

# REVISIÓN CIENTÍFICA

## NOTA DE LA DIRECCIÓN

Por acuerdo de la Comisión Directiva, a partir de este número de PASTOS se incluirá una REVISION CIENTIFICA, que consistirá en una puesta al día del conocimiento sobre un tema concreto. Para iniciar esta serie de artículos se invitó al Profesor Gaspar González y González, por la especial relevancia que su figura tiene entre los miembros de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. La Dirección y Miembros del Comité de Redacción de PASTOS le agradecen especialmente el esfuerzo realizado, en un momento en que sus ocupaciones de índole científico le dejaban poco tiempo disponible, a pesar de estar administrativamente jubilado.

El Profesor Gaspar González y González es en la actualidad Miembro de Honor de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, de la que fue Presidente desde 1963 hasta 1975.

## EL ENFOQUE ENERGÉTICO EN LA PRODUCCIÓN DE HIERBA

GASPAR GONZÁLEZ GONZÁLEZ

Ministro Ibáñez Martín, 5. 28015 MADRID

### RESUMEN

Los pastos y prados, además de otros papeles, desempeñan el muy importante de ser la única alternativa para transformar la radiación solar en energía alimenticia para los animales y el hombre, sobre muchos suelos y con un mínimo coste de energía complementaria, cuando se aprovecha mediante pastoreo. Los balances energéticos, aunque no substituyen a los balances económicos, son muy útiles para comparar la eficacia técnica de diferentes sistemas de producción ganadera a base de hierba en el uso de la radiación solar y de la energía complementaria. Un cálculo del rendimiento potencial de materia seca (energía almacenada) y de la eficacia energética basado en una incidencia de radiación solar total de  $40 \times 10^6 \text{ kcal ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  da  $449 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  de materia seca total y 4,7 %, respectivamente. Se detallan algunos ejemplos de las eficacias relativas en el uso de la energía solar y la energía complementaria para la producción de materia seca, energía metabolizable, leche, carne de vacuno, y carne de ovino bajo diferentes sistemas de producción de hierba en España y otros países. Se cita un método para calcular la energía metabolizable utilizada por vacas lecheras en pastoreo.

**Palabras clave:** Producción de hierba, Balance energético, Eficacia energética, Energía solar, Energía complementaria, Sistemas de producción ganadera.

### 1. INTRODUCCION

Es un hecho histórico que la cubierta herbácea de formaciones naturales, por lo común climáticas y constituidas por especies de gramíneas, sobre terrenos áridos o semiáridos: la estepa, la sabana desértica, la pradera americana, etc., aprovechada sobre todo por herbívoros rumiantes, permitió el desarrollo de formas primitivas de vida económica que, como la de los pueblos cazadores más o menos avanzados, y los pastores nómadas, de otro modo no habrían existido. Prescindiendo de este hecho, de indudable trascendencia, aún hoy día es bien sabido que la hierba sigue siendo el alimento básico de los rumiantes domésticos, capaz de satisfacer todas las necesidades nutritivas de vacas lecheras con 15 o

más litros de producción diarios, o de terneros en cebo con incrementos de peso al día de hasta 1.000 gramos o más; es el alimento idóneo para las cerdas de vientre, y entra en las raciones muy a menudo como harina de hierba henificada o deshidratada formando parte de piensos comerciales para esta especie, las aves y otras menos comunes.

Pero hay más. De antiguo se han venido atribuyendo a los pastizales, prados y cultivos forrajeros<sup>1</sup>, cuando se presentan como opciones a la utilización de suelo, varias virtudes que se pueden resumir en los siguientes apartados:

A.- Sobre superficies de terreno que no consienten el cultivo de arado: suelos esqueléticos, poco desarrollados, superficiales, muy accidentados o pedregosos, la hierba aprovechada en pastoreo puede ser el procedimiento único, o el mejor, para obtener alimentos y materias primas de uso inmediato por el hombre. De este modo, al no entrar en competencia con cosechas de grano, raíces y tubérculos alimenticios, como ejemplo de dicho uso, contribuyen a aumentar la capacidad del suelo para mantener población, para luchar contra el hambre, aspectos de prioritaria preocupación en la sociedad actual.

B.- En las laderas y, en general, en los terrenos de mucho declive, donde el laboreo tradicional facilita la posterior acción erosiva del agua, el mantenimiento de una cubierta de hierba "permanente", si se maneja de modo adecuado, en el pastoreo, por ejemplo, contribuye de modo decisivo a conservar el suelo productivo.

C.- Los prados y los cultivos forrajeros, sobre terreno labrantío, conducen a un incremento de la fertilidad por varios mecanismos bien estudiados y conocidos: mejoran la textura del suelo por el entramado que forman las raíces, principalmente de las gramíneas, aumentan la proporción de materia orgánica edáfica, mientras que las leguminosas, además, enriquecen el suelo en nitrógeno con sus nódulos. Esto último tiene el efecto adicional de contribuir a la economía de dicho fertilizante, el más caro y con efectos más perniciosos sobre el medio ambiente, tanto directos -posible aumento del nivel de nitratos sobrantes, en el suelo y en el agua edáfica-, como indirectos, gran consumo de energía complementaria.

D.- El piso herbáceo, solo o adecuadamente sumergido bajo un dosel arbustivo o, mejor, arbóreo, contribuye a la amenidad del paisaje y a conservar la vida silvestre. Es un factor importante en la tarea de preservar la "biodiversidad", botánica y zoológica. En las dehesas sobre suelo superficial típicas del Centro y Suroeste español, la hierba asociada a especies de *Quercus*, con los suidos y rumiantes que la aprovechan, constituyen un ecosistema insustituible, de gran valor ecológico y económico, en el que aquella desempeña un papel fundamental.

---

1. Del rico y controvertido léxico español para denominar las superficies cubiertas de hierba para aprovechamiento del ganado, (véase a este respecto: Remón, J. 1985 "Prados y forrajes". Ed. AEDOS, Barcelona. Cap. 1:15-27) en una simplificación, sin duda abusiva, hemos optado por estos tres términos como expresión de tres tipos de usufructo predominante: pastizales (pastoreo), prados (siega y pastoreo) y cultivos forrajeros (siega).

E.- A partir de los años setenta, con motivo de la tan citada "crisis de la energía", se considera a la hierba, sobre todo cuando se usufructa mediante pastoreo, como un procedimiento idóneo para aprovechar la energía solar -energía limpia, renovable y, en cierto modo, inagotable y gratuita- con un consumo mínimo de energía complementaria, en su mayor parte de procedencia fósil (petróleo, carbón, etc.,) contaminante, no renovable, limitada y cara, como es bien sabido.

F.- Finalmente, la existencia de fuertes excedentes de los productos agrarios clásicos en la Europa desarrollada, productos derivados de los cultivos de cereales, de algunas leguminosas para grano y de ciertos cultivos industriales, como la vid, amén de los de la leche y de ciertos tipos de carne, lleva a postular en los medios Comunitarios (UE) la vuelta del terreno a pasto "natural" o "permanente"<sup>2</sup> y su consiguiente utilización en pastoreo más o menos extensivo por herbívoros domésticos o montaraces, como procedimiento de elección para paliar la situación creada por la referida superproducción.

No vamos a entrar aquí en el análisis de los cuatro primeros apartados. Lo que se resume en ellos ha sido de antiguo -y lo sigue siendo- objeto continuo de estudio; y se puede afirmar que, en general, las consecuencias más importantes están bien documentadas, son bien conocidas y están convenientemente divulgadas. El apartado último, el F., que se puede concretar en las medidas -estímulos- para el abandono de ciertos cultivos y la "vuelta del terreno a pastos", como medio para luchar contra la superproducción y consiguiente acúmulo de excedentes de productos agrarios, tiene connotaciones sociales y políticas muy importantes, sin duda, pero escapa de los límites de este trabajo, que se va a concretar, de acuerdo con el título y lo que se explica en el apartado E., a la consideración de la hierba como fuente de energía alimenticia para los animales y, a través de éstos, para el hombre y de la eficacia con la que realiza este proceso. Y ocurre que la hierba, alimento básico de los rumiantes, es el que muestra una mayor variabilidad de valor energético: Puede oscilar entre 1.500 kcal (poco superior al de los típicos alimentos groseros, como las pajas) y 3.000 kcal (valor que se aproxima al de los típicos concentrados, como los granos de cereales) de energía metabolizable por kg de materia seca (EM kg<sup>-1</sup> de MS).

No se nos oculta la dificultad que presenta una revisión de este aspecto de la producción de hierba como alimento de los animales. El enfoque energético de la producción agraria, sobre todo a partir de los años setenta, ha sido objeto de numerosos trabajos de investigación y doctrinales, expuestos en simposios y congresos específicos, celebrados en todo el mundo, y llenan las revistas científicas, hasta el punto de que resulta imposible ni siquiera reseñar una parte. No obstante debemos resaltar que fué el tema principal de la II<sup>TM</sup> Reunión General de la Federación Europea de Pastos celebrada en Setúbal (Portugal) en 1986, bajo el título "Grasand Facing the Energy Crisis".

