsarelis et al. (1993) muestran eficiencias energéticas comprendidas entre 2,63 y 5,92 para el BEnr, y en el caso de Chile, Hetz (1992) obtiene resultados entre 2,74 y 4,69. Resultados similares se obtienen en la India e Irán, donde, a excepción de la cebada que alcanza un valor de 7,59 (Azarpour, 2012), la eficiencia energética en base al uso de energía no renovable es inferior, entre 1,1 y 5,5, a la eficiencia obtenida para los cultivos extensivos en Andalucía 2005. Por último, para el caso español, Lacasta & Meco (2000) obtuvieron diferentes eficiencias energéticas para el cultivo de la cebada en función de diferentes rotaciones. Algunos de los resultados presentados por estos autores, para la producción en ecológico, son superiores a los obtenidos en el presente trabajo, 8,77 frente a 6,49, poniendo de relevancia la importancia que tiene el manejo de los agroecosistemas más allá de la sustitución de insumos.

Viabilidad Monetaria

En términos monetarios, la rentabilidad de los cultivos ecológicos en producciones extensivas, con un BM de 2,45, es altamente dependiente de las subvenciones (67% de los ingresos). Sin éstas, la rentabilidad de este tipo de cultivos sería negativa cayendo el BM a 0,81 debido a los bajos precios de los cereales, la dificultad de acceder a los mercados ecológicos, los bajos rendimientos y los altos precios de los insumos agrarios. Así mismo, como se ha indicado anteriormente, se han identificado situaciones de semiabandono del cultivo en grandes explotaciones donde el cobro de subvenciones compensa las

³ Esta comparativa en términos de eficiencia requiere una puntualización metodológica y un poco de cautela interpretativa, no solo por estar comparando estudios temporal y espacialmente distintos sino también debido a que existen diferencias en el cálculo de las eficiencias energéticas tanto por el lado de los coeficientes utilizados a la hora de valorar los inputs energéticos como por los propios inputs contabilizados (Pérez Neira, 2010). En este sentido, los datos presentados en la tabla 7 se han adaptado para poder hacer comparaciones cautelosas con el BE y BEnr estimado en este trabajo

pérdidas monetarias en contexto de bajos precios en los mercados (Soler et al., 2009).

Factores limitantes de la eficiencia energética de los cultivos herbáceos extensivos ecológicos en Andalucía

Los resultados energéticos de los cultivos extensivos en Andalucía corroboran la hipótesis de partida al generar un balance energético positivo en la media de los estudios realizados, pero a la vez identifican la existencia de algunos puntos críticos del actual modelo de manejo ecológico, y por lo tanto, la necesidad de tomar medidas encaminadas hacia una mayor eficiencia y sostenibilidad. Estas limitantes permiten identificar las áreas de investigación y cambio técnico en los que incidir en el futuro con el objetivo de reforzar las ganancias energéticas de la agricultura ecológica.

Por el lado del output, el principal límite energético identificado son los bajos rendimientos agrícolas de algunos cultivos que invitan a reforzar las investigaciones agronómicas aplicadas con enfoques agroecológicos e impulsar cambios en las prácticas culturales. Como apuntan (Lacasta & Meco, 2005) la restitución de los residuos agrícolas al suelo, los aportes de materia orgánica, la reducción del laboreo y rotaciones adecuadas son algunas de las prácticas necesarias para mantener la productividad en los cultivos ecológicos en extensivo. Por el lado de los inputs, se identifica la necesidad de profundizar la sustitución de fuentes de energía no renovables por renovables, reduciendo el consumo de diesel y mecanización. Este es un reto general de la agricultura tanto la ecológica como la convencional en un contexto de creciente escasez de petróleo (Dalgaard et al., 2001).

Así mismo los resultados económicos de este estudio confirman que una mayor eficiencia energética no tiene por qué significar una mayor rentabilidad (Tsatsarelis, 1993) debido al divorcio existente entre el mundo de lo monetario y lo biofísico, ocupando, el mundo de lo monetario, un lugar privilegiado a la hora de describir y tomar decisiones sobre los hechos económicos en detrimento de las cuestiones biofísicas y ambientales. Hecho que resulta extremadamente problemático cuando la viabilidad energética entra en contradicción con la viabilidad monetaria. Así, en el caso andaluz, los buenos resultados en términos de balance energético (6,49 para el BEnr) contrastan con los resultados monetarios en ausencia de subvenciones (0,81 para el BM sin subvenciones).

