

COMPARACIÓN DEL MODELO AGROINDUSTRIAL DE PRODUCCIÓN LÁCTEA CON UN MODELO AGROECOLÓGICO

Margarita Mediavilla, Grupo de Energía, Economía y Dinámica de Sistemas de la Universidad de Valladolid.

María del Carmen Bustillo Alonso, Belén Martínez Madrid, Departamento de Medicina y Cirugía Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad Complutense de Madrid.

BORRADOR

(Revisión diciembre 2016)

En este estudio se compara el rendimiento energético y económico de una ganadería lechera agroecológica con una agroindustrial ambas situadas en el mismo entorno geográfico (Valle del Cega, provincia de Valladolid) y con un número similar de animales. La ganadería ecológica estudiada no sólo prescinde del uso de abonos químicos, pesticidas y semillas modificadas genéticamente, sino que cumple con los principios de la agroecología: aprovechamiento de recursos locales, regeneración de suelos, cierre de ciclos, equilibrio con los ecosistemas, cuidado de la biodiversidad, trato digno de animales y personas, ciclos cortos de comercialización, etc.

El enfoque elegido se ha basado en la energía, puesto que, en estos momentos, resulta especialmente interesante estudiar la resiliencia de la ganadería frente al declive de la producción de petróleo. El llamado pico del petróleo (o *peak oil*) consiste en un estancamiento de la producción de petróleo y posterior declive que se prevé para la próxima década, que ya ha empezado a manifestarse desde 2006 con el estancamiento de la producción de petróleo convencional y la explotación de recursos de muy baja calidad (petróleo de arenas bituminosas, fractura hidráulica, etc.)¹. Las técnicas actuales de producción agroindustrial, basadas en insumos químicos y maquinaria, han conseguido desde los años 70 del siglo pasado aumentar espectacularmente los rendimientos, pero todo este aumento está en cuestión ante el pico del petróleo.

La agricultura es uno de los sectores más dependientes del petróleo, ya que la síntesis de los abonos químicos y pesticidas, la maquinaria, el riego y el transporte se llevan a cabo mayoritariamente con la energía de productos petrolíferos. Es previsible que un petróleo cada vez más escaso y difícil de extraer tenga como consecuencia el encarecimiento relativo de los insumos agrarios frente a los precios pagados por la producción, lo que pondría en cuestión la viabilidad del actual sistema de producción de alimentos.

Ante todo esto, cabe preguntarse si existen modelos alternativos que puedan producir lo suficiente para alimentar a la población mundial (que duplica ampliamente la de los años 70), reduciendo sustancialmente el uso de derivados del petróleo. Cada vez más hay más estudios e instituciones internacionales que afirman que las técnicas agroecológicas son la opción más sólida para enfrentarse a este reto² y los resultados de este estudio lo confirman.

Los datos analizados muestran que el modelo agroecológico estudiado tienen un consumo energético casi tres veces menor que el agroindustrial por litro de leche producida, lo que se traduce en una menor

¹ Agotamiento de los combustibles fósiles y escenarios socio-económicos, un enfoque integrado. Iñigo Capellán-Pérez, Margarita Mediavilla, Carlos de Castro, Óscar Carpintero, Luis Javier Miguel.
http://www.eis.uva.es/energiasostenible/?page_id=2216

² *Wake up before it's too late. Make agriculture truly sustainable now for food security in a changing climate.* United Nations Conference on Trade and Development UNCTAD, 2013.

dependencia de este modelo frente a eventuales aumentos de precio de los combustibles. Sin embargo, la ocupación de terreno en el modelo agroecológico triplica la del modelo agroindustrial, debido a que, al basarse en recursos locales y tierras de secano de baja calidad, necesita recurrir también a razas más rústicas y de baja producción. Las emisiones de gases de efecto invernadero por litro de leche producida son similares en ambos modelos, pero, si se tiene en cuenta la absorción de carbono debida a las técnicas de regeneración de suelos usadas en la ganadería agroecológica, este modelo tiene emisiones mucho menores e, incluso, puede convertirse en un sumidero neto de carbono.

Estos datos muestran que la viabilidad del actual modelo de ganadería de vacuno de leche en Castilla y León a medio y largo plazo está comprometida por su dependencia de la energía fósil y del uso hectáreas globales. Un modelo agroecológico de producción lechera basado sólo en las hectáreas locales es posible y puede resultar rentable a medio plazo debido al ahorro energético conseguido, pero a costa de una menor producción global en la región, ya que las hectáreas de la comunidad son muy insuficientes para sostener la producción actual en un contexto de combustibles fósiles en declive.

Descripción de las ganaderías estudiadas

El presente estudio analiza dos ganaderías de vacuno de leche de tamaño similar situadas en el mismo entorno geográfico (Valle del Cega, provincia de Valladolid) y se basa en estudios realizados anteriormente^{3 4}. Las características generales de ambas ganaderías se pueden ver en la tabla 1. Se observa que la ganadería agroindustrial se basa en una producción deslocalizada, con muy poca base territorial (sólo 4 ha propias), donde la alimentación del ganado depende de recursos externos y la leche se vende sin elaborar a la cooperativa Mesenor, que es a la que le compra la mayor parte de alimento para el ganado. Por otra parte la ganadería agroecológica (Cooperativa Crica) se basa en el cierre de todo el ciclo desde la tierra al consumidor, integrando la producción agraria, la ganadera, la elaboración y la distribución en la misma cooperativa.

La **tabla 2** compara la filosofía de ambas ganaderías e incluye algunas de las prácticas agroecológicas que la Cooperativa Crica ha experimentado y está utilizando con éxito: la gestión de pastos basada en el Pastoreo Racional Voisin (PRV)⁵, la siembra directa en las parcelas cultivadas apoyada en el ganado y el uso de policultivos cereal-leguminosa.

³ *Las Posibilidades de la Agricultura Ecológica: Caso de Estudio Granja Ecológica Crica*. Proyecto fin de Máster de Johana Andrea Villanueva Gómez. Máster en Desarrollo Económico Regional y Local y Gestión del Territorio, Universidad de Valladolid. Valladolid, 7 de Julio de 2014

⁴ *Veterinaria, agroecología y soberanía alimentaria: viabilidad y sostenibilidad del modelo productivo agroindustrial y agroecológico en el sector lechero*. Proyecto fin de grado, María del Carmen Bustillo Alonso, (dirección: Belén Martínez Madrid). Departamento de Medicina y Cirugía Animal, UCM, 2015.

⁵ Pastoreo Racional Voisin, Luis Carlos Pinheiro Machado, 2004. Editorial Hemisferio Sur.

	Ganadería agroindustrial	Ganadería agroecológica (Coop. Crica)
Número medio vacas en producción	23	29
Producción por vaca (l/año)	8.937	3.287
% Hembras que paren al año	64%	79%
Ha propias	4Ha cultivo	12Ha praderas + 50Ha cultivo + eriales 25Ha (no contabilizadas ⁶)
% Alimento externo	Prácticamente 100%	<10%
Elaboración y comercialización	No elaboración, comercialización por medio de cooperativa Mesenor	Elaboración propia y venta directa a consumidor

Tabla 1: Principales características de las ganaderías estudiadas.

Ganadería agroindustrial	Ganadería agroecológica (Coop. CRICA)
<ul style="list-style-type: none"> • Especialización • Animales alta producción (alimentación seleccionada, medicamentos, alta tasa de reposición, vida productiva corta) • Dependencia externa (elaboración, distribución, compra piensos) • Uso hectáreas globales (transporte) • Agricultura química (abonos químicos, herbicidas, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Autosuficiencia y diversificación de actividades: alimentación animal, elaboración, distribución, docencia, ... • Animales poco productivos pero bien adaptados a recursos locales. • Muy escasos insumos. • Mejoras agroecológicas: siembra directa, PRV, policultivo.

Tabla 2: Comparación de las prácticas de ambas ganaderías.

Para poder comparar la producción lechera de ambas ganaderías tomamos los datos de producción en el periodo de estudio (2011-2014) y corregimos con la calidad de la leche según el equivalente ECM ⁷. Las tablas 3, 4, 5 y 6 resumen los datos de ambas ganaderías en estos aspectos.

Litros producidos		
Año	Ganadería agroecológica (Coop. Crica)	Ganadería agroindustrial
2011	102408 litros	217863 litros
2012	105213,6 litros	223452 litros
2013	89076 litros	199578 litros
2014	96490,81 litros	190334 litros
Media anual	97812 litros	207807 litros

Tabla 3: Producción lechera en ambas ganaderías

⁶ La ganadería agroecológica hace uso de tierras de muy baja calidad (laderas, lindes) que han sido calificados como eriales y que no se han contabilizado en el cómputo de hectáreas utilizadas, ya que son terrenos de muy escasa productividad que no se usarían en el modelo agroindustrial. Son tierras que no se recuerda que nunca se hayan cultivado.

⁷ ECM= kilos de leche* (383*%grasa+242*%proteína+783,2)/3140. Los kilos son litros *1,03 (densidad media de la leche).

	Proteína (%)	Grasa (%)	ECM ganadería agroindustrial
2011	3,27	3,597	210993,8
2012	3,31	3,603	217275,4
2013	3,33	3,549	193021
2014	3,35	3,442	181807
media	3,315	3,548	200698,5

Tabla 4: Calidad de la leche y ECM en la ganadería agroindustrial.

	Proteína (%)	Grasa (%)	ECM ganadería agroecológica (coop. Crica)
2011	3,58	3,91	105718,41
2012	3,72	3,87	109255,26
2013	3,38	4,41	94045,09
2014	3,41	3,63	94911,72
Media	3,52	3,96	100982,62

Tabla 5: Calidad de la leche y ECM en la ganadería agroecológica.

	ECM agroecológica	ECM agroindustrial
2011	105718,41	210993,8018
2012	109255,26	217275,3933
2013	94045,09	193021,0069
2014	94911,72	181807,0355
Media	100982,62	200774,3094

Tabla 6. Producción lechera corregida por energía en ambas ganaderías

Este estudio intentará dilucidar hasta qué punto el modelo agroecológico es extensible a todo el sector, en base al análisis de cuatro factores:

1. Ocupación de tierra por litro de leche producida, con ambos modelos.
2. Energía fósil utilizada en la producción de un litro de leche, con ambos modelos.
3. Costes económicos por litro de leche producida, en ambos modelos.
4. Emisiones de gases de efecto invernadero por litro de leche producida (energéticas y no energéticas), en ambos modelos..

1. Ocupación de tierra por litro de leche producida

Para calcular las hectáreas requeridas en ambos modelos se estudiará la superficie necesaria para producir el alimento de los animales, tanto con alimentos producidos en la propia explotación como fuera de ella. El terreno destinado a las instalaciones y a otros usos es similar en ambas ganaderías y se puede considerar despreciable.