2. No olvidemos el significado convencional de ambos términos

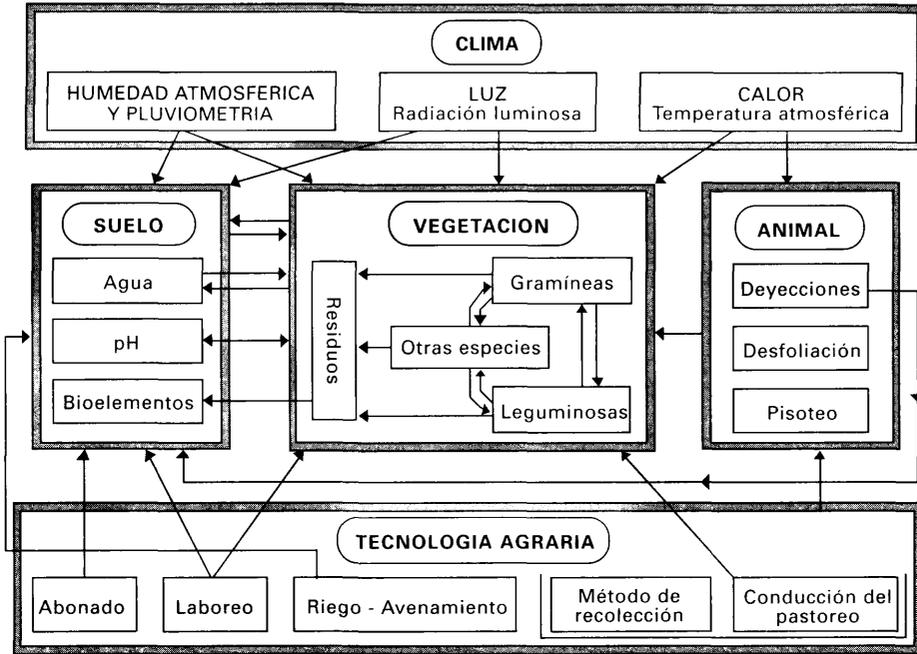
## 2. IMPORTANCIA DEL ENFOQUE ENERGÉTICO DE LA PRODUCCIÓN DE HIERBA

La pascicultura, la praticultura y la forrajicultura, de acuerdo con el criterio expuesto en la Introducción, son una parte de las divisiones tecnológicas de la agricultura; engloban los conocimientos (científicos y tecnológicos) y las prácticas relativas a la producción de hierba y forrajes para el ganado en distintas situaciones históricas, culturales, socio-económicas y ambientales. Comparten, por consiguiente, una de las características que contribuyen a definir y diferenciar la actividad agraria: aprovechamiento de la energía solar que incide sobre la superficie de la tierra mediante la fotosíntesis de plantas herbáceas aptas para la alimentación animal.

Ciertamente, el papel de estas plantas es transformar la energía que llega del sol -limpia, renovable, prácticamente inextinguible e inagotable y en cierto modo gratuita-, primero, en energía química de enlace al utilizarla mediante la citada fotosíntesis para combinar el carbono de la atmósfera con el agua y los elementos biogénicos del suelo, formar así los llamados fotosintatos y, a continuación, los constituyentes de la biomasa vegetal (producción primaria) que rinden las plantas que nos ocupan, y a partir de ellos productos animales. Plantas y animales forman, así, biocenosis en ecosistemas naturales más o menos dinámicos, o en agrosistemas, en los que la acción del hombre mediante la tecnología agraria desempeña un papel fundamental (figura 1).

En cualquier caso, la eficacia de este fenómeno de transformación depende de una serie muy compleja de factores: **Ambientales**, unos, los ligados al clima (intensidad y duración de la radiación solar, temperatura, humedad atmosférica, velocidad del viento, etc.); y al suelo (los que resumen la fertilidad natural, como capacidad para suministrar el agua y los elementos biogénicos minerales en el momento, con el ritmo y en la cantidad y proporciones adecuadas). **Fitológicos**, otros (concentración de clorofila, índice foliar, características respiratorias y modelo fotosintético que siguen, el periodo de crecimiento -recolección única o múltiple- enfermedades y situaciones ambientales adversas, etc.). Y **Zoológicos**: especie, sexo, estado fisiológico, etc. Pero depende también de las acciones del hombre -factores **antropógenos** o antrópicos- en forma de mano de obra y de inversiones en medios de producción producidos (capital) para mejorar tanto el medio como la planta misma: enmiendas, abonos, riego, laboreo, productos fitosanitarios y herbicidas, semillas seleccionadas mediante mejora genética clásica o ingeniería genética; los métodos de recolección -pastoreo, siega o mixto- y, en su caso, de conservación; y de uso, como se sintetizan en la tabla nº 1. Y ocurre que todas estas inversiones se traducen en consumos, en destrucción de utilidades que tienen un valor económico, por supuesto, pero que se pueden convertir en consumos de energía mediante los correspondientes índices de transfor-

FIGURA 1  
**Las relaciones ecológicas en los agrosistemas pascícolas**  
*Ecological relations in grassland systems*



mación energética. Esta energía aportada por el hombre en forma de medios de producción es la llamada energía no renovable, energía que cumple dos fines importantes: disminuir la cantidad y la penosidad del trabajo humano e incrementar la energía solar que fijan las plantas, pero que, al contrario de esta, es limitada. Por todos estos motivos se la etiqueta con los dos citados adjetivos de gran importancia ecológica y económica, respectivamente: **contaminante y cara**. No es extraño, pues, que cualquier planificación agraria tenga en cuenta el consumo de esta energía.

El enfoque energético de la producción herbácea para el fin que nos ocupa, está avalado, además, por el papel central, absoluto, que desempeña la energía química de los alimentos en la nutrición. La utilización de los principios nutritivos para el mantenimiento de la vida, el crecimiento y el desarrollo del organismo; para la reproducción y las diversas formas de trabajo y de producción, es función de la energía alimenticia de que el ser vivo dispone y es capaz de metabolizar. Resulta así incuestionable que la mayor parte de las deficiencias productivas de los animales -y de las deficiencias nutritivas de la población hu-

TABLA I

**Principales factores determinantes de la producción vegetal**  
*Main factors determinants of crop production*

---

**1. Medio ambientales: Clima y suelo.**

- 1.1. Energía radiante. Insolación (fotoperiodo). Temperatura.
- 1.2. Concentración de CO<sub>2</sub>
- 1.3. Movimiento del aire.
- 1.4. Humedad. Pluviometría. Tensión de vapor de agua.
- 1.5. Fertilidad natural de suelo (Capacidad de suministro de agua y elementos biogénicos a las plantas).

**2. Fitológicos: Especie, variedad, cultivar:**

- 2.1. Características morfológicas: Tamaño; proporción y disposición geométrica de las hojas en el tallo (LAI = Leaf Area Index); histología de la hoja de las (plantas C3 y C4), etc.
- 2.2. Características fisiológicas: Modelo fotosintético (C3 y C4 CAM) y persistencia de la capacidad fotosintética (LAD = Leaf Area Duration); capacidad de transporte y almacenamiento de fotosintatos. Características respiratorias (fotorrespiración y respiración oscura). Adaptación y resistencia a condiciones adversas (clima, suelo, manejo, plagas, enfermedades, competencia de las malas hierbas).
- 2.3. Respuesta a las técnicas de mejora: Genética clásica e ingeniería genética y de cultivo (abonos, laboreo, etc.).

**3. Antropógenos: Tecnología agraria:**

- 3.1. Métodos y técnicas de mejora genética y medidas de protección vegetal: Herbicidas, fitosanitarios, etc.
  - 3.2. Métodos y técnicas de cultivo: Laboreo (mecanización); riego y avenamiento; fertilización (abonos orgánicos e inorgánicos); enmiendas; métodos de protección (uso de cubiertas y abrigo).
  - 3.3. Métodos y técnicas de recolección, preparación y conservación: Parte cosechada; técnicas de transporte, preparación y conservación.
  - 3.4. Sistemas de pastoreo, de siega y de conservación: Henificación, ensilaje y deshidratación, en su caso.
-

TABLA 2

**Los principales determinantes de la eficacia energética (por ha y año)***The major determinants of energy production efficiency per ha et year*

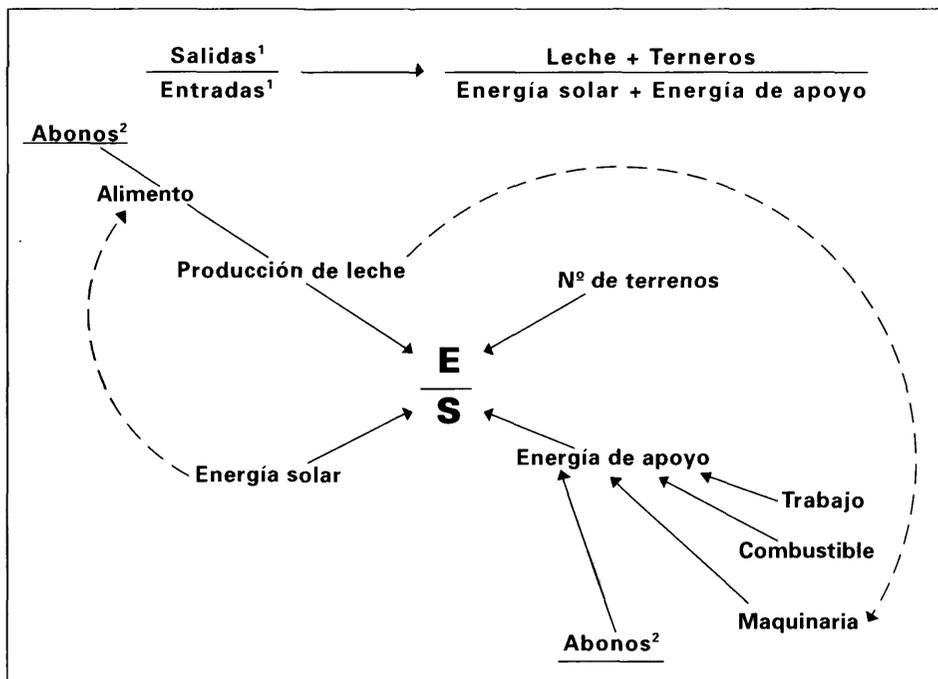
<b>Componentes de la razón de eficacia</b>	<b>Principales determinantes</b>
<b><i>Producto:</i></b>	
Leche	<i>Rendimiento por cabeza</i> <i>Carga ganadera</i> Energía de la leche Rendimiento de hierba
Carne de vacuno	Rendimiento a la canal (por cabeza) <i>Carga ganadera</i> Energía de la canal Rendimiento de hierba
Carne de ovino	Peso de la canal (por cordero)
Carne	<i>Porcentaje de corderos</i> <i>Carga ganadera</i> Número anual de canales del desvieje Energía de la canal
<b><i>Recurso:</i></b>	
Terreno } Energía solar }	Naturaleza del suelo Radiación solar incidente Distribución de la intensidad de la luz
Energía complementaria	Abono utilizado Gasto en maquinaria Combustible y electricidad utilizada en la finca
Abono	Cantidad de abono empleada

*Fuente: Spedding and Hoxey (1975)*

FIGURA 2

**Eficacia energética de la producción de leche por unidad de superficie de suelo y unidad de tiempo (Spedding and Hoxey, 1975)**

*Energetic efficiency of milk production per unit of land and unit of time*



mana mundial- se deben fundamentalmente a una insuficiente ingestión de energía alimenticia.