CONCLUSIONES

Las estimaciones realizadas en este trabajo demuestran que los cultivos extensivos ecológicos en Andalucía en el año 2005 registran una buena eficiencia energética en comparación con la registrada en otros estudios realizados. La baja productividad del sector se ve compensada por su también baja dependencia de insumos y su alta integración con la ganadería que permite mejorar la eficiencia y el uso de los recursos energéticos desde una perspectiva de sostenibilidad. Así, los balances energéticos de los cultivos ecológicos extensivos se estiman en 3,65 y

6,49 teniendo en cuenta el uso de energía no renovable y el reemplazo de paja respectivamente. Por otro lado, la alta eficiencia en términos energéticos no encuentra su contrapartida en términos monetarios. La rentabilidad del sector (2,7 en términos de BM y 5,9 millones de euros de Margen Neto Agregado) depende de las subvenciones ya que en ausencias de éstas el balance monetario se estima en 0,81, registrando pérdidas.

En términos comparativos, la eficiencia energética obtenida para los cultivos extensivos ecológicos en Andalucía es mayor a la estimada en otros trabajos, especialmente en comparación con producciones convencionales. Los resultados de este trabajo refuerzan las evidencias de mayor eficiencia energética de los cultivos ecológicos respecto a los convencionales (Hoepfner et al., 2006; Deike et al., 2008; Ghorbani et al., 2011; Smith et al., 2013).

El trabajo realizado ha permitido identificar la existencia de puntos críticos limitantes en estos cultivos que apuntan líneas de investigación futuras. A pesar de que el 2005 fue un año climatológicamente adverso, por el lado del output es necesario avanzar en la investigación de técnicas agroecológicas que mejoren la producción. Por el lado del input se apunta la necesidad de desarrollo y adaptación de tecnologías y manejos ecológicos que permitan una sustitución del uso de energía no renovable por renovable. Ambas son cuestiones de vital importancia en un contexto de agotamiento y escasez de fuentes de energía fósiles, tanto en términos físicos como monetarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Altieri, M.A.** 1987. Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture. Boulder: Westview Press. 227pp.
- Azam, M.** 2002. Energy inputs on production wheat in Pakistan. Pakistan J. Agric. Res. 17 (4): 314-319.
- Azarpour, E.** 2012. Evaluation energy balance and energy indices of barley production under watered farming in north of Iran. ARPN Journal of Agricultural and Biological Science 7 (3): 163-168.
- Azarpour, E., M. Moraditochae & H. Reza.** 2012. Evaluating energy balance and energy indices of wheat production in rain-fed farming in northern Iran. African Journal of Agricultural Research 7 (12): 1950-1955.
- Baali, E.H. & E. van Ouwkerk.** 2005. Energy Balance of Wheat Production in Morocco. Conference on International Agricultural Research for Development, Stuttgart-Hohenheim, October 11-13.
- Badgley, C., J. Moghtader, E. Quintero, E. Zakem, M. Chappell, K. Avilez-Vazquez, A. Samulon & I. Perfecto.** 2007. Organic Agriculture and the Global Food Supply. Renewable Agriculture and Food Systems 22 (2): 86-108.
- Baird, G., A. Acorn & P. Haslam.** 1997. The energy embodied in building materials – update New Zealand coefficients and their significance. IPENZ Transaction 24 (1): 46-54.
- Berardi, G.M.** 1978. Organic and Conventional wheat production: examination of energy and economics. Agro-Ecosystems 4 : 367-376.
- Borron, S.** 2006. Building Resilience for an Unpredictable Future: How Organic Agriculture Can