1.1. Ganadería agroecológica: hectáreas utilizadas

Las hectáreas utilizadas directamente en la cooperativa Crica son: 12 Ha de pastos, 35 Ha de forraje, 15 Ha de cereal y 25 Ha de eriales. En total, para realizar la comparación, contabilizamos 62 Ha tierras, dejando sin contabilizar las 25 Ha de eriales, ya que son tierras de muy baja calidad que el modelo agroindustrial no utilizaría (laderas, lindes) y que no se recuerda que nunca se hayan cultivado.

A mayores, la ganadería agroecológica utiliza las tierras necesarias para cultivar los alimentos producidos fuera de su granja que compra (generalmente a agricultores de Castilla y León). La tabla 7 resume los alimentos comprados fuera de la granja y las hectáreas necesarias para cultivarlos tomando los rendimientos de cada año en la región según las estadísticas de la Junta de Castilla y León ⁸

Alimentos externos en 2011	Kg	Ha/Kg	Ha externas
Heno alfalfa total	109407	0,00011764	12,8714
Sorgo-piper total	220	0,0005	0,11
Festuca heno total	19720	0,00016667	3,28666
Veza-sativa livia	2900	0,00014286	0,41428
Centeno gigante	465	0,00011111	0,0516
Total kilos externos 2011	132712	Total Ha 2011:	16,734
Alimentos externos en 2012	Kg	ha/Kg	Ha externas
Heno alfalfa	84742	0,000117647	9,96964
S orgo piper	30	0,000166667	0,005
Veza sativa	1670	0,000142857	0,23857
Festuca heno	9777	0,000166667	1,6295
Grana alfalfa	119	0,0005	0,0595
Ensilado trigo	9315	0,000105263	0,98052
Veza cumbre	1070	0,000142857	0,15285
Centeno gigante	500	0,000105263	0,05263
Total kilos externos 2012	107223	Total Ha 2012:	13,088
Alimentos externos en 2013	Kg	Ha/Kg	Ha externas
Heno alfalfa	22115	6,66667E-05	1,47433
Ensilado trigo	1034	0,0001	0,1034
Veza cumbre	930	0,0001	0,093
Veza buza	4120	0,0001	0,412
Total kilos externos 2013	28199	total Ha 2013:	2,082

⁸ <http://www.jcyl.es/web/jcyl/AgriculturaGanaderia/es/> Se toman las productividades del cultivo de secano excepto en el maíz.

Alimentos externos en 2014	Kg	Ha/Kg	Ha externas
Festuca heno	1350	0,000166667	0,225
Heno alfalfa	1400	0,000117647	0,16470
Veza	7994	0,000142857	1,142
Maíz ensilado	525	1,42857E-05	0,0075
Grana avena	970	0,0005	0,485
Total kilos externos 2014	12239	Total Ha 2014:	2,024

Tabla 7: Hectáreas necesarias para la producción de alimentos externos en la ganadería agroecológica.

Todo ello da unos ratios de hectáreas necesarias totales y hectáreas por litro de leche que se resumen en las tablas 8 y 9.

	Ha internas	Ha externas	Ha totales	Kg consumidos ex+in (sin pastos)
2011	62	16,73	78,73	265424
2012	62	13,09	75,09	224402
2013	62	2,08	64,08	178012
2014	62	2,02	64,02	157560

Tabla 8: Hectáreas externas e internas utilizadas en la ganadería agroecológica y Kg de piensos consumidos (los pastos no se pueden contabilizar).

	Ha totales por litro leche	Litros por Ha	ECM/Ha
2011	7,69E-04	1300,68	1342,73
2012	7,14E-04	1401,20	1455,02
2013	7,19E-04	1390,02	1467,56
2014	6,64E-04	1507,10	1482,43

Tabla 9: Litros por hectárea y hectáreas por litro en ganadería agroecológica (coop. Crica) .

1.2 Ganadería agroindustrial: hectáreas utilizadas

La alimentación del ganado de la ganadería agroindustrial se basa en piensos que compra a la cooperativa a la que pertenece el ganadero (situada en Carbonero el Mayor, Segovia) y que, asimismo, comercializa su leche. A mayores, compra alfalfa a agricultores locales, cultiva 4 Ha (2 de alfalfa y 2 de cereal) y utiliza para encamar la paja que producen agricultores vecinos en una serie de hectáreas que están entre 30 y 100, dependiendo de los años y que estimamos en una media de 50Ha. Parte del estiércol producido es, asimismo, dado a los agricultores que proporcionan la paja.

Esto hace que las hectáreas necesarias para su producción provengan de las siguientes fuentes:

- Ha cultivadas directamente.
- Ha necesarias para el cultivo de la mezcla de los piensos.

- Ha necesarias para el cultivo de la alfalfa que se compra a mayores.
- Ha necesarias para la paja para encamar.

	Kg alfalfa no mezcla	Ha alfalfa no mezcla	Ha propias	Ha paja cama	Kg mezcla	Ha mezcla	Ha alimentacion	Ha alimentacion + cama
2011	4860,00	0,38	4,00	25,00	212300,00	25,29	29,67	54,67
2012	0,00	0,00	4,00	25,00	224100,00	26,69	30,69	55,69
2013	3140,00	0,25	4,00	25,00	188660,00	22,47	26,72	51,72
2014	1580,00	0,12	4,00	25,00	194840,00	23,21	27,33	52,33
Medias					204975,00			53,60

En la tabla 10 se pueden ver los kilos de alimento utilizados y las hectáreas requeridas para la alimentación y cama de la ganadería agroindustrial.

Tabla 10: Kilos de alimentos utilizados en la ganadería agroindustrial y hectáreas utilizadas

Para calcular las hectáreas necesarias en el cultivo de la alfalfa comprada a mayores se han tomados datos de productividad medios en Castilla y León. En el cálculo de las hectáreas necesarias para el cultivo de los piensos se ha tomado la composición de los piensos y los rendimientos medios de las zonas donde cada componente se cultiva. En la tabla 11 se puede ver la composición de los piensos y la procedencia de los alimentos según los datos de la cooperativa fabricante de los mismos.

Ingredientes del pienso	Porcentaje y lugar de procedencia
Alfalfa deshidratada	40% (cultivo y procesamiento: Zaragoza y alrededores)
Maíz aplastado	14.5 %
Melaza de remolacha	6.5 %
Maíz (harina)	5.32% (grano, cultivo y procesamiento USA)
Trigo	4.725 % (en grano, lugar de cultivo: provincia de Segovia o Europa)
Girasol (harina)	4.55% (lugar de procesamiento Sevilla, cultivo Andalucía)
Cebada	4.4 % (en grano, lugar de cultivo: provincia de Segovia o Europa)
Gluten Feed	3.85% (lugar procesamiento Zaragoza, cultivo USA)
Cascarilla cacao	2.8% (Lugar de procesamiento Alicante, cultivo África)
Cuartas de trigo	2.8% (lugar de procesamiento: Ávila, cultivo: alrededores)

Soja 47	2.5% (Argentina)
Semilla de algodón	2.5% (lugar de procesamiento Sevilla, cultivo internacional)
Cascarilla de soja	1% (procedencia probablemente de Argentina)
Pulpa de remolacha	1.5% (procesamiento Olmedo, cultivo Castilla y León)
Harina de colza	1.13% (cultivo y procesamiento: Zaragoza y alrededores)
Otros: carbonato, urea, corrector vitamínico-mineral, sal, bicarbonato.	Sal —Alicante ; carbonato-Valladolid; corrector—Madrid; urea Y BICARBONATO—Madrid

Tabla 11: Composición y procedencia de los piensos utilizados en la alimentación de la ganadería agroindustrial.

El cálculo de las hectáreas necesarias en el cultivo de los alimentos de la mezcla se ha realizado tomando los datos que se pueden ver en la tabla 12. En cada producto ha sido necesario estimar la productividad media de la zona de procedencia y el porcentaje de aprovechamiento de cada producto, ya que muchos de los componentes son subproductos de otras producciones alimentarias. Hay que tener en cuenta la dificultad de obtener datos de la productividad de los cultivos, dada la disparidad de los países productores y las incertidumbres sobre la procedencia. En cuanto a los rendimientos de los subproductos utilizados en la fabricación de los piensos (harina de soja, aceite de girasol, gluten feed, etc.), se han calculado los valores en cada caso con datos de las propias empresas, aunque el grado de incertidumbre en algunos de ellos es elevado; por ello, los datos de la tabla 12 deben tomarse con cierta cautela.

Asimismo, se ha tomado en consideración las necesidades de paja para encamar, ya que se necesita una cantidad importante de la misma en esta ganadería. Al ser la paja un subproducto de la producción de cereales, se ha tomado la proporción correspondiente de tierra necesaria para la producción de la misma proporcional a la productividad de paja y grano en el cultivo del cereal. Aunque la proporción de paja y grano que se obtiene varía mucho de un año a otro, la media se sitúa en torno a un 50%⁹. La ganadería agroindustrial estudiada utiliza la paja de entre 30 y 100 hectáreas de agricultores vecinos (dependiendo de los años y pudiéndose situar la media en 50), por ello consideramos que las necesidades de tierra para cultivar esta paja son 25ha. A su vez el estiércol producido es dado a los agricultores que proporcionan la paja, con lo cual podemos considerar que esta ganadería no sólo produce leche sino también abono, lo cual será tomado en el cálculo de los balances energéticos, pero no en este apartado dedicado a la superficie por litro de leche.

Ingredientes del pienso	proporción (%100)	aprovechamiento (%1)	rendimiento(Kg/Ha)	Ha/Kg	Ha (Kg mezcla media 2011-14)
Alfalfa deshidratada	40,00	1,11	14769,81	3,01E-05	6,162
Maíz aplastado grano	14,50	1,00	9384,85	1,55E-05	3,167
Melaza de	6,50	0,03	80000,00	2,44E-08	0,005

⁹ Análisis de ciclo de vida de combustibles alternativos para el transporte. Fase I. Análisis de Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina. Yolanda Lechón, Helena Cabal, Carmen Lago, Cristina de la Rúa, Rosa M^a Sáez, Montserrat Fernández. CIEMAT 2005.

remolacha					
Harina de maíz	5,32	1,00	9384,85	5,67E-06	1,162
Trigo grano	4,73	1,00	2849,13	1,66E-05	3,399
Girasol (harina)	4,55	0,30	791,90	1,72E-05	3,533
Cebada grano	4,40	1,00	2780,81	1,58E-05	3,243
Gluten feed (maíz)	3,85	0,16	9384,85	6,56E-07	0,135
Cuartas de trigo	2,50	0,25	2849,13	2,19E-06	0,450
Cascarilla cacao	2,80	0,06	9384,85	1,79E-07	0,037
Soja 47 (harina)	2,50	0,60	2300,00	6,52E-06	1,337
Semilla algodón	2,50	0,60	2800,00	5,36E-06	1,098
Pulpa de remolacha	1,50	0,05	80000,00	9,38E-09	0,002
Harina de colza	1,13	0,60	2033,05	3,33E-06	0,684
Otros	5,72				
			total Ha/Kg mezcla:	1,19E-04	

Tabla 12: Composición de los piensos y hectáreas necesarias para el cultivo del pienso para la ganadería agroindustrial.