Por último, las unidades de energía (calorías), de trabajo (julios), y de potencia (vatios), a diferencia de las unidades económicas: las monedas, tienen un valor fijo y universal y son fácil y exactamente intercambiables<sup>3</sup>.

3. Recordemos que 1 caloría (cal) equivale a 4,186 julios (J), mientras que 1 vatio (w) representa 1 julio por segundo. Asimismo, que la pequeñez de estas unidades para medir las magnitudes con que habitualmente se opera en agricultura obliga a emplear los múltiplos: kilo (k)=10<sup>3</sup>; mega (M)=10<sup>6</sup>; giga (G) 10<sup>9</sup> tera (T)=10<sup>12</sup>. De éstas, la Gigacaloría (Gcal) que equivale a 1x10<sup>9</sup> kcal -utilizada en la bibliografía inglesa a veces con la denominación de Standard Nutritional Unit (SNT)- es una unidad muy útil para expresar la producción alimentaria para el hombre, pues corresponde, muy aproximadamente a las necesidades de energía media anual por persona, teniendo en cuenta un 20% de pérdida que se ocasiona con el transporte y preparación de los productos cosechados:

$$1 \text{ Gcal} - 200.000 \text{ Kcal} (20\%) = \frac{800.000 \text{ Kcal}}{365 \text{ días}} = 2.190 \text{ Kcal/día}^{-1}$$

### 3. LOS BALANCES AGROENERGÉTICOS DE LA PRODUCCIÓN DE HIERBA

La eficacia con que la hierba utiliza una determinada clase de energía, solar o complementaria, se suele determinar mediante **balances de energía** simplificados, confrontando **entradas (E)**, (también gastos, consumos o disponibilidades), con las **salidas (S)**, (también producción o disponibilidades) de energía medidas al principio y al final (o en una etapa) del proceso de transformación o de producción, referidas a la unidad de tiempo y de superficie.

La confrontación puede expresarse con una diferencia entre las entradas y las salidas de energía; o como cocientes (índices), que, o bien dan la eficacia directa: cantidad de energía recuperado en el producto por unidad (o 100 unidades) de energía consumida; o bien, la eficacia inversa: cantidad de energía precisa para obtener la unidad de producto. Los primeros dan el rendimiento energético, los segundos los coeficientes de transformación de la energía, es decir:

1.- Energía producida - Energía consumida (E de apoyo) = Producción neta de energía

2.- 
$$\frac{\text{Energía producida}}{\text{Energía consumida (solar o de apoyo)}} = \text{Rendimiento energético (Índice directo)}$$

3.- 
$$\frac{\text{Energía consumida (solar o de apoyo)}}{\text{Energía producida}} = \text{Coeficiente de transformación (Índice inverso)}$$

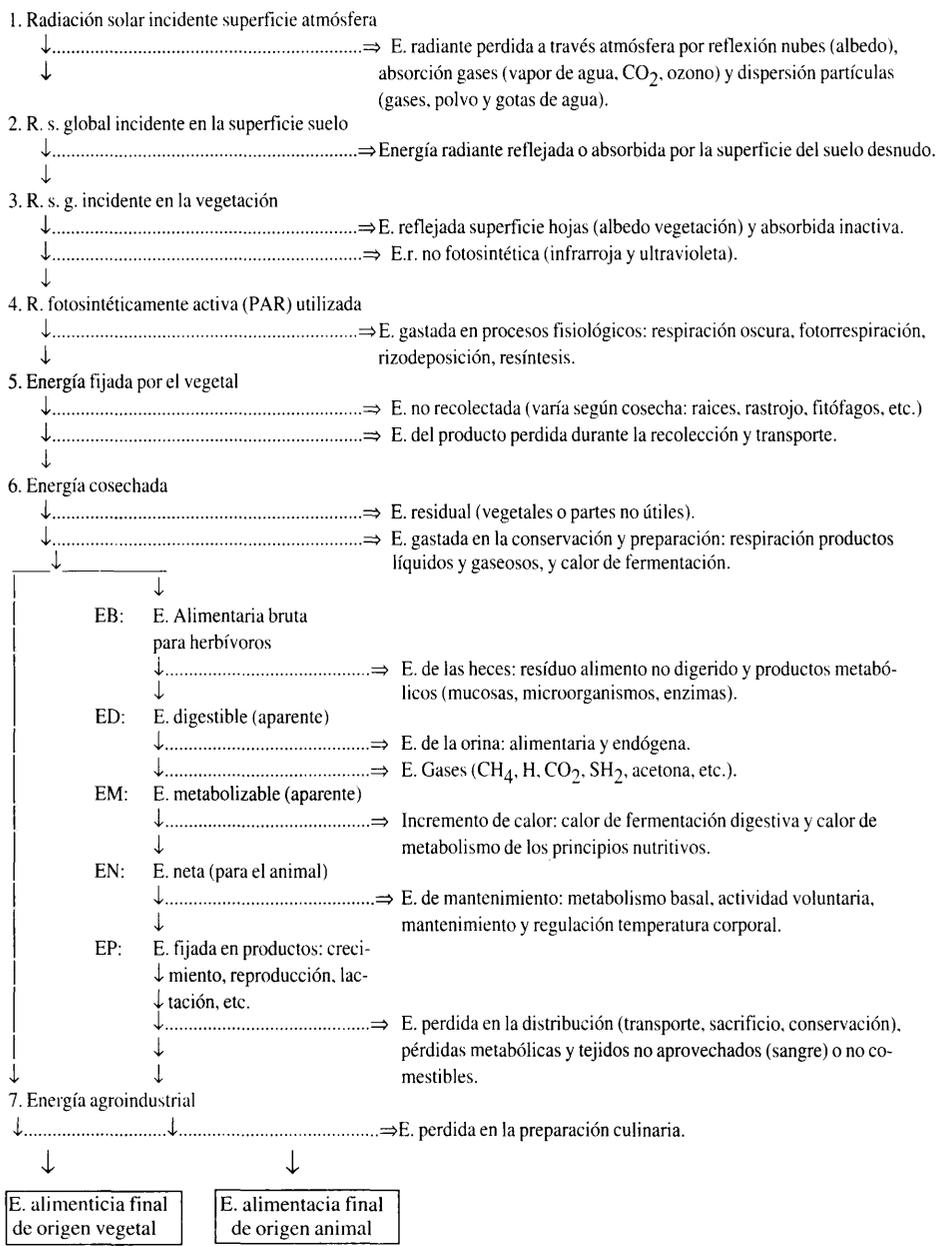
Estos balances pueden tener como objetivo conocer la eficacia energética de una producción ya realizada (una explotación, un determinado cultivo, etc.); o prever las eficacias con que pueden operar una o varias supuestas unidades de producción bajo un determinado conjunto de condiciones.

En cualquier caso conviene destacar que estos balances, y los índices que proporcionan tiene un valor relativo; dan la idea, como hemos dicho, de la eficacia del proceso y de los cambios que se pueden introducir para mejorarlo. No pueden servir por sí solos de base para la elección de un tipo de producción a base de hierba. Spedding (1975), pone un ejemplo de cómo las relaciones de eficacia tienen que ampliarse utilizando para ello un modelo sencillo de eficacia energética de la producción lechera por unidad de superficie y de tiempo (salidas S) dado un aporte de energía solar y complementaria (entradas E). El diagrama (figura nº 2) incluye todas las principales variables de manera que lleva implícitas las interacciones de cada uno de los factores que influyen bien en el numerador, bien en el denominador de la relación, o en ambos a la vez, factores que resume la tabla nº 2. El siguiente paso debe ser el estudio de la sensibilidad de la relación de eficacia cuando varía

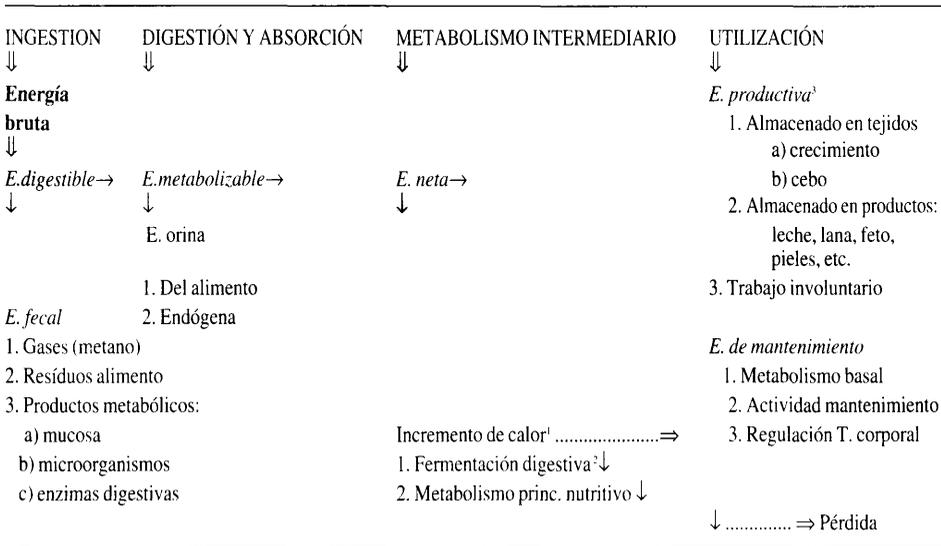
FIGURA 3

**El flujo y las pérdidas de energía radiante en la agricultura  
(Caso general: producción de alimentos vegetales y animales)**

*Radiant energy flow and losses in agriculture. General case: vegetal and animal food production*



**FIGURA 4**  
**Utilización fisiológica de la energía bruta de los alimentos**  
*Physiological partition of feed energy*



1. El incremento calórico es una fracción inevitable del coste energético de producción. Su cantidad varía con el grado de equilibrio de la dieta y del gasto energético de producción. El incremento de calor se utiliza (y puede ser suficiente) para mantener la temperatura corporal en su valor normal, cuando el animal está en un medio en el que la temperatura del aire está por debajo del punto crítico.

2. La fermentación digestiva forma parte de la pérdida de energía en el tubo digestivo, pero ordinariamente se le incluye aquí en la partición convencional de la energía de los alimentos.