- Help Farmers Adapt to Climate Change. Rome: FAO, Sustainable Development Program. 25pp
- Campos, P. & J.M. Naredo.** 1978. La conversión de la energía solar, el agua y la fertilidad del suelo extremeño en productos agrarios para cubrir el déficit de los centros burocrático industriales. En: Gaviria, M., Naredo, J. M. y Serna, J. (Eds.), Extremadura saqueada. Ruedo Ibérico. pp:63-72
- Campos, P. & J. M. Naredo.** 1980. La Energía en los Sistemas Agrarios. Agricultura y Sociedad 15: 17-113.
- Canakci, M. & I. Akinci.** 2006. Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. Energy 31 (8-9): 1243-1256.
- Canakci, M., M. Topakci, I. Akinci & A. Ozmerzi.** 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: case study for Antalya region, Turkey. Energy Convers. Manage. 46: 655-666.
- Carpintero, O. & J. M. Naredo.** 2006. Sobre la evolución de los balances energéticos de la agricultura española. Historia Agraria 40: 531-554.
- Cicek, A., G. Altintas & G. Erdal.** 2011. Energy consumption patterns and economic analysis of irrigated wheat and rainfed wheat production: case study for Tokat region, Turkey. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 17 (3): 378-388.
- Costanza, R.** 1991. Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability. Columbia University Press, New York. 525 pp.
- Cussó, X., R. Garrabou & E. Tello.** 2006. Social metabolism in an agrarian region of Catalonia (Spain) in 1860-1970. Ecological Economics 58: 49-65.
- Dalgaard, T., N. Halberg & J. Porter.** 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 87: 51-65.
- Deike, S., B. Pallutt & O. Christen.** 2008. Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. European Journal of Agronomy 28: 461-470.
- DGAE.** 2007. II Plan Andaluz de Agricultura Ecológica. Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Dirección General de Agricultura Ecológica; Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. Publicado por la Empresa Pública Desarrollo Agrario y Pesquero. 123pp.
- El-Hage & N. Scialabba.** 2010. Muller-Lindenlauf M. Organic agriculture and climate change. Renewable Agriculture and Food Systems 25 (2): 158-169.
- Eurostat.** 1997. Manual on the economic accounts for agriculture and forestry EAA/EAF 97. Eurostat, 1997, disponible en red:
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/prod_uct_details/publication?p_product_code=KS-27-00-782. Último acceso septiembre de 2012.
- FiBL.** 2011. Data tables on organic food and farming in Europe. European section of the Organic World Website. In: Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), disponible: <http://www.organic-world.net/home-europe.html>. Último acceso: octubre 2012.
- Fischer-Kowalski, M. & C.H. Amann.** 2001. Beyond IPAT and Kuznets Curves: Globalization as a Vital Factor in Analysing the Environmental Impact of Socio-Economic Metabolism. Population and Environment 23 (1), 7-47.
- Flores, C., S. Sarandón & M. Iermanó.** 2007. Eficiencia Energética en Sistemas hortícolas familiares del Partido de La Plata, Buenos Aires, Argentina. Resumos do II Congresso Brasileiro de Agroecologia. 4pp
- Fluck, R.** (editor). 1992. Energy in Farm Production. Energy in World Agriculture 6, Elsevier Science Publishers B.V. (Amsterdam - London - New York - Tokyo).
- Ghorbani, R., F. Mondani, S. Amirmoradi, H. Feizi, S. Khorramdel, M. Teimouri, S. Sanjani, S. Anvarkhah & H. Aghel.** 2011. A case study of energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems. Applied Energy 4 (2), 283-288.
- Gliessman, S.** 2000. Agroecosystem Sustainability: Developing Practical Strategies. Series: Advances in Agroecology. CRC Press. 224pp
- Guzmán Casado, G. & A. Alonso Mielgo.** 2008. A Comparison of energy use in conventional and organic olive oil production in Spain. Agricultural Systems 98: 167-176.
- Hatirli, S.A., B. Ozkan & B. Fert.** 2006. Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. Renewable Energy 31: 427-438.
- Helsel, Z.R.** 1992. Energy and Alternatives for Fertilizer and Pesticide Use. In Fluck (ed.): Energy in Farm Production. En: Energy in World Agriculture nº 6, Elsevier Science Publishers B.V. (Amsterdam - London - New York - Tokyo), pp. 117-201.
- Hetz, E.J.** 1992. Energy utilization in Chilean agriculture. Agr. Mech. Asia Africa Latin America (AMA) 23 (2): 52-6.
- Hetz, E.J.** 1998. Energy utilization in fruit production in Chile. Agr Mech Asia Africa Latin Am (AMA) 298 (2): 17-20.
- Hoepfner, J.W., M. H. Entza, B.G. McConkey, R.P. Zentner & N.C. Nagya.** 2006. Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems. Renewable Agriculture and Food Systems 21: 60-67.
- ISO.** 2006. Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and Framework. En: Environmental Standard ISO 14040. Disponible: http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=37456. Último acceso agosto 2013.
- Kaltsas, A.M., A.P. Mamolos, C.A. Tsatsarelis, G.D. Nanos & K.L. Kalburtji.** 2007. Energy budget in organic and conventional olive groves. Agriculture, Ecosystems and Environment 2 (122): 243-251.
- Khan, S., M.A. Khan & N. Latif.** 2010. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil and Environ. 29 (1): 61-68.
- Karimi, K., A. Rajabi Pour, A. Tabatabaefar & A. Borghai.** 2008. Energy Analysis of Sugarcane Production in Plant Farms. A Case Study in Debel Khazai Agro-industry in Iran. American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci. 4 (2): 165-171.
- Kiani, S. & E.Houshyar** 2012. Energy Consumption of Rainfed Wheat Production in Conventional and Conservation Tillage Systems. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 4 (5): 213-219.