Todo esto da unos ratios de producción lechera por hectárea que se pueden ver en la tabla 13.

	ECM/Ha sin paja	ECM/Ha con paja para cama
2011,00	7111,59	3859,48
2012,00	7079,57	3901,48
2013,00	7224,49	3732,21
2014,00	6652,19	3474,21
media	7016,96	3741,85

Tabla 13: producción de leche (ECM) por hectárea en la ganadería agroindustrial

1.3 Comparación de ambos modelos: hectáreas utilizadas

Podemos comparar los resultados de la tabla 13 con los de la tabla 9 y calcular el ratio de tierras necesarias en la ganadería agroecológica comparado con la agroindustrial (ver tabla 14).

	Agroind. ECM/Ha sin	Agroind. ECM/Ha con paja	Agroecolog. ECM/Ha	ratio ecológ/indust. (ECM/Ha) con paja	Ratio ecológ/ind.
--	----------------------------	---------------------------------	---------------------------	---	--------------------------

	paja				(ECM/Ha) sin paja
2011,00	7111,59	3859,48	1376,74	0,36	0,194
2012,00	7079,57	3901,48	1455,02	0,37	0,206
2013,00	7224,49	3732,21	1467,56	0,39	0,203
2014,00	6652,19	3474,21	1482,43	0,43	0,223
media	7016,96	3741,85	1445,44	0,39	0,206

Tabla 14: Comparación de ambos modelos de producción en términos de hectáreas utilizadas.

Se aprecia que la ganadería agroecológica produce un 39% de lo que produce la agroindustrial por hectárea utilizada (menos de la mitad) y hay que tener en cuenta que gran parte de las hectáreas necesarias en la ganadería agroindustrial se deben a la paja para encamar que, estrictamente, no se utiliza en la producción (aunque no usarla tendría consecuencias ambientales muy negativas). Esto se debe a que las vacas de la ganadería ecológica producen prácticamente la mitad de litros de leche por cabeza que las de la ganadería agroindustrial, ya que la ganadería agroecológica recurre a cruces con razas rústicas (cruces de Parda Alpina con Frisona), menos productoras, pero mejor adaptadas a una alimentación basada en recursos locales.

Sin embargo, también hay que tener en cuenta que la mayor parte de los alimentos utilizados en el modelo agroindustrial proceden de hectáreas de alta productividad y muchas de ellas de regadío (maíz, remolacha, etc.) mientras que las hectáreas utilizadas por la ganadería Crica se encuentran en una zona de tierras de productividad media-baja con suelos arenosos y muy bajo contenido medio en materia orgánica (con medias que rondan el 0,5% en la comarca). También se observa que Crica ha mejorado su producción por hectárea en los últimos años (probablemente debido al mejor aprovechamiento de rastrojos y eriales que ha introducido).

La experiencia de la cooperativa Crica (ganadería agroecológica) pone de manifiesto que conseguir una producción lechera en base estrictamente a los recursos que pueden encontrarse en zonas de secano del centro de Castilla y León requiere una cantidad de hectáreas mucho mayor que la que actualmente se está utilizando en el modelo agroindustrial; sin embargo, gran parte de las hectáreas que actualmente se utilizan para obtener la alimentación animal en este modelo de producción intensiva, se encuentran en otros países. Esta disminución de la productividad de la ganadería ecológica no se debe fundamentalmente al hecho de que el cultivo de vegetales en ecológico tenga rendimientos menores, ya que los estudios sobre los rendimientos del cereal en climas semiáridos como los del centro de España únicamente son del orden de un 20% menores por hectárea a los del agroindustrial¹⁰ y la productividad de las tierras de cultivo de la cooperativa Crica es actualmente similar a la de los agricultores vecinos¹¹.

La baja productividad de la ganadería ecológica se debe, sobre todo, a la dificultad de mantener ganaderías de alto rendimiento en base a los recursos que pueden obtenerse en zonas de secano. **La ganadería de vacuno de leche de Castilla y León está basando su alta productividad en el uso de recursos importados, lo que quiere decir que en un contexto de escasez energética que requiriese**

¹⁰ Rainfed crop energy balance of different farming systems and crop rotations in a semi-arid environment: Results of a long-term trial. M.M. Moreno, C. Lacasta, R. Meco, C. Moreno. Soil & Tillage Research 114 (2011) 18–27.

¹¹ No se tienen datos de esto debido a la dificultad de comparar la producción de policultivo veza-avena-cebada, que es habitualmente cultivada por la cooperativa Crica con la producción agroindustrial de monocultivos de la zona. Sin embargo, los miembros de la cooperativa indican que la productividad por hectárea que tuvieron en los primeros años de conversión a la agricultura ecológica era habitualmente la mitad de la de los campos vecinos, pero con el tiempo las tierras han ido mejorando debido al manejo ecológico y actualmente no existen diferencias significativas.

volver a una producción estrictamente local, la producción de alimentos de origen animal debería reducirse. Sin embargo, también es preciso tener en cuenta que el consumo de alimentos de origen animal en nuestro país dobla los consumos recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

2. Energía fósil utilizada en ambos modelos

Para calcular la energía utilizada en la producción de leche de ambos modelos vamos a estudiar el proceso de producción desde el cultivo de la tierra para el alimento del ganado hasta el momento en que la leche está disponible para su procesamiento. Por ello estudiaremos el consumo de energía en el cultivo de alimentos, en el transporte de los mismos a la granja, en las labores de acarreo y gestión de la granja y en el transporte de la leche hasta la quesería. No vamos a considerar la energía del procesamiento de los piensos (secado, molienda, etc.) en ninguno de los modelos, ya que no ha sido posible hallar datos de estos procesos¹².

2.1 Datos de partida

Es difícil encontrar datos acerca del consumo energético de los cultivos agrícolas, ya que éstos no son recogidos por las administraciones públicas (como lo son las producciones o la cantidad de maquinaria) y solamente contamos con estudios de campo. Para estimar la energía requerida en las labores agrícolas de cereales tomaremos los estudios que se han realizado sobre cultivos de secano en España (Ciemat¹³, Moreno y col.¹⁴, Aguilera¹⁵) y maíz y soja en EEUU (Pimentel¹⁶). El estudio de Aguilera es, probablemente, el que mejor estima la energía embebida en las labores agrícolas porque hace un análisis de todo el combustible requerido para el acarreo de la maquinaria, las labores preparatorias, etc. Sin embargo, al realizarse sobre una zona de muy bajos rendimientos, donde el consumo de fertilizantes es extraordinariamente bajo, subestima la energía embebida en el uso de fertilizantes químicos.

Para el cultivo de cereal de secano el estudio del Ciemat da el dato de 8758 MJ/ha para el consumo del trigo de secano y para la cebada de secano 6558 MJ/ha. Si hacemos una estimación mixta Ciemat-Aguilera tomando el consumo de la maquinaria según el estudio de Aguilera y el consumo de abonos de CIEMAT tenemos una estimación de 12296 MJ/ha para la cebada y 14278 MJ/ha para el trigo. El estudio de Moreno y col. da unos valores para el cultivo de la cebada entre 16670 MJ/ha y 8150 MJ/ha (según diferentes tipos de rotaciones de cultivos), que se parecen más a los valores de la estimación mixta Ciemat-Aguilera. Este estudio, sin embargo, no da estimaciones para el trigo. Por ello vamos a tomar los datos de la estimación mixta Ciemat-Aguilera para el cultivo de la cebada y el trigo.

Para el cultivo del maíz se han tomado los datos de Pimentel, que ofrece el valor de 8115000 kcal/ha (33975 MJ/ha) para el maíz en EEUU y 3746000 kcal/ha (15683 MJ/ha) para la soja. No tenemos datos

¹² Está prevista una mejora de estos datos utilizando bases de datos de análisis de ciclo de vida.

¹³ ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS PARA EL TRANSPORTE. Fase I. Análisis de Ciclo de Vida comparativo del etanol de cereales y de la gasolina. Yolanda Lechón, Helena Cabal, Carmen Lago, Cristina de la Rúa, Rosa M^a Sáez, Montserrat Fernández. CIEMAT 2005.

¹⁴ Rainfed crop energy balance of different farming systems and crop rotations in a semi-arid environment: Results of a long-term trial. M.M. Moreno, C. Lacasta, R. Meco, C. Moreno. Soil & Tillage Research 114 (2011) 18–27.

¹⁵ Hacia la autosuficiencia energética en el cereal de secano. Un estudio de caso en Orce (Granada).

Tesis doctoral de Eduardo Aguilera Fernández, Universidad Internacional de Andalucía, 2009.

¹⁶ Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower David Pimentel and Tad W. Patzek. Natural Resources Research, Vol. 14, No. 1, March 2005

de la energía del cultivo de la alfalfa, por ello la tomamos igual a la del trigo. Esto debe revisarse ya que la alfalfa no es un cultivo especialmente intensivo en energía y es una buena proporción del pienso. Para otros cultivos que se encuentran en poca cantidad en el pienso, se han tomado datos similares a los del maíz o del trigo, según sean cultivos más o menos intensivos.

Los datos de consumo energético se van a traducir a litros de gasóleo, ya que éste es el combustible más utilizado en todas las etapas de la producción, a pesar de que una parte se debe a la energía de los fertilizantes o la amortización de la maquinaria.

No tenemos datos sobre la energía embebida en el procesamiento de los productos para fabricación del pienso. Todo esto hace que tengamos una indeterminación en el cálculo de la energía embebida en el modelo agroindustrial, que se ha tendido a estimar a la baja.

La energía necesaria para el transporte de los componentes de los piensos y del pienso mismo la calculamos en base a los datos del estudio de Sanz y col.¹⁷. Según este estudio, el consumo de mercancías requiere $2,8 \text{ kep}/100 \text{ ton-km}$, ($2,94 \text{ e-5}$ litros gasóleo/ Kg/km) para el transporte por camión y $1,15 \text{ kep}/100 \text{ t-km}$ ($1,2075 \text{ e-5}$ litros gasóleo/ Kg km) para el transporte por barco. El puerto de Algeciras es el mayor de España en volumen de transporte y el más utilizado en los intercambios con América, por ello suponemos que el maíz, la soja y otros cultivos internacionales llegan a través de este puerto.