3. Utilizable sólo después de que está satisfechas todas las necesidades de mantenimiento.

**FIGURA 5**  
**Utilización convencional de la energía bruta de los alimentos**  
*Conventional partition of feed energy*

**Energía bruta (EB)**  
**del alimento ingerido**  
 ↓↓

1. <i>E. digestible (aparente)</i> → 2. <i>E. fecal</i> : a) Origen alimenticio b) Origen metabólico	1. <i>E. metabolizable ...</i> → (aparente) 2. Gases de la digestión 3. <i>E. de la orina</i> : a) Origen alimenticio b) Origen endógeno (corporal)	1. <i>E. neta</i> ..... → 2. Incremento de calor: a) Calor de fermentación <sup>1</sup> b) Calor de metabolismo de los principios nutritivos <sup>1</sup>	1. <i>E. productiva</i> A. <i>E. almacenada</i> a. Principios nutritivos en el feto y en las hembras. b. Semen en los machos c. Crecimiento d. Leche e. Huevos f. Lana g. Piel B. Trabajo (parte de éste gas- tado en forma de calor).  2. <i>E. de mantenimiento</i> a. Metabolismo basal <sup>1</sup> b. Actividad voluntaria <sup>1</sup> c. Calor de mantenimiento de la temperatura corporal <sup>2</sup> d. Energía para evitar el au- mento de la temperatura corporal <sup>3</sup>
---	---	---	--

1. Gastados como calor.

2. Solo necesario cuando la temperatura está por debajo del punto crítico y cuando se necesita más valor que el aportado por el incremento de calor.

3. Solamente necesaria por encima de la zona de neutralidad térmica.

alguno de los factores importantes de la producción y calcular las variaciones de la misma dentro de un amplio rango de los principales de aquellos frente a los que el modelo ha demostrado sensibilidad. Por último, se debe reconocer que, pese a su valor, el análisis energético no sustituye al análisis económico, solamente le complementa.

Aunque la energía solar y la energía de apoyo actúan conjuntamente, es común presentar por separado los balances agroenergéticos de cada una de ellas.

### 3.1 El balance agroenergético de la radiación solar

Las partidas que pueden figurar tanto en el pasivo (entradas de energía), como en el activo (salidas de energía); o, si se quiere, como consumos y productos, respectivamente, se deducen del diagrama general de flujo de la energía que se detalla en la figura nº 3. Los conceptos 2 al 7 inclusive pueden representar las primeras, y los 3 al 8 las segundas. Pero en la producción agraria es común tomar como entradas la radiación solar global (conceptos 2 o 3) o la radiación fotosintéticamente activa -PAR- (concepto 4) incidentes en una hectárea, una explotación, comarca e, incluso, un país<sup>4</sup>. Es evidente la necesidad de especificar en todo caso a cual de los dos tipos de radiación se refiere el balance: la global o la PAR.

Como salidas, en la producción vegetal (producción primaria) se consideran habitualmente los puntos 5 al 7, expresándose los datos como producto fresco o verde, como materia seca o, en fin, como sustancia orgánica, términos estos dos últimos con los que se denomina lo que en realidad resulta de restar de la biomasa fresca la pérdida por desecación en la estufa a unos 100°C, y por incineración en el horno a 450-500°C, respectivamente.

En la producción ganadera (producción secundaria) se puede partir de las mismas entradas que en la producción primaria; pero es muy común que se considere como partida inicial la energía disponible (oferta) especificada en el punto 5 o la energía extraída, o cosechada que se suministra al animal como energía bruta del alimento. En el citado diagrama de flujo se adjetivan el resto de los valores con el término "aparente" porque, de hecho, no corresponden a lo que realmente ocurre con el organismo, como puede comprobarse si se comparan los diagramas de las figuras nº 4 y nº 5.

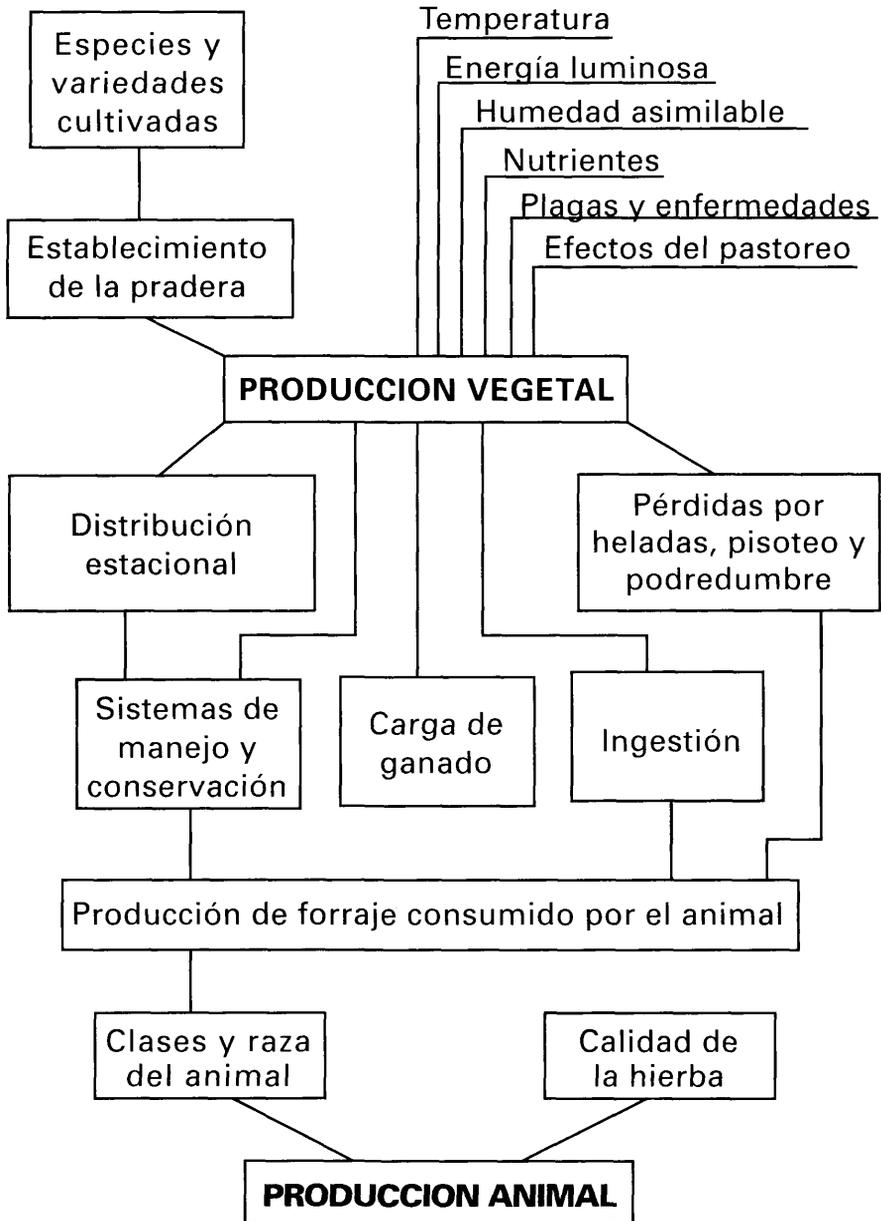
La energía se expresa en los referidos diagramas como energía bruta (EB) o calor de combustión, que se obtiene a partir de los datos de composición químico-bromatológica, sumando, como es bien sabido, los calores de combustión de los principios inmediatos de-

---

4. En bioquímica y fisiología vegetal la superficie incidente puede ser una cantidad de clorofila, una célula del mesófilo, una hoja o la planta aislada utilizando cortos períodos de crecimiento, y de superficie; y, como producto, el carbono fijado; por ejemplo, gramos de C fijados por dm<sup>2</sup> y min<sup>-1</sup>.

FIGURA 6

**Factores que afectan a la productividad de los pastos (Lazemby, 1964)**  
*Factors determinants of grassland productivity*



Fuente: Muslera y Ratera, 1991

TABLA 3

**El flujo de la energía en la síntesis de materia seca por las plantas**  
**(Cálculo teórico de rendimientos y energía recuperada por hectárea y día)**  
*Energy flow in the synthesis of DM (An recount of potential*  
*conversion of total solar radiation into stored energy in DM per ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>*

---

1. Radiación solar global incidente sobre la superficie del suelo:	$40 \times 10^6 \text{ kcal ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
2. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) 50 %	$20 \times 10^6 \text{ kcal ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
3. Total einsteins (E) <sup>1</sup> (1 E = 50 kcal)	$0,4 \times 10^6 \text{ E ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
4. PAR reflejada (20 %)	$0,08 \times 10^6 \text{ E ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
5. PAR inactiva (10 %)	$0,04 \times 10^6 \text{ E ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
6. Total pérdidas: (n° 4 + n° 5)	$0,12 \times 10^6 \text{ E ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
7. PAR absorbida utilizada en la fotosíntesis: (n° 3 - n° 6) . .	$0,28 \times 10^6 \text{ E ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
8. Carbohidrato producido (moles de CO <sub>2</sub> H). 10 E por mol <sup>2</sup>	$0,028 \times 10^6 \text{ mol CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
9. Pérdidas por respiración <sup>3</sup> y rizodeposición ( 50 % )	$-0,14 \times 10^6 \text{ mol CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
10. Producción neta de CH <sub>2</sub> O (n° 8 - n° 9) . . . . .	$0,14 \times 10^6 \text{ mol CH}_2\text{O ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
11. Producción de materia seca = 14.000 mol x 30 (peso molecular del CH <sub>2</sub> O) x 100/93,5 (6,5 % minerales)	$449 \text{ kg ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
12. Valor energético de materia seca producida (4,2 kcal g <sup>-1</sup> )	$1.885800 \text{ kcal ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$
13. Eficacia teórica de la transformación de la rad. global	$\frac{1.885.500 \times 100}{40.000.000} = 4,7\%$

---

1 El einstein es la unidad de energía que equivale a un mol de fotones:  $6,25 \times 10^{23}$  (no de Avogrado) cuantos y representa la cantidad de energía necesaria para activar fotoquímicamente un g mol de sustancia fotosensible. La energía de un E para para el promedio de longitud de onda fotosintéticamente activa ( $\lambda = 575 \text{ nm}$ ) es de 49,7 kcal.