- Kitani, O.** 1999. GIRR Handbook of Agricultural Engineering, Vol. 5. Energy and Biomass Engineering, ASAE Publication St, Joseph MT. 330 pp.
- Kizilaslan, H.** 2009 Input-output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Appl. Energy* 86: 1354-1358.
- Koocheki, A., R. Ghorbani, F. Mondani, T. Alizade & R. Moradi.** 2011. Pulses Production Systems in Term of Energy Use Efficiency and Economical Analysis in Iran. *International Journal of Energy Economics and Policy* 1 (4): 95-106.
- LaSalle, T.J.** 2008. Regenerative Organic Farming: A solution to global Warming. Rodale Institute, disponible: http://www.rodaleinstitute.org/files/Rodale_Research_Paper-07_30_08.pdf. Último acceso agosto de 2013.
- Lacasta, C. & R. Meco,** 2000. Costes Energéticos y económicos de agroecosistemas de cereales considerando manejos convencionales y ecológicos. IV Congreso de la SEAE (Sociedad Española de Agricultura Ecológica), Córdoba.
- Lacasta, C. & R. Meco,** 2005. Manejo de agroecosistemas de cereales en secano. En Labrador, J., Porcuna, L & A. Bello. *Manual de Agricultura y Ganadería Ecológica*. Eumedica: 55-66.
- López, J.** 1990. Balances energéticos de la casería asturiana (1880-1983). En García, L. V., González, R., Sierra, J. M. y R. Fuente, R. (comp.). *Los espacios rurales cantábricos y su evolución*. Universidad de Cantabria/Asamblea Regional de Cantabria, pp. 69-80.
- MAFF.** 2000. Energy use in organic farming systems. En: Minister of Agriculture, Fisheries and Food, Research Policy and International Division, Final Reports Unit, MAFF, Area 6/01, UK. 21pp.
- Marakoglu, T. & K. Çarman.** 2010. Energy balance of direct seeding applications used in wheat production in middle Anatolia. *African Journal of Agricultural Research* 5 (10): 988-992.
- MARM.** 2011. Estadísticas de Agricultura Ecológica 2010. En: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría General de Medio Rural. Dirección General de Industria y Mercados Alimentarios. Subdirección General de Calidad Diferenciada y Agricultura Ecológica.
- Martínez Alier, J.** 2008. Languages of valuation. *Economic and Political Weekly* 29: 28-32.
- Meul, M., F. Nevens, D. Reheul & G. Hofman.** 2007. Energy use efficiency of specialised dairy, arable and pig farms in Flanders. *Ecosystems and Environment* 119: 135-144.
- Mobtaker, H.G., A. Keyhani, A. Mohammad, S. Rafiee & A. Akram.** 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan Province of Iran. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 367-372.
- Mohammadi, A. & M. Omid.** 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. *Apply Energy* 87: 191-196.
- Moreiras, O., A. Carbajal, L. Cabrera & C. Cuadrado.** 2005. Tablas de composición de alimentos. Madrid, Ediciones Pirámide.
- Naredo, J.M. & P. Campos.** 1980. Los Balances Energéticos de la Economía Español. *Agricultura y Sociedad* 15: 163-255.
- Necat, M. & H. Huseyin.** 2006. An Analysis of Energy Utilization for Sustainable Wheat and Cotton Production in Southeastern Anatolia Region of Turkey. *Journal of Sustainable Agriculture* 29(1): 119-130.
- Norton, B.G.** 1992. Sustainability, Human Welfare and Ecosystem Health. *Ecological Economics* 14 (2): 113 - 127.
- Odum, H.T.** 1967. *Energetic of World Food Agriculture*. The World Food Problem, Washington DC: The White House.
- Ozkan, B., H. Azcaoz & C. Fert.** 2004. Energy Input – Output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy* 29: 39-51.
- Ozkan, B., R. Figen & H. Kizialay.** 2011. Energy inputs and crop yield relationships in greenhouse winter crop tomato production. *Renewable Energy* 11 (35): 3217-3221
- Pellizzi, G.** 1992. Use of Energy and Labour in Italian Agriculture. *Journal Agric. Engng Res.* 52: 111-119.
- Pérez Neira, D.** 2010. Economía, Energía, Retomando el Debate. El Caso aplicado de la Agricultura y Ganadería en Andalucía. Doctoral Tesis, Universidad Internacional de Andalucía. 505 pp.
- Pimentel, D.** (editor). 1980. *Handbook of Energy Utilization in Agriculture*. Boca Raton FL, CRC. 475 pp.
- Pimentel, D., E. Hurd, A.L. Belloti, M.J. Forster, J.N. Oka, O.D. Sholes & R.J. Whitman.** 1973. Food production and the energy crisis. *Science* 182: 443-449.
- Roselló-Oltra, J., A. Domínguez & A. Gascón.** 2000. Comparación del Balance Energético y de los Costos Económicos en Cítricos y Hortícolas Valencianas en Cultivo Ecológico y Convencional. Córdoba: IV Congreso de la Sociedad Española de Agroecología y Agricultura Ecológica.
- Sarandón, S.** 2002. Agroecología: el camino hacia una agricultura sustentable. Ed. Científicas Americanas.
- Shahan, S., A. Jafari, H. Mobli, S. Rafiee & M. Karimi.** 2008. Energy use and economical analysis of wheat production in Iran: A case study from Ardabil province. *Journal of Agricultural Technology* 4 (1): 77-88.
- Shahin, S., A. Jafari, H. Mobli, S. Rafiee & M. Karimi.** 2008. Effect of Farm Size on Energy Ratio for Wheat Production: A Case Study from Ardabil Province of Iran. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3 (4): 604-608.
- Smith, L.G., A.G. Williams & B.D. Pearce.** 2013. The energy efficiency of organic agriculture: A review. *Renewable Agriculture and Food Systems*: 1-22
- Simón Fernández, X.** 1999. El análisis de los sistemas agrarios: una aportación económico-Ecológica a una realidad compleja. *Historia Agraria* 19: 115-136.
- Singh, S., J.P. Mittal & S.R. Verna.** 1997. Energy requirements for production of major crops in India. *Agricul. Mech Asia Agrican Latin Am. (AMA)* 28 (4): 7-13.
- Singh, H., A.K. Singh, H.L. Kushwala & A. Sing.** 2007. Energy consumption pattern of wheat production in India. *Energy* 32: 1848 – 1854.
- Soler Montiel, M., D. Pérez Neira & J. Molero Cortés.** 2009. Las Cuentas Económicas de la Agricultura y Ganadería Ecológica en Andalucía (2005). En González de Molina M, editor: *El desarrollo de la agricultura ecológica en Andalucía (2004-2007)*. Icaria Ediciones, Barcelona. 135-148pp