2.2 Ganadería agroecológica: energía fósil utilizada

En el caso de la ganadería ecológica es sencillo calcular el consumo energético, ya que éste proviene básicamente de la energía consumida en la propia granja en forma de gasóleo. La electricidad utilizada en la producción de leche es similar en ambos modelos y no va a ser contabilizada en ninguna de las dos ganaderías. En la tabla 15 se muestra el consumo de gasóleo total en la granja en los años 2011-2013. El consumo de la caldera y la furgoneta se deben a las actividades de pasteurizado y procesamiento de la leche y transporte de productos elaborados respectivamente, por ello estos datos no van a ser tenidos en cuenta. El combustible del tractor se dedica íntegramente a las labores necesarias para la producción de leche o cultivo de alimentos en la granja y será el utilizado en este estudio. No contamos con datos de consumo del año 2014, tomaremos para ese año un consumo igual al del año anterior.

¹⁷ Cuentas ecológicas del transporte en España. Alfonso Sanz, Pilar Vega y Miguel Mateos. Libros en Acción, octubre 2014.

Carburante 2011 (litros)			Carburante 2012 (litros)			Carburante 2013 (litros)		
Gasoleo A	Gasoleo B		Gasoleo A	Gasoleo B		Gasoleo A	Gasoleo B	
Furgoneta	Caldera	Tractor	Furgoneta	Caldera	Tractor	Furgoneta	Caldera	Tractor
862,00	1000,00	970,00	14,69	1000,00	1070,00	923,00	1000,00	1479,00
27,91		801,00	905,00	1000,00	100,00	68,97	1000,00	32,00
56,14	1000,00	100,00	43,48	1000,00	600,00	951,00	1000,00	
66,46	1000,00	1821,00	770,00	1000,00	183,00	912,00	1000,00	1049,00
904,00	1000,00	1000,00	78,71	1000,00		1000,00	1000,00	
56,27		920,00	928,00	1000,00	500,00	938,00	1000,00	43,00
23,60	1000,00	93,00	13,79			940,00		
929,00			858,00			34,79		
45,31			21,74			791,00		
1000,00			1018,00					
12,19			1023,00					
89,69			14,31					
71,10			750,00					
124,56			14,75					
1101,00			1000,00					
515,01			45,66					
177,69								
284,82								
204,43								
39,17								
287,98								
77,89								
182,43								
77,88								
344,53								
7561,06	5000,00	5705,00	7499,13	6000,00	2453,00	6558,76	6000,00	2603,00
TOTAL			TOTAL			TOTAL		

Tabla 15: Consumo de energía dentro de la granja agroecológica.

Se aprecia claramente en la tabla 15 que en los dos últimos años el consumo de gasóleo ha bajado a la mitad en la cooperativa Crica esto se debe a la introducción en esos años del método de cultivo basado en la siembra directa. Este es un resultado muy notable, ya que el tractor se utiliza para todos los trabajos de la granja y el hecho de que dejar de levantar la tierra cause un ahorro tan grande pone de manifiesto hasta qué punto la siembra directa (especialmente cuando se realiza sin insumos químicos) es una de las mejores técnicas para el ahorro energético en la agricultura.

Además de este consumo directo del tractor, existen otros dos que intervienen en la producción de la ganadería agroecológica: el consumo de la maquinaria alquilada para la cosecha y la energía embebida en los alimentos comprados. Para el cálculo de la energía requerida por los trabajos externos (siega y empacado) se ha tomado el dato dado por la empresa habitualmente contratada por la cooperativa Crica (10 litros gasóleo /Ha para la cosecha y 15 litros gasóleo/Ha para el empacado). Estas tareas se contratan anualmente sobre las 15Ha de cereal (empacado y cosecha) y las 35Ha de forraje (empacado). El resto de las hectáreas son pastadas o bien se trabajan con maquinaria de la granja.

La energía embebida en el cultivo y transporte de los alimentos comprados por la ganadería agroecológica y la energía total utilizada para la producción lechera se muestran en las tablas 16 y 17. Para el cálculo de los consumos relativos al cultivo se han tomado las hectáreas calculadas en el apartado 1 y se han aplicado los consumos energéticos por hectárea descritos en el apartado 2.1 (Ciemat-Aguilera). El transporte de los alimentos ha sido calculado teniendo en cuenta la procedencia y los factores citados en el apartado 2.1.

	Directo tractor	Maquinaria externa	Amortización maquinaria	total
2011	5705	873	147	6725
2012	2453	873	147	3473
2013	2603	873	147	3623
2014	2603	873	147	3623

Tabla 16: Consumo de energía (litros de gasóleo) en el cultivo de alimentos dentro de la granja agroecológica.

	Interno (litros gasóleo)	Alimentos externos (Kg)	Ex. cultivo (l. gasóleo)	Ex. portes (l. gasóleo)	Total (l. gasóleo)
2011	6725	132712	1198,28	1129,05	9052,34
2012	3473	107223	1098,45	912,20	5483,66
2013	3623	28199	259,76	239,90	4122,67
2014	3623	12239	118,46	104,12	3845,59

Tabla 17: Consumo energía (litros de gasóleo) en el cultivo y transporte de alimentos dentro y fuera de la granja agroecológica y kilos de alimentos comprados.

2.3 Ganadería agroindustrial: energía fósil utilizada

En el caso de la ganadería agroindustrial los principales consumo energéticos son los siguientes:

- Energía necesaria para el cultivo de las hectáreas propias.
- Energía necesaria para el cultivo de los alimentos que intervienen en los piensos.
- Energía para el cultivo de la alfalfa comprada que no forma parte de los piensos.
- Energía para el cultivo de la paja utilizada como cama.
- Energía para el transporte de los componentes del pienso desde su lugar de cultivo hasta su lugar de procesamiento (si lo tienen) y hasta Carbonero el Mayor.
- Energía del procesamiento de los piensos (no se tiene en cuenta por falta de datos).
- Energía del transporte del pienso desde Carbonero el Mayor hasta la ganadería.
- Energía consumida por la maquinaria de la granja.
- Energía para el transporte de la leche desde la ganadería hasta la empresa de procesamiento.

Como salida de energía de la ganadería agroindustrial tenemos la energía contenida en el estiércol exportado. El balance energético que tiene en cuenta esta energía será estudiado en el apartado 3, en este apartado, sin embargo nos vamos a centrar en el consumo energético fósil, ignorando la energía del estiércol.

La energía consumida dentro de la ganadería agroindustrial (consumo del tractor) se puede ver en la tabla 18, en ella se incluye la energía para el cultivo de las 4 hectáreas propias (que se realiza con el propio tractor). También en la tabla 18 se puede ver la energía para el cultivo de la alfalfa consumida a mayores en la alimentación del ganado y la paja para encamar.

	Consumo tractor (l.gasóleo)	Cultivo alfalfa a mayores (l.gasóleo)	Cultivo paja encamar (l.gasóleo)
2011	6073,00	65,81	7070,2
2012	6618,00	0,00	7070,2
2013	9194,00	42,52	7070,2
2014	3413,00	21,39	7070,2

Tabla 18: Consumo de energía directa en la maquinaria de la ganadería agroindustrial, embebido en la alfalfa comprada a mayores y necesario para el cultivo de la paja para encamar (litros de gasóleo).

La energía utilizada en el cultivo de los alimentos que componen los piensos se ha calculado en función de las hectáreas necesarias y los datos de la sección 2.1. Los resultados se pueden ver en la tabla 19, donde también se puede ver una estimación de los litros de gasóleo que cada producto requeriría utilizando el consumo medio de piensos de los años estudiados.

Ingredientes del pienso	% en mezcla	Ha producto/Kg mezcla	L gasóleo cultivo/Kg mezcla	L gasóleo cultivo (Kg mezcla media 2011-14)
Alfalfa deshidratada	40	3,00613E-05	0,0060	1232,4
Maíz aplastado grano	14,5	1,54504E-05	0,0121	2482,9
Melaza de remolacha	6,5	2,4375E-08	0,0000	3,9
Harina de maíz	5,32	5,66871E-06	0,0044	911,0
Trigo grano	4,72	1,6584E-05	0,0054	1116,3
Girasol (harina)	4,55	1,72369E-05	0,0057	1160,3
Cebada grano	4,4	1,58227E-05	0,0045	917,2
Gluten feed (maíz)	3,85	6,56377E-07	0,0005	105,5
Cuartas de trigo	2,5	2,19365E-06	0,0007	147,7
Cascarilla cacao	2,8	1,79012E-07	0,0000	5,5
Soja 47 (harina)	2,5	6,52174E-06	0,0024	482,2
Semilla algodón	2,5	5,35714E-06	0,0018	360,6
Pulpa de remolacha	1,5	9,375E-09	0,0000	1,5
Harina de colza	1,13	3,33489E-06	0,0011	224,5
	litros g. cultivo /Kg mezcla total		0,04464638	

Tabla 19. Energía utilizada en el cultivo de los productos de los piensos usados en la ganadería agroindustrial (litros de gasóleo).

Se puede ver que el consumo de energía más importante es el debido al cultivo del maíz (que es un 14% de la mezcla), a pesar de no ser el elemento que se encuentra en más proporción (lo es la alfalfa con un 40%). Con estos datos se puede calcular consumo de energía para el cultivo de los piensos (tabla 20).

	Kg mezcla	Litros gasóleo cultivo mezcla
2011	212300	9478,43
2012	224100	10005,25
2013	188660	8422,98
2014	194840	8698,90

Tabla 20: Energía para el cultivo de los piensos usados en la ganadería agroindustrial.

Ingredientes del pienso	Procedencia	Kg/Kg mezcla	Km camión	Km barco	Gasóleo camión/Kg mezcla	Gasóleo barco/Kg mezcla	Total gasóleo/Kg mezcla	Total gasóleo (media 2011-14)
Alfalfa deshidratada	Zaragoza (procesado) y cultivo cercano	0,444	420		0,012	0,000	5,5E-03	1123,78
Maíz aplastado grano	USA	0,145	2700	5840	0,079	0,065	2,1E-02	4303,30
Melaza de remolacha	Olmedo	0,00195	40		0,001	0,000	2,3E-06	0,47
Harina de maíz	USA	0,0532	2700	5840	0,079	0,065	7,7E-03	1578,87
Trigo grano	Segovia (o importado)	0,04725	50		0,001	0,000	6,9E-05	14,24
Girasol (harina)	Sevilla (procesado)	0,01365	630		0,019	0,000	2,5E-04	51,82
Cebada grano	Segovia (o importado)	0,044	50		0,001	0,000	6,5E-05	13,26
Gluten feed (maíz)	Zaragoza procesamiento, cultivo USA	0,00616	3080	5840	0,091	0,065	9,6E-04	196,92
Cuartas de trigo	Ávila	0,00625	143		0,004		2,6E-05	5,39
Cascarilla cacao	Alicante procesamiento, cultivo africano	0,00168	545	5000	0,016	0,056	1,2E-04	24,80
Soja 47 (harina)	Argentina	0,015	1280	9600	0,038	0,108	2,2E-03	446,29
Semilla algodón	Sevilla (procesamiento) cultivo USA	0,015	2700	5840	0,079	0,065	2,2E-03	445,17
Pulpa de remolacha	Olmedo	0,00075	40		0,001	0,000	8,8E-07	0,18
Harina de colza	Zaragoza (procesado), cultivo alrededores	0,00678	420		0,012	0,000	8,4E-05	17,16
						total litros g. transporte/Kg mezcla=	0,0401	

Tabla 21: Consumo de energía para el transporte de los alimentos que componen el pienso de la ganadería agroindustrial.