2 Teóricamente bastarían 8 E para reducir un mol de CO<sub>2</sub> a CH<sub>2</sub>= (1/6 de glucosa), pero la ineficacia del proceso determina que se utilicen habitualmente 10 E. La eficacia máxima de la transformación de la PAR en energía almacenada en forma de glucosa que produce 673 kcal mol<sup>-1</sup>, sería de 22,6 %  $(673/6) / (49,7 \times 10) \times 100 = 22,6 \%$ .

3 De los fotosintatos elaborados una parte se gasta para formar o sintetizar tejidos, otra para conservarlos y parte se puede perder por fotorrespiración (respiración estimulada por la luz que provoca que los fotosintatos formados reiertan a CO<sub>2</sub>. En la síntesis se supone que gasta 1 g de glucosa-sustrato para formar 0,48 de proteína, o 0,36 g de lípidos o 0,87 de carbohidratos de reserva, o 1,43 de celuosa y para la absorción de 20g de minerales (Penning de Vries, 1972).

terminados mediante el análisis químico-bromatológico rutinario. El resto de los parámetros: E. digestible (ED), E. metabolizable (EM) y E. neta (EN) usada por el animal para el mantenimiento (ENm) o las producciones (ENp), dependen de muchas variables, tanto más cuanto más nos acerquemos al producto final: Energía alimenticia para el hombre (EAi). La figura nº 6 resume los factores que en la práctica definen la producción de los pastos en función de la producción animal.

### 3.1.1. Radiación solar y producción primaria

No es posible dentro de los límites de este trabajo analizar cada uno de los conceptos incluidos en el citado diagrama de flujo. No obstante, en la tabla nº 3 se desarrolla un ejemplo de cálculo teórico de rendimientos y de balance de la energía en la producción primaria, partiendo de una radiación solar incidente, en números redondos, de  $40 \times 10^6$  cal (40 Gcal)  $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  que viene a ser la que incide (media de 12 años 1979-1991) en Madrid ( $40^{\circ} 24' 30''$  lat N), según datos del Observatorio Meteorológico (concretamente  $388^{\circ} 8$  kcal  $\text{cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ ). En dicha tabla se contabilizan una serie de pérdidas en porcentajes que, aunque discutibles, no se alejan mucho de las que aparecen en la bibliografía. El resultado da una eficacia teórica de la transformación de la energía global en energía fijada en forma de materia seca de un 4'8 % (9'6 % de la PAR) correspondiente a una producción teórica de 449 kg  $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ . Estos datos están muy próximos a los dados por otros autores. Por ejemplo, Loomis y Gerakis (1975 y Montheit (1978) ya concluyeron que el crecimiento máximo registrado en las plantas C4 y C3 oscilaba entre 510-540 kg MS  $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$  y 310-390 kg MS  $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ , respectivamente, con una eficacia de alrededor del 4-5 % en la transformación de la radiación global y un 9'5 % de la PAR, partiendo siempre del supuesto de que no actúen factores limitantes (elementos biogénicos minerales, agua, enfermedades, plagas, etc.).

En este proceso existe un límite biológico a la fijación de la energía solar que también se puede considerar: el representado por la concentración de clorofila. A este respecto se estima que 400 mg  $\text{cm}^{-2}$  de clorofila absorben prácticamente toda la luz incidente, mientras que su capacidad fotosintética se satura a intensidades lumínicas relativamente bajas ( $0,2 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ ). Esto condiciona los sistemas de desfoliación (frecuencia de siega e intensidad de pastoreo) de las pratenses de recolección múltiple, cuando se pretende maximizar la utilización de la radiación solar incidente, en cuanto que no tiene utilidad mantener un índice de área foliar por encima de determinados límites (por ejemplo, superior a 3-5) por las pérdidas de todo tipo que se producen (aparte del hecho de que una excesiva intensidad lumínica produce fenómenos de descarboxilación en las plantas C<sub>3</sub>).

Se puede calcular el referido límite biológico en términos de cantidad de materia seca partiendo de que, en condiciones óptimas, 1 g de clorofila contribuye a fijar 3,5 g de C en una hora y de que la concentración de clorofila activa alcance los 300 mg  $\text{m}^{-2}$  (Marga-

lef; 1976, 1980). Bajo estos supuestos la producción primaria bruta de fotosintatos en un día de primavera (12 horas de insolación), sería de 315 kg h<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> o 337 kg de materia seca seca por ha y día, cifras ambas dentro del rango de las citadas. Es decir:<sup>5</sup>

$$\begin{aligned} & 3,5 \text{ g de C} \times 0,300 \text{ g de corofila} \times 12 \text{ horas} \times 10.000 \text{ m}^{-2} = 126.000 \text{ g de C} \\ & 126.000 \times 30/12 = 315.000 \text{ g de fotosintatos (HCOH) por hectárea y día,} \\ & 315.000 \times 100/93,5 \text{ (6,5 \% de minerales en la MS)} = 337 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1} \text{ de MS} \end{aligned}$$

Vadell y Medrano (1990) investigando la distribución de la biomasa y la penetración de la luz en pastos de *T. subterraneum* encuentran que un índice foliar, en esta especie de hojas planófilas, entre 4,4 y 4,8 interceptaba prácticamente el 95 por ciento de la luz. Las producciones de materia seca oscilaron entre 1.096 g m<sup>-2</sup> de crecimiento primario hasta el 10 de mayo, y 330 g m<sup>-2</sup> el obtenido por rebrote desde el 15 de marzo al 10 de mayo. Habiéndose obtenido 466 g m<sup>-2</sup> en el corte realizado el 15 de marzo, resulta que la suma de estos dos es inferior al corte único primeramente citado. En el supuesto de

TABLA 4

**Energía producida por diferentes cultivos (Rossiter, 1967)**  
*Energy output from different creps*

	Gcal ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>
Pasto permanente antiguo	3,2
Maíz fertilizado	24,4
Remolacha azucarera	60,5
Mandioca	280,0
Cultivo de algas	300,0

que el rendimiento de MS fuese el mismo en ambos casos, el promedio de crecimiento de la vegetación sería de 10,3 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (103 kg h<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) para el pasto cortado hasta mayo y de solo 5,4 g m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> (54 kg h<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) para el que rebrota tras el corte de marzo<sup>6</sup>; diferencia que explican por el hecho de que las plantas tardaron de dos a tres semanas en cubrir totalmente el suelo (LAI = 1), aunque insisten en la necesidad de ampliar la base experimental para esclarecer las relaciones entre crecimiento relativo e índice foliar en esta especie.

En la figura n° 7 se representan los flujos de la energía en la primera etapa de la pro-

5. Tenreiro (1989) expone una síntesis de la eficacia fisiológica y potencial de producción de las especies C3 y C4 en un trabajo sobre la introducción de gramíneas vivaces C4 en los regadíos de clima mediterráneo.

6. Obviamente, la diferencia entre estas dos cifras y las teóricas dadas más arriba se debe, primariamente, a que las primeras expresan la producción primaria bruta (incluye toda la biomasa y los gastos diarios de las plantas) mientras que las segundas se refieren a la producción neta cosechada.

ducción: la producción primaria, según McFadyen (1964), utilizando como unidad la Gcal (en el original Standard Nutritional Unit = STN) en la que los brazos dan el flujo de la energía y los cuadrados las existencias (cantidad) de materia orgánica de vegetal vivo en un momento dado. Las relaciones entre los canales de flujo y los cuadrados de existencias son arbitrarias. En dicha figura se comprueba que mientras que en el plancton las algas muestran en cualquier momento una cantidad relativamente pequeña de material vegetal vivo ( $S = 0,16$ ) en comparación con el pasto, al ser recolectadas numerosas veces a lo largo del año producen una cantidad de Gcal mucho mayor que un área similar de hierba, en la que gran parte del material vivo permanece fuera del alcance de los herbívoros al final de la estación. En el pasto natural una gran parte de las 40 Gcal de biomasa va a las raíces y rastrojo no aprovechados (26,2 Gcal) quedando sometidos a los procesos de descomposición, mientras que en el fitoplancton solamente se pierde una cantidad inapreciable de este modo.

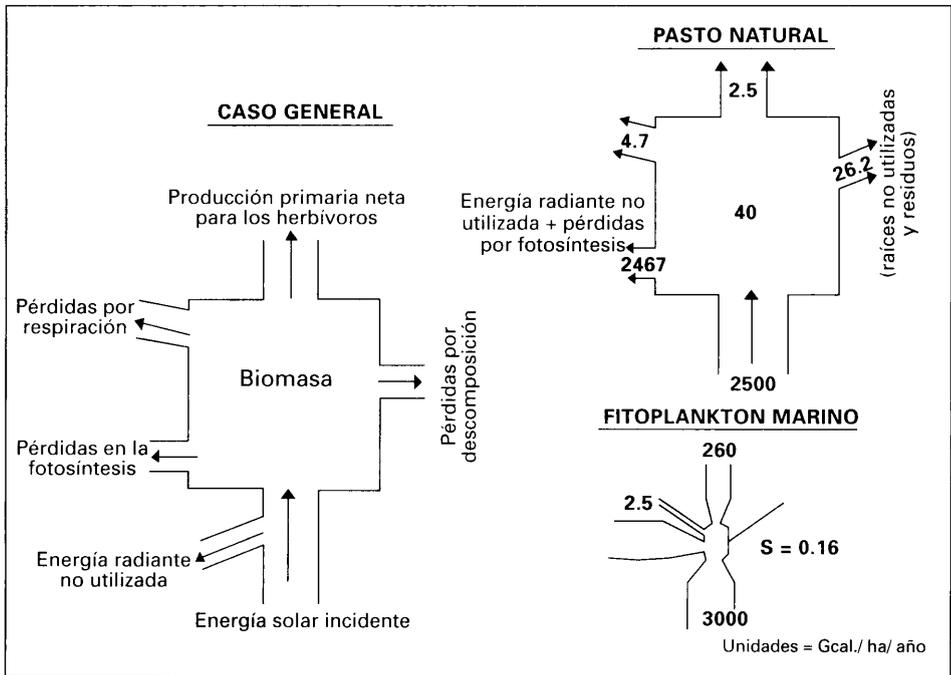
La finalidad de la producción de hierba sería, por consiguiente, aproximarse al siste-