- Toufiq, I.** 2007. Energy Input and Output for Production of Boro Rice in Bangladesh. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 6 (5): 2144 – 2149.
- Topak, R., B. Acar & N. Ugurlu.** 2009. Analysis of Energy Use and Input Costs for Irrigation in Field Crop Production: A Case Study for the Konya Plain of Turkey. *Journal of Sustainable Agriculture* (33): 757-771.
- Tsatsarelis, C.A.** 1993. Energy Inputs and Outputs for soft winter wheat production in Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 43: 109-118
- Udo de Haes, H.A.** 2007. Life-cycle assessment for energy analysis and management. *Applied Energy* 84: 817-827.
- Venturi, P. & G. Venturi.** 2003. Analysis of Energy Comparison for Crops in European Agricultural Systems. *Biomass and Energy* 25: 235-255.
- Wackernagel, M. & W.E. Rees.** 1997. Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: economics from an ecological footprint perspective. *Ecological Economics* 20 (1): 3-24.
- West, T.O. & G.A. Marland.** 2002. Synthesis of carbon sequestration, carbon emission and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 217-232.
- Yilmaz, Y., H. Akcaoz & B. Ozkan.** 2005. An analysis of energy use and input-output costs for cotton production in Turkey. *Renew Energy* 30: 145-155.
- Ziaei, S.M., S.M. Mazlounzadeh & M. Jabbary.** 2015. A comparison of energy use and productivity of wheat and barley (case study). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*: 14: 19–25.
- Ziesemer, J.** 2007. Energy Use in Organic Food Systems. En: *Natural Resources Management and Environment Department Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Disponible: <http://www.fao.org/docs/eims/upload/233069/energy-use-0a.pdf>. Último acceso septiembre 2013.