La energía necesaria para el transporte de los productos que componen los piensos se ha calculado en base a la composición de los mismos, teniendo en cuenta el lugar de cultivo y procesamiento. Los resultados se pueden ver en la tabla 21. Hay que tener en cuenta que existe mucha indeterminación en torno al lugar de procedencia de los cultivos. Para cultivos considerados locales se ha tomado un radio de 50Km y para los cultivos internacionales se han tomado las distancias entre puertos y lugares de procesamiento pero ésta es una estimación conservadora ya que es probable que los productos hagan recorridos mayores entre centros de distribución, almacenes, etc. En la tabla 21 también se puede ver una estimación de los litros de gasóleo que cada producto requeriría utilizando el consumo medio de piensos de los años estudiados.

También en el caso del transporte se puede ver que el maíz y sus subproductos son los componentes que más energía requieren. En la tabla 22 se puede ver el consumo resultante, año a año, debido al transporte necesario para la fabricación de los piensos de la ganadería agroindustrial.

	Kg mezcla (Kg)	Energía portes mezcla (litros gasóleo)
2011	212300	8515,45
2012	224100	8988,75
2013	188660	7567,24
2014	194840	7815,12

Tabla 22: Consumo de energía para el transporte de los piensos consumidos en la ganadería agroindustrial.

En el consumo de energía de la ganadería agroindustrial debemos sumar el transporte de los piensos desde la fábrica a la ganadería y el de la leche hasta la fábrica de lácteos. El ganadero compra de media un camión de 10000 Kg de pienso cada 20 días, lo que hace 515,1 litros de gasóleo al año teniendo en cuenta los 48 kilómetros de distancia, los ratios de transporte de mercancías de la sección 2.1 (2,94 e-5 litros gasóleo/Kg/km) y que el viaje de vuelta se hace en vacío.

La leche producida en la ganadería agroindustrial se lleva cada dos días a la quesería situada en Valladolid. El mismo camión recoge la leche de 18 ganaderos de la zona, lo que supone alrededor de 240Km de viaje. Tomando un consumo medio de 25 litros/100Km esto supone un consumo aproximado de 730 litros de gasóleo al año (por ganadero). Todos estos datos se resumen en la tabla 23.

	Consumo tractor	Cultivo alfalfa a mayores	Cultivo paja encamar	Cultivo pienso	Portes fabricación pienso	Portes pienso	Portes leche	Total energía (sin paja)	Total energía (con paja)
2011	6073,00	65,81	7070,2	9478,43	8515,45	515,09	730	25377,77	32447,97
2012	6618,00	0,00	7070,2	10005,25	8988,75	515,09	730	26857,09	33927,29
2013	9194,00	42,52	7070,2	8422,99	7567,24	515,09	730	26471,83	33542,03
2014	3413,00	21,39	7070,2	8698,90	7815,12	515,09	730	21193,50	28263,70

Tabla 23: Consumo total de energía en la ganadería agroindustrial para la producción de leche (litros de gasóleo).

Se puede ver que el consumo energético debido al cultivo de la paja para encamar es muy elevado. Debido a que la paja para encamar puede considerarse o no como un residuo, hemos separado este consumo en el cálculo.

2.4 Comparación de ambos modelos: energía fósil utilizada

Podemos comparar los datos de las secciones anteriores dividiendo la energía consumida entre la leche (ECM) producida. Los resultados se pueden ver en la tabla 24 donde se ha calculado el ratio del consumo por litro de leche producido entre una ganadería y otra, tanto incluyendo la paja del modelo agroindustrial como sin incluirla. También se ha realizado el ratio, tomando para la Cooperativa Crica, no las medias de los cuatro años, sino el consumo del último año, ya que la introducción de la siembra directa y otros métodos de manejo ha reducido significativamente su consumo energético.

Se puede ver en la tabla 24 que **en términos energéticos la ganadería agroecológica es netamente superior a la agroindustrial y está consiguiendo unos consumos energéticos casi tres veces menores por litro de leche producido**. Si se tiene también en cuenta la paja para encamar se llega a un consumo energético por litro de leche casi 4 veces menor.

	Energía/ECM agroindustrial (sin paja)	Energía/ECM agroindustrial (con paja)		Energía/ECM agroecológico
2011	0,12	0,15		0,086
2012	0,12	0,16		0,050
2013	0,14	0,17		0,044
2014	0,12	0,16		0,041
media:	0,12	0,16		0,055
	ratio por ECM agroindust. / agroec. (sin paja) :	2,26	ratio agroindust./agroec. (con paja)	2,90
	ratio por ECM rafa/agroec. últimos años (sin paja):	2,88	ratio agroindust./agroec. últimos años (con paja)	3,94

Tabla 24: Comparación de los dos modelos de producción en términos de la energía necesaria por litro de leche (ECM) producido (litros de gasóleo).

En las tablas 25 y 26 podemos ver la estructura de los consumos energéticos en ambas ganaderías. El consumo directamente realizado en el tractor de la granja agroindustrial es un 30% mayor que el de la agroecológica (a pesar de que ésta tiene muchas más hectáreas de cultivo). En la ganadería agroecológica puede verse que la mayor parte de consumo se debe al tractor, siendo la energía destinada al cultivo y transporte de alimentos externos menor de un 20% en total y, aunque no se aprecia en la tabla 26, estos porcentajes han bajado notablemente en los últimos dos años (ver tabla 17).

	Tractor directo	Cultivos externos	Transporte	Paja	Total
Litros gasóleo (media 2011-14)	6324,50	9183,82	9466,73	7070,20	32045,25
Porcentaje (incluyendo paja en el total)	19,7%	28,7%	29,5%	22,1%	

Tabla 25: Estructura de los consumos de energía en la ganadería agroindustrial (litros de gasoil).

	Tractor directo	Cultivo externos	Transporte	Total
Litros gasóleo (medias 2011-14)	4361,00	668,74	596,32	5626,06
porcentaje	77,51%	11,89%	10,60%	

Tabla 26: Estructura de los consumos de energía en la ganadería agroecológica.

2.5 Balance energético

Los balances energéticos son una herramienta muy útil a la hora de analizar los rendimientos de un proceso y son utilizados ampliamente en la economía ecológica. Un estudio completo de este tipo aplicado a nuestras dos ganaderías requeriría analizar todo tipo de entradas y salidas de energía de las explotaciones (trabajo humano, energía de los materiales, infraestructuras, etc.). Este estudio no se plantea un objetivo tan ambicioso, pero sí quiere dar una estimación de cuál podría ser la balance energético de las ganaderías tomando las entradas y salidas más importantes de energía que son los productos (leche y estiércol en el caso de la ganadería agroindustrial) y las entradas energéticas ya calculadas. El balance se calcula dividiendo la suma de la energía de los outputs (leche+estiércol) entre la energía de los inputs (gasóleo).

En la tabla 27 podemos ver el balance energético de ambas ganaderías. Se ha calculado teniendo en cuenta las kilocalorías obtenidas del consumo de leche (640 Kcal por litro de leche) y las utilizadas (10349 kcal por litro de gasóleo). En este cálculo también se han tomado en cuenta las kilocalorías contenidas en el estiércol exportado en la ganadería agroindustrial, que exporta una media de 330 toneladas de estiércol al año (no contamos con datos detallados de cada año y sólo hemos podido conseguir aproximaciones de estos datos). Tomando una media de 80kcal/kg de estiércol esto nos arroja una cifra de 3069,76 litros de gasoil equivalentes (equivalencia energética del gasoil en 8600kcal/litro).

Se puede ver que **el modelo agroindustrial tiene un ratio menor que 1, es decir, la actividad ganadera se convierte en un sumidero de energía en lugar de una fuente**. En la ganadería agroecológica el ratio era menor que 1 en 2011, pero consigue llegar a 1,5 en 2014, por lo que **la ganadería agroecológica Crica se ha convertido en los últimos años en una fuente de energía**. El hecho de que el balance energético sea menor que uno en el modelo agroindustrial no es tan alarmante en el caso de la leche, que es un alimento netamente proteico, como lo es para los granos básicos, pero pone de manifiesto la insostenibilidad del actual sistema agroalimentario, como denuncian los estudios de Naredo y Carpintero¹⁸.

¹⁸ Sobre la evolución de los balances energéticos de la agricultura española, 1950-2000. Óscar Carpintero y José Manuel Naredo. HISTORIA AGRARIA · n.º 40 · Diciembre 2006 · pp. 531-554.

	Agroecológica out leche/in total	Agroindustrial out leche/in total (sin paja)	Agroindustrial out leche/in total (con paja)
2011	0,72	0,51	0,40
2012	1,23	0,50	0,40
2013	1,41	0,45	0,36
2014	1,53	0,53	0,40

Tabla 27: Balance energético de ambos modelos de producción ganadera (kcal obtenidas por el consumo de leche / kcal totales usadas en la producción). En rojo balances menores de uno, por tanto sumideros de energía

	Ganadería agroindustrial incluida)	Ganadería agroecológica
coste energía por ECM (litro gasóleo a 0,8 euros/litro)	0,127	0,044
coste energía por ECM (litro gasóleo a 1,6 euros/litro)	0,255	0,088
coste energía por ECM (litro gasóleo a 2,4 euros/litro)	0,383	0,132

Tabla 28: Estimación del coste económico de la energía necesaria para la producción de un litro de leche (ECM) en ambos modelos para diferentes valores del precio del gasóleo.