FIGURA 7

**El flujo de la energía a través de productores primarios (Rossiter, 1967)**

*Energy flow through the primary producer*

*General case Beef/grassland system (based on 0,45 acres)*



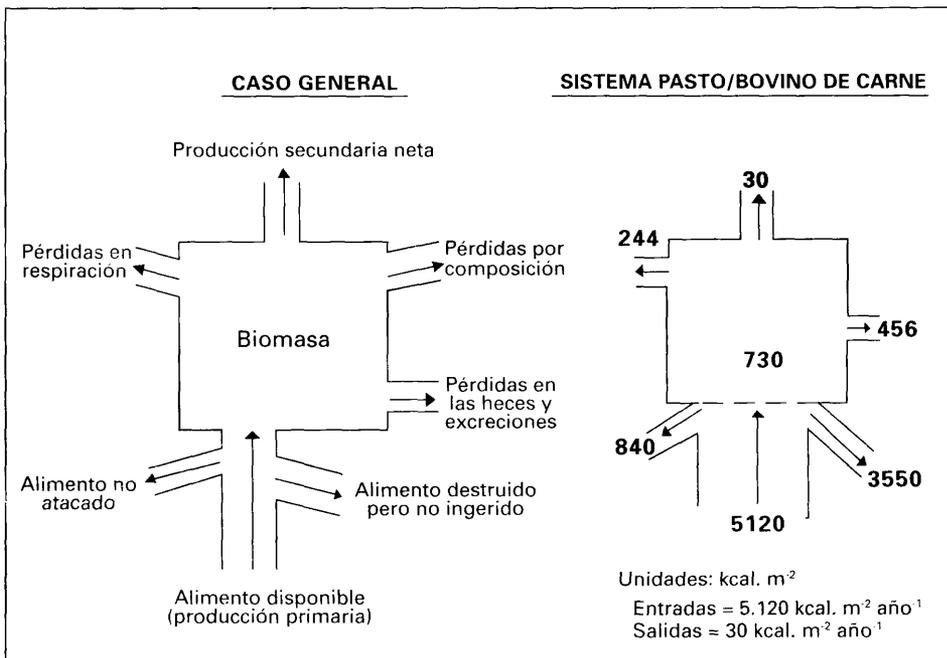
ma de algas -las diferencias que existen con este son enormes, como puede verse comparando los datos, calculados por Rossiter (1967), de la tabla nº 4 - reduciendo las pérdidas, para conseguir que la eficacia de la superficie de hierba aumente, aunque las plantas o las células, individualmente consideradas, mantengan la misma capacidad para transformar la energía.

Volviendo ahora a la tabla nº 3, en el supuesto de que quede en el suelo un 50 por ciento de materia seca (raíces, rastrojos, consumo de fitófagos, etc.), los datos de la misma se transformarían en eficacias del orden del 2,4 por ciento para la radiación global y del 4,8 por ciento para la PAR, de nuevo concordante con los registrados por otros autores (por ejemplo, Cooper, 1975).

FIGURA 8

**El flujo de la energía a través de productores secundarios (Rossiter, 1967)**

*Energy flow through the secondary producer  
General case Natural grassland. Marine (phytoplankton)*



### 3.1.2. Radiación solar y producción secundaria

Las pérdidas de energía que experimenta la EB del alimento vegetal desde que se ingiere por los herbívoros hasta que éstos la devuelven en forma de energía alimenticia para el hombre, son de enorme cuantía y se han hecho relatar en múltiples ocasiones (véase, por ejemplo, Spedding, 1977).

Antes de exponer datos sobre las referidas pérdidas y la correspondiente eficacia, hay que recordar que las diferentes especies animales utilizan la hierba con distinta eficacia como consecuencia de la gran proporción de fibra que ésta contiene y las diferentes características anatómicas y fisiológicas del aparato digestivo de aquéllas. Sin embargo, concretándonos a los rumiantes, las variaciones de consumo (ingestión), digestibilidad y utilización productiva de la energía, dependen más de las características de la hierba (y de la ración en general) que del animal, como expresa la tabla n° 5.

TABLA 5

**Variación relativa de la ingestión, digestibilidad y eficacia energética en función de la hierba (o ración) y del animal (Van Soest, 1982)**

*Relative variation, of intake digestibility and energetic efficiency due to the diet (forages) and the animal*

	Cociente de variación %	
	Ración	Animal
Consumo	50	30
Digestibilidad	30	3
Eficacia (*)	50	20

\* Utilización de la energía digerida para producción

La eficacia del uso de la energía en la producción secundaria ha sido también analizada y expuesta gráficamente por Rossiter (1967). Como puede verse en la figura n° 8, descontadas las correspondientes pérdidas, solamente 30 kcal m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> de las 5,120 kcal m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup> que ingresan son potencialmente utilizables por el hombre, en el supuesto de que no continúen las pérdidas debido a otros factores, por ejemplo: enfermedades del ganado.

Por otra parte, existen trabajos prácticos que permiten ilustrar el valor del enfoque energético en el análisis de la eficacia con que operan los herbívoros para transformar la energía solar en alimento humano por intermedio de la hierba que ingieren. Uno de ellos fue ya expuesto por Williams en 1964 comparando los pastos naturales con pastos sem-

brados (artificiales) en Australia (tabla nº 6). Estimó que del total de los  $16.720 \times 10^6$  kcal  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  ( $45,8 \times 10^6$  kcal  $\text{ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) de la radiación global incidente la energía acumulada por los dos sistemas en forma de hierba aprovechable alcanzaba  $188 \times 10^6$  y  $560 \times 10^6$  kcal  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , respectivamente. De esta energía fijada por la hierba, las ovejas pudieron utilizar  $6,15 \times 10^6$  kcal (32,72 %) y  $38 \times 10^6$  kcal (67,8 %), reteniendo solamente  $3,05 \times 10^6$  y  $19,2 \times 10^6$  kcal  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$  en cada uno de los dos sistemas; el resto se perdió en los procesos fisiológicos del animal citados en la figura 5. Puede decirse, por lo tanto, que solamente quedaron a disposición del hombre el 1,6 % y un 3,4 % de la energía fijada; es decir, un 0,0182 % de la energía incidente en los pastos naturales y un 0,144 % en los pastos sembrados (Williams, 1964).

TABLA 6

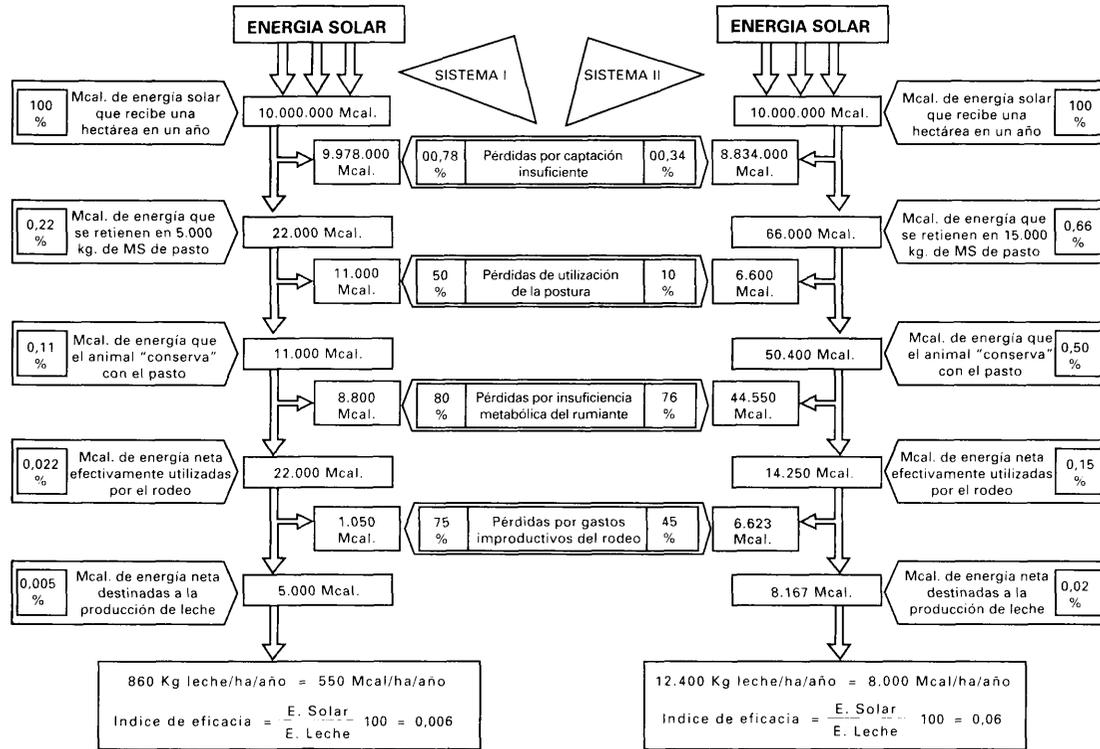
**Eficacia energética de dos sistemas pascícolas de producción ovina**  
*Energetic efficiency of two grassland systems of beet production*

Flujo de la energía	Pasto natural		Pasto artificial	
	Gcal $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$	Por ciento de E. incidente	Gcal $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$	Por ciento de E. incidente
Radiación global incidente	16.720,00	—	16.720,00	—
Energía fijada por la hierba	188,00	1,20	560,00	3,34
E. utilizada por las ovejas	6,15	0,03	38,00	0,22
E. retenida por las ovejas	3,05	0,01	19,20	0,11

Fuente: Adaptada de Williams, (1964)

Como ejemplo de balances comparando la eficacia energética de dos sistemas de producción de leche de distinto nivel tecnológico, se puede utilizar el supuesto en la figura nº 9, debida a Viglizzo (Muslera y Ratera, 1991). En ambos casos se parte de una incidencia anual de energía solar global de  $10.000$  Gcal  $\text{ha}^{-1} \text{año}^{-1}$ , contabilizándose como pérdidas cuatro momentos: primero las que se originan en el suelo y en la misma vegetación, que se citan como "captación ineficiente" y que representan en los dos sistemas algo más del 99 por ciento; un segundo momento, que incluye las pérdidas en la utilización de la hierba por el ganado, con un valor muy alto en el sistema rudimentario (el 50 %) y solamente el 10% en el sistema más perfeccionado; un tercer momento, en los dominios de la fisiología animal, que denominan "pérdidas por ineficacia metabólica del rumiante", que alcanza el 80 y 75 por ciento respectivamente, mientras que en el cuarto momento se calculan las pérdi-

**FIGURA 9**  
**Eficacia energética de dos sistemas de producción lechera de distinto nivel tecnológico**  
*Energy efficiency of two systems of milk production of different technical level*



Nota adicional: los recuadros finales se han completado dando un valor energético de 650 kcal kg<sup>-1</sup> de leche en la alimentación humana.  
 Fuente: Viglizzo, 1981. Según transcripción de Muslera y Ratera, 1991

das por “gastos improductivos de la explotación” de una y otra, en un 75% y un 45%. El resultado final muestra que en el sistema de menor nivel técnico se producen 800 kg de leche, mientras que en el segundo se alcanzan los 12.409 kg de leche al año por ha. Valorados energéticamente (650 kcal kg/leche) dan 559.000 y 8.065.000 kcal respectivamente, lo que representa una eficacia de 0,006% el primer sistema y 0,08% el segundo.