La mayor eficiencia energética de la ganadería agroecológica se traduce en un ahorro económico considerable y en una mayor resiliencia de la misma frente a las eventuales subidas del precio de los combustibles. Como se puede ver en la tabla 28, el coste de la energía imbuida en todo el proceso de producción, a los precios actuales del gasóleo, es casi la mitad del precio al que se está pagando por la leche (actualmente por debajo de los 0,30 euros/litro). Si los precios del gasóleo se duplican o triplican en los próximos años (lo cual no sería extraño, dado el bajo precio del barril del año 2016, la caída de la producción de petróleos no convencionales que estamos viviendo y las escasas inversiones en nuevas perforaciones,) sólo el coste de la energía sería mayor en el modelo agroindustrial que el precio actual de la leche. Sin embargo, el coste de la energía en el modelo agroecológico se mantendría en valores menores que el que actualmente está pagando el modelo agroindustrial, incluso si los costes del gasóleo se duplican.

En una coyuntura internacional marcada por la disminución de la disponibilidad de petróleo, como la que se espera en las próximas décadas, conseguir modelos de producción agraria bajos en energía se vuelve una tarea crucial. Las previsiones de la literatura científica hablan de una producción de petróleo entre un 25% y un 75% menor que la actual en 2050¹⁹. Esto requeriría una conversión de toda la agricultura y la ganadería hacia modelos de baja energía similares a la ganadería que estamos estudiando, con consumos que sean la tercera o cuarta parte del actual.

¹⁹ Agotamiento de los combustibles fósiles y escenarios socio-económicos, un enfoque integrado. Iñigo Capellán-Pérez, Margarita Mediavilla, Carlos de Castro, Óscar Carpintero, Luis Javier Miguel.
http://www.eis.uva.es/energiasostenible/?page_id=2216

3. Costes económicos de ambos modelos

Los costes económicos que ambas ganaderías tienen que afrontar por litro de leche producido son difíciles de comparar ya que, mientras la ganadería agroindustrial sólo se dedica a la producción lechera, la ganadería agroecológica realiza también las actividades de elaboración y distribución. Debido a la imposibilidad de separar los costes de la actividad lechera del resto, se ha optado por asignar a la actividad lechera íntegramente los costes que sólo dependen de esta actividad (gasóleo tractor, gastos veterinarios, semen, alimentación animal y trabajos externos), ignorar los costes que son claramente de otras actividades de elaboración y comercialización directa (envases, gasóleo de la furgoneta de reparto, construcción) y dividir entre tres los costes que se deben a las tres actividades (telefonía, electricidad, reparación, formación, otros). En la tabla 29 se pueden ver los costes de la ganadería agroindustrial y los estimados de la Cooperativa Crica con este criterio.

Se puede ver que **los costes por litro de leche ECM en la ganadería agroindustrial están por encima del precio de la leche en estos momentos**. Los costes que hemos calculado para la ganadería agroecológica (Cooperativa Crica) han disminuido en los últimos años y llegan a ser menores que los de la agroindustrial; *y aunque esta estimación no es demasiado fiable sí nos está hablando de que la rentabilidad de la ganadería agroecológica, incluso en términos puramente monetarios y sin tener en cuenta el precio de venta de la leche, puede ser superior a la del modelo agroindustrial.*

Las figuras 1 y 2, por otra parte, nos muestran la estructura de los gastos de ambas ganaderías. Se puede ver la gran proporción que la compra del alimentación animal abarca en el modelo agroindustrial, estando los costes de la ganadería agroecológica más distribuidos.

	Agroecológico euros/ECM (estimación)	Agroindustrial euros/ECM	Ratio agroindustrial/ agroecológico de los dos últimos años
2011	0,39	0,35	
2012	0,34	0,43	
2013	0,21	0,38	
2014	0,30	0,39	
Media	0,31	0,39	1,52

Tabla 29: Costes económicos por litro de leche producida (ECM) en ambas ganaderías y ratio entre los costes medios de la ganadería agroindustrial y los de la agroecológica de los dos últimos años.

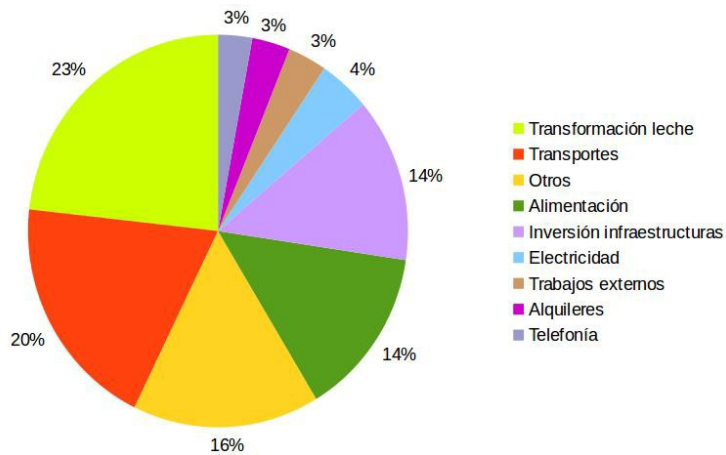


Figura 1: Principales gastos en la ganadería agroecológica (incluidos todos los gastos de las actividades de ganadería, elaboración y distribución).

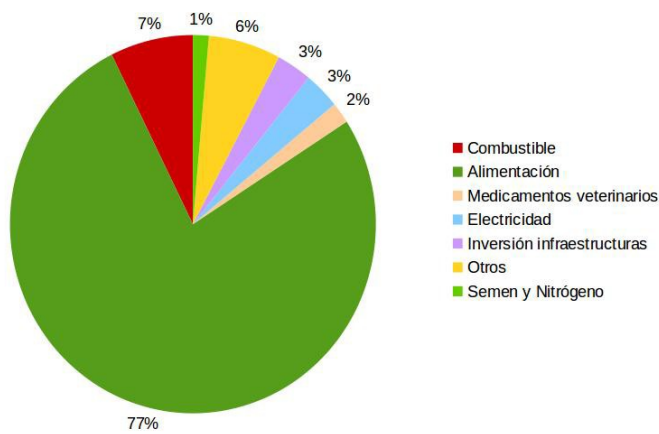


Figura 2: Principales gastos en la ganadería agroindustrial.

4. Emisiones de gases de efecto invernadero de ambos modelos

Para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero de ambas ganaderías nos vamos a basar en un estudio previo realizado por Carmen Bustillo ²⁰ sobre estas dos mismas ganaderías. En este trabajo se realizó un exhaustivo análisis de las emisiones debidas a la digestión del ganado y la gestión de estiércol, pero se subestimaron las emisiones debidas al consumo energético, ya que no se llegaron a calcular todos los consumos del transporte²¹.

En el Anexo 1 se reproducen los cálculos de este estudio previo y en la tabla 30 se pueden ver los resultados de emisiones debidas al ganado en ambas ganaderías (que son las del Anexo 1) y las debidas al consumo energético (que incorporan los consumos totales de la sección 2).

²⁰ Veterinaria, agroecología y soberanía alimentaria: viabilidad y sostenibilidad del modelo productivo agroindustrial y agroecológico en el sector lechero. Proyecto fin de grado, María del Carmen Bustillo Alonso, (dirección: Belén Martínez Madrid). Departamento de Medicina y Cirugía Animal, UCM, 2015.

²¹ También en este estudio realizamos una estimación muy conservadora de la absorción de CO₂ por las tierras de cultivo y pastos que ahora corregimos con nuevas fuentes bibliográficas mejor adaptadas a nuestro caso.

	Ganadería agroecológica		Ganadería agroindustrial con paja para encamado		Ganadería agroindustrial sin paja para encamado	
	emisiones (ton CO ₂ eq/año)	emisiones/ECM (ton CO ₂ eq/año/ECM)	emisiones (ton CO ₂ eq/año)	emisiones/ECM (ton CO ₂ eq /año/ECM)	emisiones (ton CO ₂ eq/año)	emisiones/ECM (ton CO ₂ eq /año/ECM)
Emisiones metano digestión	119,90	0,00119	122,76	0,00061	122,76	0,00061
Emisiones metano estiércol	2,98	0,00003	4,26	0,00002	4,26	0,00002
emisiones N ₂ O pastos	43,90	0,00043	62,40	0,00031	62,40	0,00031
Emisiones N ₂ O estiércol	0,00	0,00000	15,16	0,00008	15,16	0,00008
Incineración ganado	0,18	0,00000	0,09	0,00000	0,09	0,00000
Energía cultivos	13,43	0,00013	51,27	0,00026	41,41	0,00021
Energía portes	1,59	0,00002	25,28	0,00013	25,28	0,00013
Total emisiones	166,96	0,00165	281,22	0,00140	271,35	0,00135

Tabla 30: Emisiones de gases de efecto invernadero en ambas ganaderías

Se puede ver en la tabla 30 que, si bien las emisiones de la ganadería agroecológica son un 40% menores que las de la ganadería agroindustrial (sin paja), al ser también menor la producción de leche, las emisiones por litro de leche terminan siendo prácticamente iguales (ligeramente mayores en el modelo agroecológico)²².

Sin embargo, este dato debe ser ampliado con el cálculo de la absorción de carbono de las tierras de labor y pastizales. Así como la agricultura química es la principal causa de erosión y raras veces aumenta el contenido en materia orgánica de los suelos, la agricultura orgánica habitualmente convierte las tierras de labor en un sumidero de CO₂. En concreto, en la Cooperativa Crica, se están utilizando dos técnicas que se encuentran entre las más eficaces actualmente para la captura de carbono por los suelos: un método agroecológico de rotación de pastos que maximiza la formación de raíces (Pastoreo Racional Voisin) y la siembra directa sin laboreo de las tierras destinadas a producción de alimento para ganado, sin uso de insumos químicos y apoyada en el ganado.

Contamos con pocos estudios de campo acerca del potencial de captura de carbono de estos dos métodos, especialmente en entornos cercanos, por ello tomaremos como dato base el realizado por Vanessa Paredes²³ sobre suelos de la provincia de Valladolid, por ser el que más se acerca a nuestras condiciones. En este estudio se obtiene a un dato de absorción de 180 gC/(m²-año) (6,61 ton

²² Este hecho es el que hace que algunos estudios como el de Naciones Unidas (LIVESTOCK'S LONG SHADOW, environmental issues and options. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS Rome, 2006) aconsejen una mayor intensificación de la ganadería en los países en vías de desarrollo para disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este estudio, sin embargo, subestima el efecto del transporte y el potencial de absorción de CO₂ que posee la ganadería extensiva gestionada con métodos agroecológicos.

²³ Medida y parametrización de flujos de CO₂ en un uso de suelo agrícola de la meseta utilizando datos en superficie y teledetección. Tesis doctoral de Vanessa Paredes Gómez. Universidad de Valladolid, 2013.