Duckham (1967) desarrolló un ejemplo simple de lo que llama “Grassland energetics”, utilizando datos parcialmente hipotéticos, aplicados a la producción de carne de bovino (cebo estival solamente) basado en el trabajo de J.C. Tayler (1966) del Grassland Research Institute. En él calculó la producción potencial del pasto en los supuestos de que la lluvia anual media no exceda grandemente al potencial de evapotranspiración y a la inversa, de que no se adquiera ganado o piensos o forraje del exterior, ni se conserve la hierba bajo ninguna forma. Los datos se exponen en la tabla nº 6 y se basan en que en las condiciones citadas se da que:  $A.M.I. - P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = Ca$ .

Donde:

A = Transpiración efectiva (evapotranspiración real de Thornthwaite) durante la época de crecimiento hidrológica o térmica, en pulgadas o milímetros.

M = Máxima formación de materia orgánica del 75% de digestibilidad (medida en Mcal de energía bruta por ha) formada por cm de A por los mejores genotipos adaptados, o sus combinaciones.

I = Las inversiones de trabajo humano, fertilizantes, productos fitosanitarios, habilidad técnica, etc., necesarias para maximizar A.M.. Hay que hacer notar que I es una razón y que, por consiguiente, no puede ser superior a la unidad.

$P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n =$  Las diferentes pérdidas reseñadas en la tabla nº 7.

Ca = Valor energético alimenticio (Mcal por unidad de superficie) de alimento utilizable por el hombre.

Hay que destacar la importancia que tiene en los resultados el método seguido para realizar los cálculos. En otra ocasión (González, 1984) nos referimos a este tema poniendo como ejemplo el método seguido para valorar la energía metabolizable extraída de 4 ha de pasto por un hato de 10 vacas lecheras partiendo de supuestos que se pueden dar en las condiciones prácticas españolas (tabla 8).

El cálculo de la energía metabolizable se da en detalle por Forbes *et al.* (1980) y por Baker (1982). Depende, en resumen, de la determinación de las exigencias del ganado a partir del total de cabezas distribuidas en varios grupos por edades (basados en la valora-

TABLA 7

**El balance energético en el pastoreo estival de ganado bovino\***  
*Energy balance in summer grazing of beef cattle*

Mcal acre <sup>-1</sup>		Porcentaje de A.C.R. (28.000 Mcal acre <sup>-1</sup> )
<i>Sección I. Substancia seca formada:</i>		
9.500	P <sub>1</sub> (Respiración, aproximadamente) (E. bruta)	34 %
-	P <sub>2</sub> (Enfermedades o plagas)	-
3.000	P <sub>3</sub> (Raíces y rastrojo, aproximadamente) (A. B.)	11 %
4.000	P <sub>4</sub> (Pasto rehusado) (E.B.)	14 %
-	P <sub>5</sub> (Pérdidas por conservación)	-
16.500	Suma de pérdidas fíticas	59 %
10.500	Resto consumido por el animal **	37 %
27.000		96 %
<i>Sección II. Substancia seca ingerida por el animal**:</i>		
2.500	P <sub>6</sub> Pérdida fecal (Energía bruta)	9 %
1.500	P <sub>7</sub> Pérdida con la orina y gases de fermentación (Energía digestión)	5 %
5.000	P <sub>8</sub> Metabolismo basal y adicional (mantenimiento)	17 %
1.000	P <sub>9</sub> Pérdidas en la conversión de la E. metabolizable en tejido	4 %
500	P <sub>10</sub> Tejido perdido al sacrificio y en la distribución	2 %
10.500	Suma de pérdidas animales	37 %
1.000	C <sub>a</sub> = Resto representado por alimento para consumo humano (energía alimenticia humana)	4 %
11.500		100
<i>III. Resumen:</i>		
		Mcal por acre
	Pérdidas fíticas	16,500 59 %
	Pérdidas animales	10.500 37 %
	Alimento humano producido	1.000 4 %
	Total de MO seca producida	28.000 100

\* Los datos pueden transformarse en megacalorías por hectárea teniendo en cuenta que: A = 510 mm de lluvia; C = 44 kg por mm de A y por hectárea a 4,4 Mcal/kg de materia orgánica formada; I = 0,7 suponiendo que el crecimiento vegetal fué inferior al máximo. Luego A.C.R. = 69.000 Mcal/ha.

Adaptado de Duckham, A.N. (1967).

TABLA 8

**Ejemplo de cálculo de la energía metabolizable extraída de la hierba por vacas lecheras en pastoreo**

*Calculation of metabolizable energy used from grazing in milk production*

**Datos básicos:**

- 10 vacas lecheras de 550 kg de peso vivo (pv)
- Consumo: hierba de 4 hectáreas de prado  
15.000 kg de pienso concentrado (1.500 kg por cabeza año<sup>-1</sup>)
- Producción: 50 kg<sup>-1</sup> de leche (3,5 % de grasa y 8,8 % de extracto magro)  
10 terneros

**Necesidades alimenticias: EM por cabeza y día**

- Mantenimiento: EM = 8,3 + 0,091 por kg de Pv
- Producción de leche: 5,10 MJ por kg de leche
- Gestación: 120 días x 12,5 MJ día<sup>-1</sup>
- Ganancias de pv: 80 kg a 34 MJ kg<sup>-1</sup>
- Pérdida de peso al comienzo de la lactación: 30 kg a 28 MJ kg<sup>-1</sup>
- Consumo de concentrados: 0,4 kg de 12,5 MJ kg<sup>-1</sup> por l de leche

**Resultados:**

- Mantenimiento: 8,3 + (0,091 x 550) x 365 x 10	=	213 GJ
- Producción de leche: 50.000 l x 5,10 MJ	=	255 GJ
- Ganancias de peso vivo: 800 kg x 34 MJ	= 27,20 GJ	
- Menos pérdidas de peso vivo: 300 x 28 MJ	= 8,40 GJ	
- Ganancia neta de peso vivo:	= 18,80 GJ	= 18,8 GJ
- Gestación: 120 días x 125 MJ	=	15,0 GJ
- Total de exigencias durante el año:	=	501,8 GJ
- Concentrados consumidos; (150 kg x 12,5 MJ)	=	187,5 GJ
- Energía metabolizable procedente de la hierba* :		
- Energía metabolizable extraída por ha:	=	78,5 GJ
- Producción de leche atribuible a los concentrados	=	37.500 kg
- Producción de leche atribuible a la hierba:	=	17.500 kg

Basada en Holmes, (1975)

\* Un pasto de buena calidad debe producir más de 83,5 GJ o 20 Gcal ha<sup>-1</sup> y año. Por debajo de 21 GJ o 5 Gcal apenas cubre las necesidades de mantenimiento.

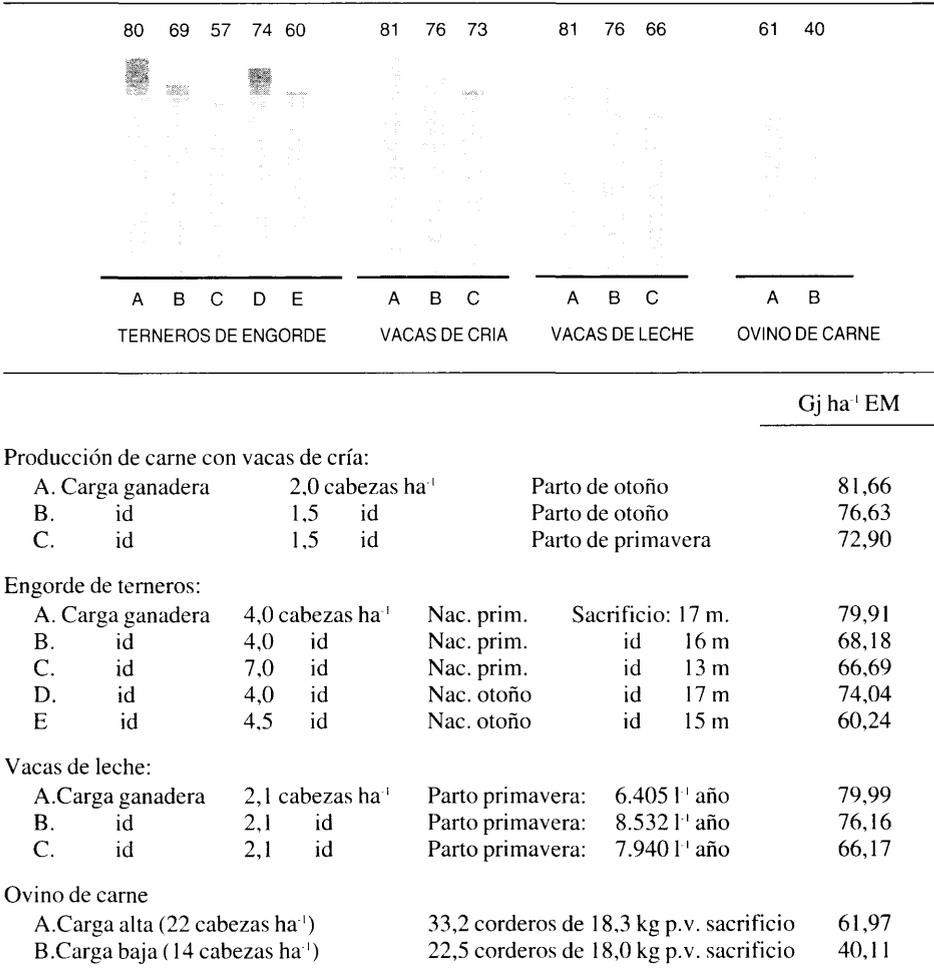
**TABLA 9**  
**Extracción de energía del pasto por varios sistemas de producción ganadera**  
*Metabolizable energy from pasture in different systems of animal production*