CO₂/(Ha·año)) para un suelo no labrado de la zona de Montes Torozos calificado como pastizal con matorral disperso. Este dato es parecido a los obtenidos en estudios similares que cita Paredes (alrededor de 120 gC/(m²·año) en una dehesa de Cáceres, 190 gC/(m²·año) en un pastizal del sur de Portugal, etc.). Lo consideramos adecuado porque tanto las tierras de cultivo como los pastizales de la ganadería agroecológica no son arados.

Andre Leu ²⁴estima que la capacidad de absorción de la agricultura ecológica (sin siembra directa) es de 2,351 ton CO₂/(ha·año) y cita el dato de la United Kingdom Soil Association obtenido como media de varios estudios de campo: 2,20 ton CO₂/(ha·año). En este mismo estudio se habla de los métodos de pastoreo holístico que maximizan la conservación del suelo (entre los que se incluye el PRV) y se dan los datos de un estudio de caso en Australia donde se consiguió una absorción de 33 ton CO₂/(ha·año), un orden de magnitud mayor que las anteriores.

A la hora de calcular la absorción de los suelos de la Cooperativa Crica vamos a tomar tres estimaciones: una conservadora, que toma la absorción estimada para la agricultura ecológica por la United Kingdom Soil Association (2,2 ton CO₂/(ha·año)) para todas las hectáreas; una segunda que tome el valor del estudio de Paredes para todas las hectáreas tanto de pastos como de tierras de cultivo, y una tercera que tome la absorción citada por Leu para el pastoreo holístico para las hectáreas de pasto y la absorción de Paredes para las hectáreas de cultivos²⁵. En la ganadería agroindustrial estimaremos que la absorción de carbono por los suelos es nula²⁶.

	Total emisiones CO ₂	Absorción 1 (conservadora)	Balance 1	Absorción 2 (Paredes todo)	Balance 2	Absorción 3 (Pastos)	Balance 3
Agroecológica	166,96	136,4	30,56	409,82	-242,86	826	-659,04
Agroindustrial (con paja)	281,22	0	281,22	0	281,22	0	281,22
Agroindustrial (sin paja)	271,35	0	271,35	0	271,35	0	271,35

Tabla 31: Balance de emisiones de CO₂ de ambas ganaderías (toneladas de CO₂ equivalente anuales).

²⁴ Wake up before it's too late. Make agriculture truly sustainable now for food security in a changing climate. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Trade and Environment Review 2013 (p.23) Mitigating Climate change with soil organic matter in organic production systems. Andre Leu.

²⁵ . Como en la actualidad todas las hectáreas de la Cooperativa Crica están siendo manejadas sin levantar la tierra, la primera estimación es, probablemente, excesivamente conservadora.

²⁶ Pimentel, en *Biofuels, solar and wind as renewable energy systems: benefits and risks*. (Springer Netherland 2008) da un dato de absorción nula para la agricultura agroindustrial, aunque éste es optimista, ya que es bien conocido que la introducción de la agricultura química ha hecho disminuir de forma drástica el contenido de materia orgánica de los suelos de todo el planeta.

	Balance 1/ECM	Balance 2/ECM	Balance 3/ECM
Ganadería agroecológica	0,00030	-0,00240	-0,00653
Ganadería agroindustrial (con paja)	0,00140	0,00140	0,00140
Ganadería agroindustrial (sin paja)	0,00135	0,00135	0,00135

Tabla 32: Balance de emisiones de CO₂ de ambas ganaderías por litro de leche producida, ton CO₂ eq./ (año·ECM)

En la tabla 31 se muestran los resultados de la absorción y el balance neto de CO₂ con las tres estimaciones, mientras que la tabla 32 muestra el balance por litro de leche (ECM).

Se puede ver que, si se tiene en cuenta la absorción de las tierras, las emisiones netas (por litro de leche) de la ganadería agroecológica llegan a ser cinco veces menores que las del modelo agroindustrial en la estimación más conservadora y, en las otras estimaciones, la ganadería agroecológica se convierte un sumidero neto de carbono. **Métodos como la siembra directa o el manejo holístico del ganado se convierten, de esta manera, en técnicas que pueden convertir una actividad con una gran huella ecológica y muy emisora de gases de efecto invernadero, en un sumidero neto de carbono y una actividad beneficiosa para los suelos y la biodiversidad.**

El escaso número de ganaderías que utilizan estas técnicas y los aún más escasos estudios sobre ellas hacen que estos resultados deban ser tomados con cautela. Sin embargo, cada vez hay más datos científicos que avalan el potencial de los suelos como sumideros de carbono y este tipo de métodos de mejora de suelos deben ser estudiados, ya que su potencial para mitigar el cambio climático podría ser de gran magnitud.

5. Resumen y conclusiones

Este estudio compara una ganadería agroecológica de vacuno de leche basada en recursos locales con una ganadería agroindustrial de tamaño y localización similar. El estudio intenta dilucidar hasta qué punto el modelo agroecológico es extensible a todo el sector en base al análisis de cuatro factores:

1. Ocupación de tierra por litro de leche producida con ambos modelos.
2. Energía fósil utilizada en la producción de un litro de leche con ambos modelos.
3. Costes económicos por litro de leche producida en ambos modelos.
4. Emisiones de gases de efecto invernadero (energéticas y no energéticas) por litro de leche producida en ambos modelos.

Ocupación de tierra.

Se aprecia que la ganadería agroecológica produce un 39% de lo que produce la agroindustrial por hectárea (contabilizando todas las hectáreas utilizadas en la producción, tanto directas como debidas a piensos importados) y hay que tener en cuenta que gran parte de las hectáreas necesarias en la ganadería agroindustrial se deben a la paja para encamar que, estrictamente, no se utiliza en la producción.

Sin embargo, gran parte de las hectáreas utilizadas en el modelo agroindustrial son de alta productividad y muchas de ellas de regadío (maíz, remolacha, etc.) mientras que las hectáreas utilizadas por la ganadería agroecológica son de secano y de calidad media-baja. La menor productividad de la ganadería ecológica no se debe a la escasa productividad agrícola de sus tierras comparada con la de sus

vecinos, sino a que recurre a razas rústicas menos productivas para adaptar a los animales a una alimentación basada en recursos locales.

Conseguir una producción lechera en base estrictamente a los recursos que pueden encontrarse en zonas de secano del centro de Castilla y León requiere una cantidad de hectáreas mayor que la que actualmente se está utilizando. **La ganadería de vacuno de leche de Castilla y León está basando su alta productividad en el uso de recursos importados, lo que quiere decir que en un contexto de escasez energética que requiriese volver a una producción estrictamente local, la producción de alimentos de origen animal debería reducirse.** Sin embargo, también es preciso tener en cuenta que el consumo de alimentos de origen animal en nuestro país dobla los consumos recomendados por la Organización Mundial de la Salud.

Energía utilizada.

En términos energéticos **la ganadería agroecológica** es netamente mejor a la agroindustrial y **está consiguiendo unos consumos energéticos casi tres veces menores por litro de leche producido.** Si se tiene también en cuenta la paja para encamar se llega a un consumo energético por litro de leche casi 4 veces menor. Debido a que la paja para encamar puede considerarse, o no, como un residuo y debido a que en este cálculo no hemos considerado el estiércol, hemos separado este consumo en el cálculo

En la ganadería agroindustrial se aprecia que el consumo más importante de energía se debe al maíz de los piensos, tanto en su cultivo como en su transporte. En esta ganadería el consumo energético debido al cultivo de la paja para encamar es elevado.

La introducción de la siembra directa apoyada en el ganado (sin herbicidas ni labranza con tractor) ha sido uno de los éxitos de la ganadería agroecológica, que ha reducido con ello a la mitad el consumo de gasóleo en la maquinaria de la granja. El ahorro energético respecto al modelo agroindustrial también es muy evidente en todo lo que se refiere a la energía del transporte de los alimentos.

Costes económicos.

La mayor eficiencia energética de la ganadería agroecológica se traduce en un ahorro económico considerable y en una mayor resiliencia de la misma frente a las eventuales subidas del precio de los combustibles. Al precio actual del gasóleo, el modelo agroecológico requeriría en todo el proceso 4,4 céntimos por litro de leche para pagar el combustible, mientras que el agroindustrial utiliza 13 céntimos (casi la mitad del precio al que se está pagando la leche, actualmente por debajo de los 0,30 euros/litro). Si los precios del gasóleo se duplican, sólo el coste de la energía sería mayor en el modelo agroindustrial que el precio actual de la leche.

En una coyuntura internacional marcada por la disminución de la disponibilidad de petróleo, como la que se espera en las próximas décadas, conseguir modelos de producción agraria bajos en energía se vuelve una tarea crucial. Las previsiones de la literatura científica hablan de una producción de petróleo entre un 25% y un 75% menor que la actual en 2050. Esto requeriría una conversión de toda la agricultura y la ganadería hacia modelos de baja energía similares a la ganadería que estamos estudiando, con consumos que sean la tercera o cuarta parte del actual.

También se aprecia en el estudio que los costes por litro de leche en la ganadería agroindustrial están por encima del precio pagado por la leche en estos momentos. No se tiene una buena estimación de los costes de producción en la ganadería agroecológica, pero la aproximación que se ha hecho da resultados similares a los de la agroindustrial.

Emisiones de gases de efecto invernadero.

Las emisiones de la ganadería agroecológica son un 40% menores que las de la ganadería agroindustrial, al ser también menor la producción de leche, las emisiones por litro de leche terminan siendo prácticamente iguales (ligeramente mayores en el modelo agroecológico)

Sin embargo, este dato debe ser ampliado con el cálculo de la absorción de carbono de las tierras de labor y pastizales. La ganadería agroecológica están utilizando dos técnicas que se encuentran entre las más eficaces actualmente para la captura de carbono por los suelos: un método agroecológico de rotación selectiva de pastizales que maximiza la formación de raíces (Pastoreo Racional Voisin) y la siembra directa sin uso de insumos químicos apoyada en el ganado.

Si se tiene en cuenta la absorción de las tierras, las emisiones netas (por litro de leche) de la ganadería agroecológica llegan a ser cinco veces menores que las del modelo agroindustrial en la estimación más conservadora y, en las otras estimaciones, la ganadería agroecológica se convierte un sumidero neto de carbono.

El escaso número de ganaderías que utilizan estas técnicas y los aún más escasos estudios sobre ellas hacen que ***estos resultados deban ser tomados con cautela***. Sin embargo, cada vez hay más datos científicos que avalan el potencial de los suelos como sumideros de carbono. **De confirmarse estos datos, métodos como la siembra directa o el manejo holístico del ganado permitirían convertir una actividad con una importante huella ecológica en un sumidero neto de carbono.**

Estos resultados son muy notables y cuestionan la afirmación de que la ganadería vacuna es una de las mayores responsables del cambio climático. Si bien el modelo agroindustrial hace cierta esta afirmación, en un manejo agroecológico el ganado puede ser un elemento muy beneficioso que permita la siembra directa sin laboreo ni herbicidas y convierta las praderas en sumideros de carbono. Por ello, a la hora de hablar de qué tipo de dieta es sostenible deberíamos distinguir claramente cómo se ha realizado la producción de los alimentos. Si bien una dieta vegetariana/vegana, en principio, posee una menor huella ecológica, la introducción de cantidades moderadas de productos de ganadería agroecológica puede ayudar a la gestión de los agroecosistemas y ser beneficiosa para el planeta. También es cierto que la adopción de este tipo de ganadería basada en recursos locales necesitaría reducir la cantidad de productos animales.

Anexo 1: Cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero debidas al ganado en ambas ganaderías

Extraído del Proyecto fin de grado de María del Carmen Bustillo Alonso: “Veterinaria, agroecología y soberanía alimentaria: viabilidad y sostenibilidad del modelo productivo agroindustrial y agroecológico en el sector lechero”. Departamento de Medicina y Cirugía Animal, UCM, 2015.

A.3.2. Emisiones de metano derivadas de la digestión de los rumiantes.

Para calcular las emisiones debidas a la digestión de los rumiantes según [Dong *et al.*, 2006], el primer paso consiste en definir las categorías de ganado existentes. Las tres categorías representativas son: vacas lecheras adultas, otros bovinos adultos (el toro que utiliza la Cooperativa CRICA para la monta natural) y ganado en crecimiento (terneros pre-destete y novillas). Posteriormente se debe calcular la población media anual en cada granja para cada una de estas categorías. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla A.10.

Tabla A.10: Población media anual en la Cooperativa CRICA y Ganadería Rafa.

Año	CRICA				Rafa			
	Vacas	Toros	Novillas	Terneros	Vacas	Toros	Novillas	Terneros
2011	26	1	13	2,85	26	0	17,1	1,85
2012	30	1	14	2,14	26	0	14,96	1,97
2013	31	1	19	1,71	22	0	8,55	1,85
2014	32	1	15	2,71	19	0	21,37	0,99
Media	29,75	1	15,25	2,35	23,25	0	15,5	1,67

Posteriormente se debe calcular la ingesta media diaria para cada una de las categorías

animales, así como su factor de conversión de metano. Para realizar este cálculo se necesitan los datos que se muestran en la Tabla A.11.

Tabla A.11: Datos empleados para el cálculo de la ingesta media diaria de materia seca.

	Vacas		Novillas		Toro
	CRICA	Rafa	CRICA	Rafa	CRICA
Peso (Kg)	575	700	412,2	491	940
GMD (Kg/día)	0	0	0,929	1,15	0
Peso adulto	575	700	575	700	940
Situación alimentaria (C_a)	0,17	0	0,17	0	0,17
Producción diaria de leche (Kg)	11	29,22	0	0	0
Contenido de grasa de la leche (%)	3,96	3,55	0	0	0
Hembras que paren al año (%)	79	64,14	0	0	0
Digestibilidad alimento (%)	65	75	65	75	65

El dato C_a que se muestra en la Tabla A.11 es un coeficiente que se corresponde con la situación alimentaria del animal.

A partir de los datos de la Tabla A.11, y siguiendo las ecuaciones propuestas por [Dong *et al.*, 2006] se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla A.12.

Tabla A.12: Energía bruta (MJ/día) e ingesta de materia seca (Kg/día) para cada categoría animal en ambas ganaderías.

	Vacas		Novillas		Toro
	CRICA	Rafa	CRICA	Rafa	CRICA
Energía neta de mantenimiento NE_m	45,33	52,53	29,46	33,59	62,81
Energía neta de actividad NE_a	7,7061	0	5,01	0	10,68
Energía neta de crecimiento NE_g	0	0	18,71	23,26	0
Energía neta de lactación NE_l	33,59	84,45	0	0	0
Energía neta de gestación NE_p	3,58	3,37	0	0	0
REM	0,51	0,54	0,51	0,54	0,51
REG	0,31	0,35	0,31	0,35	0,31
Consumo Energía Bruta (MJ/día)	270,1	346,04	196,51	170,95	220,03
Ingesta materia seca (Kg/día)	17,74	30,24	9,09	10,25	17,79

REM es la relación entre la energía neta disponible en una dieta para mantenimiento y la energía digerible consumida y REG es la relación entre la energía neta disponible en la dieta para crecimiento y la energía digerible consumida.

El factor de conversión del metano (Y_m) es el porcentaje de la energía bruta del alimento que se convierte en metano. Este valor es variable según la digestibilidad del alimento; en la

Cooperativa CRICA el valor de Y_m empleado es de 6,5% mientras que en la Ganadería Rafa es de 7%, ya que la digestibilidad de su alimento es mayor. El factor de conversión del metano es importante para calcular el factor de emisión del metano (EF), que se mide en Kg CH_4 por animal y año. En la Tabla A.13 se muestra el factor de emisión del metano para cada categoría animal, así como el metano debido a la fermentación entérica producido por todos los animales de cada categoría anualmente (Total metano digestión):

Tabla A.13: Factor de emisión de metano para cada categoría animal y metano total producido anualmente por cada categoría animal (Kg CH_4).

	Vacas		Novillas		Toro
	CRICA	Rafa	CRICA	Rafa	CRICA
EF met. ent. (Kg CH_4 animal ⁻¹ ano ⁻¹)	115,15	158,87	83,78	78,49	93,81
Total met. ent. (Kg CH_4)	3425,79	3693,78	1276,60	1216,53	93,81

A.3.3. Emisiones de metano derivadas del manejo del estiércol.

El cálculo de las emisiones derivadas del manejo del estiércol también se ha realizado siguiendo las indicaciones del Nivel 2 de [Dong *et al.*, 2006]. Para calcular el factor de emisión del metano debido al manejo del estiércol es necesario conocer los sólidos volátiles excretados por día para cada categoría de ganado (VS), así como la capacidad máxima de producir metano del estiércol (B_o). El MCF es el factor de conversión del metano, y varía según el sistema de gestión del estiércol y las temperaturas medias anuales de la región; ambas ganaderías se encuentran en un clima frío, ya que la temperatura media anual se sitúa en 12,4 y 12, 3°C, respectivamente. El manejo del estiércol en la Cooperativa CRICA es mediante su deposición por parte de los animales en el pasto, por lo que el MCF es de 1%. En el caso de la Ganadería Rafa, donde se hace un almacenamiento sólido del mismo, el MCF es del 2%. Los valores de B_o empleados son 0,18 para las novillas y el toro, y MIRARLO EN LAS TABLAS para las vacas. En la Tabla A.14 se muestran los sólidos volátiles excretados por animal, el factor de emisión del metano derivado del manejo del estiércol, y el metano total emitido por cada categoría animal en un año.

Tabla A.14: Emisiones de sólidos volátiles, factor de emisión de metano del estiércol y metano total emitido por el manejo del estiércol por cada categoría animal.

	Vacas		Novillas		Toro
	CRICA	Rafa	CRICA	Rafa	CRICA
VS (Kg MS animal ⁻¹ día ⁻¹)	5,25	5	3,82	2,47	4,28
EF met. est. (Kg CH_4 animal ⁻¹ ano ⁻¹)	3,08	5,87	1,68	2,18	1,88
Total met. est. (kg CH_4 ano ⁻¹)	91,72	136,57	25,65	33,73	1,88

A.3.4. Emisiones de N_2O derivadas del manejo del estiércol y de los pastos.

Debido al manejo del estiércol no sólo se emite metano, sino también N_2O . El cálculo de las emisiones de este gas también se ha realizado siguiendo las directrices de [Dong *et al.*, 2006] y [De Klein *et al.*, 2006]. En la Tabla A.15 se muestran las emisiones directas e indirectas de N_2O . Las emisiones directas debido al manejo de pastos dependen únicamente de las hectáreas de tierra; no se tienen en cuenta en este estudio porque aunque se han calculado las hectáreas de tierra necesarias para la alimentación del ganado se desconoce el número de hectáreas en las que se vierte el estiércol de la Ganadería Rafa. La Cooperativa CRICA no tiene emisiones por el manejo del estiércol, ya que éste es depositado en el pasto por los animales directamente.

Tabla A.15: Emisiones directas e indirectas de N_2O para cada ganadería. $KgN_2O/año$.

		CRICA	Rafa
Pastos	Directas	121,55	149,48
	Lixiviado	13,67	33,6332
	Volatilización	12,15	26,28
Estiércol	Directas	NA	29,61
	Lixiviado	NA	1,33
	Volatilización	NA	19,92
Total		147,38	260,25

A.3.5. Emisiones de incineración del ganado.

Para el cálculo de las emisiones debidas a la incineración del ganado se ha realizado teniendo en cuenta que se emiten 0,15 t CO_2 eq/Tm de residuo incinerado según [Rodríguez, 2008]. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla A.16.

Tabla A.16: Emisiones anuales de CO_2Eq debidas a la incineración del ganado muerto en ambas ganaderías.

	CRICA	Rafa
Kg quemados ano^{-1}	1218,75	607,5
$Kg CO_2Eq$ ano^{-1}	182,8125	91,125

6.3.3. Emisiones de gases de efecto invernadero

Según datos de la FAO, el 14,5% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de origen antropogénico son causadas por el ganado; el vacuno es la especie más contaminante, ya que el 65% de las emisiones del ganado se deben al vacuno. Estas emisiones se deben principalmente a la producción de piensos para animales (46,7%) y a la fermentación entérica (39,1%). La gestión del estiércol y la energía consumida contribuyen en menor medida, suponiendo un 9,8 y 4,7% respectivamente [Gerber *et al.*, 2013]. Las emisiones de GEI de las explotaciones de vacuno lechero de este estudio se muestran en la Tabla 6.8.

20

Tabla 6.8: Emisión de gases de efecto invernadero en ambas ganaderías, Toneladas de CO_2Eq

Concepto	CRICA	Rafa
Gasóleo	15,92	55,86
Metano-digestión	119,93	122,76
Metano-estiércol	2,98	4,26
N_2O pastos	43,92	62,40
N_2O estiércol	0	15,16
Incineración ganado	0,18	0,09
Absorción pastos	-20,74	0
Total	162,20	260,52
Kg CO_2 Eq/litro leche	1,61	1,3

Los datos mostrados en la Tabla 6.8 vienen expresados en toneladas de CO_2 Equivalentes (Eq), excepto las emisiones por litro de leche, que vienen expresadas en Kg CO_2 Eq/litro leche. El CO_2 equivalente se obtiene a partir del potencial de calentamiento global de cada gas de efecto invernadero [Forster y Dorland, 2007]; en este trabajo se ha empleado el potencial de calentamiento global de los gases durante 100 años.