	Producción de carne con vacas de cría			Engorde de terneros					Ovino de carne		Producción de leche		
	A	B	C	A¥	B¥	C¥	D¥	E¥	Carga alta	Carga baja	A''	B''	C''
Carga ganadera <sup>1</sup>	2	1.6	1,5	4	4	7	4	4.5	22	14	2.1	2.1	1.99
Época del parto	Otoño	Otoño	Primav.	-	-	-	-	-	-	Primav.	Primav.	Otoño	-
Época del nacimiento	-	-	-	Primav.	Primav.	Primav.	Otoño	Otoño	Marzo	Marzo	-	-	-
Edad a la venta	8m	13m	11,5m	-	-	-	-	-	120d	120d	-	-	-
Edad al sacrificio: meses	-	-	-	17	16	13	17	15	-	-	-	-	-
Peso vivo al sacrificio: kg	281	420	400	456	430	375	475	419	18,3	18,0	-	-	-
Produc. leche: kg ha <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.405	8.532	7.940
Produc. carne: kg canal ha <sup>-1</sup>	320	333	358	950	900	1.300	1.000	1.000	-	-	-	-	-
Corderos produc.: cabezas ha <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	33,2	22,5	-	-	-
Peso vivo producido: kg ha <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	607,0	405,0	-	-	-
Peso canal producido: kg ha <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	285,0	190,0	-	-	-
Consumo ensilado: kg cabeza	6.150	9.600	11.081	900	-	2.250	5.000	3.700	-	-	-	-	-
Consumo pienso: kg cabeza	0	180	315	550	625	800	850	800	18,0	18,0	180	754	975
Necesidades EM: Mj cabeza													
Vaca	35.300	35.300	35.300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oveja	-	-	-	-	-	-	-	-	2.587	2.587	-	-	-
Ternero, cordero	-	-	-	26.578	24.795	18.127	28.711	22.287	860	908	-	-	-
Totales	146.100	57.864	57.648	-	-	-	-	-	3.447	3.495	-	-	-
Aporte leche madre: Mj cabeza	5.270	5.270	5.270	-	-	-	-	-	414	414	-	-	-
Aporte del pienso: Mj cabeza	0	2.610	3.780	6.600	7.500	9.600	10.200	9.600	216	216	2.160	9.048	11.700
Aporte del pasto: Mj/cabeza	40.830	50.434	48.598	19.978	17.295	9.527	18.511	13.387	2.817	2.865	38.090	36.267	33.250
<b>Extracción de EM: Mj ha<sup>-1</sup></b>	<b>81.660</b>	<b>76.631</b>	<b>72.897</b>	<b>79.912</b>	<b>68.280</b>	<b>66.689</b>	<b>74.044</b>	<b>60.241</b>	<b>61.974</b>	<b>40.110</b>	<b>79.989</b>	<b>76.160</b>	<b>66.167</b>

\* Resumida de Díez Díez, (1984).

<sup>1</sup>En cabezas ha<sup>-1</sup>, excepto terneros: t ha<sup>-1</sup>

**FIGURA 10**  
**Energía metabolizable utilizada del pasto por distintos sistemas de producción ganadera**  
*Metabolized energy from pasture in different systems of animal production*



Según Díez, 1984

Un pasto de buena calidad debe producir más de 83,5 Gj o 20 Gcal ha<sup>-1</sup> y año. Por debajo de 21 Gj o 5 Gcal apenas cubre las necesidades de mantenimiento.  
 La hierba cubre las necesidades de mantenimiento, gestación, incremento de peso vivo y producción de 1.750 kg de leche por cabeza.

**TABLA 10**  
**Comparación de algunos índices en la producción lechera en granjas de**  
**la UE y de Galicia**  
*A comparison of the use of conantotes, stocking rate, fertilizers and energy at milk farms*  
*in the EU and Galicia (Spain)*

	M.M.B. Inl-Gales	Holstein Alemania	Baviera Alemania	Bretaña Francia	Holanda	Irlanda	Dinamarca	A.D.G. Galicia Media General
Año de resultados	1983	1981	1981	1981	1981	1981	1981	1983
Número de fincas	1.652	371	361	452	256	152	1.930	100
Tamaño del rebaño (Vacas)	110	49	29	39	62	50	35	30
Litros/vaca	5.556	5.059	4.722	4.633	5.404	3.459	4.816	4.286
Concentrado: kg/vaca	1.817	2.350	1.370	1.019	1.547	496	1.970	1.058
Concentrado: kg/litro	0,32	0,46	0,26	0,22	0,29	0,14	0,41	0,28
Carga Ganadera: U.G.M/ha	2,15	2,28	2,14	1,94	2,87	1,76	3,24	2,00
Nitrógeno usado: kg/ha	247	-	125	250	343	182	157	73
Gigajulios: GJ ha	66,5	50,3	68,8	69,7	96,0	63,9	82,4	67,4

Según Díez (1984)

Fuente: A.D.G. Galicia . Equipo de Gestión

ción de los números al principio y al final del año, preferiblemente en registros semanales) y de la leche y peso del ganado vendido. De este total se deduce la energía metabolizable de todos los alimentos comprados. El resto, dividido por la superficie del pasto da la EM utilizada por ha. Es un sistema no muy preciso y ha sido criticado porque concede pleno crédito a los alimentos comprados mientras que lo desperdiciado, o la ineficacia del uso del alimento, se atribuye por completo a la hierba. No obstante, en Gran Bretaña se admite que los valores que exceden de 90 GJ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> se consideran satisfactorios, mientras que si caen por debajo de 40 GJ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> se debería determinar cuales son los factores responsables: si la baja productividad del pasto, la pobre utilización en pastoreo, defectuosa conservación, excesivo empleo de concentrados, mal manejo en general, o una combinación de todos estos factores (Holmes, 1989).

Sin entrar a discutir los supuestos de que se ha partido, a continuación se citan algunos trabajos realizados en España con esta finalidad. De la Hera (1984) partiendo de la fórmula  $EM = 24.975 + 4,96 \times L$  (EM = Energía metabolizable en Megajulios y L = litros de leche), aplicados a vacas de 550-600 kg de peso vivo con datos medios de 230 explotaciones de Cantabria, y de un grupo más destacado, que consumieron, respectivamente, 1.563 y 1.586 kg de un pienso concentrado de 13 MJ kg<sup>-1</sup> de EM, con una producción media de leche por vaca de 4.272 y 5.008 litros, en el año 1983 obtuvo extracciones por ha de pasto al año de 57,65 GJ como media del total y 85,62 GJ por el grupo destacado. Asimismo, comparando los datos de 40 explotaciones durante los años 1982 y 1983 calculó extracciones de 58,70 GJ y 66,47 GJ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> respectivamente. Cita, por último, los resultados obtenidos en otras regiones, dentro del rango de los citados, y establece que los techos podrían alcanzar los 146 GJ de EM por ha y año, valor un poco superior al que registra para Irlanda del Norte: 144 GJ ha<sup>-1</sup>. Concluye, entre otras afirmaciones, que el aumento de la carga ganadera de 2,31 vacas a 5,0 vacas y la mejora del abonado y el manejo permitiría en Cantabria alcanzar los citados techos con carácter general. Díez (1984) ha suministrado también datos sobre la energía metabolizable extraída del pasto con diferentes sistemas de producción ganadera (tabla nº 9 y figura nº 9) datos que se ilustran en la figura núm. 10.

Asimismo, Nuño *et al* (1990) del Centro Experimental de Villaviciosa de Asturias, en parcelas estudiadas durante los años 1986, 87 y 88, sembradas, unas con *Lolium hybridum* y otras con *L. perenne*, de diferentes precocidades, asociadas a *Trifolium repens*, en una primera aproximación obtuvieron 116 GJ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Y más recientemente, Salcedo (1994), siguiendo también durante tres años (1991-1993) la evolución de la producción de hierba y las respuestas en producción de leche, al aumento gradual de la carga ganadera de un prado sembrado de *Lolium perenne* y *Trifolium repens*, calculó la oferta media de hierba en 115 GJ y la utilizada en un 94% de aquella, lo que representa una extracción de EM próxima a 108 GJ ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Díez (1984) ha suministrado datos sobre la energía metabolizable extraída del pasto con diferentes sistemas de producción ganadera (tabla nº 8 y figura nº 9) así como la comparación con fincas lecheras de la CEE (tabla nº 9).

### **3.2 La energía complementaria en los sistemas de producción ganadera a base de hierba**

La producción de hierba y la producción ganadera han estado sometidas a un proceso de intensificación que ha supuesto una disminución de la mano de obra y un mayor empleo de medios de producción y, consiguientemente, mayor consumo de energía complementaria por unidad de superficie o de producto. Los medios de producción incluyen edificios e instalaciones diversas, maquinaria, abonos minerales (además de los orgánicos), productos fito y zoonutrientes, herbicidas, combustibles o energía eléctrica, piensos compuestos y, en el caso del pastoreo, cercas de diversos tipos, abrevaderos, etc. Ha sido especialmente notorio el mayor empleo de fertilizantes comerciales y de maquinaria e instalaciones para las prácticas de conservación: ensilaje, henoificación o desecación y deshidratación, comunes en los modernos sistemas de producción de hierba, y de piensos compuestos cuando a esta va unida la intensificación de la producción ganadera<sup>7</sup>.

Para la inclusión de estas "entradas" de medios de producción en el balance energético se han elaborado tablas de transformación de los mismos en unidades de energía (o de trabajo). Los índices que incluyen varían, a veces de modo significativo, para la misma partida, debido a las diferentes condiciones técnico-económicas en que se han obtenido los referidos medios de producción. En la tabla nº 11 se incluyen los aportados por Leach and Slesser (1973), Pimentel and Pimentel (1979), Ward et al (1979) y Lewis and Tatchel (1979).

De todas estas entradas, la que puede presentar mayores dificultades para su valoración es, sin duda, el trabajo humano. Fernández (1982), que se ha detenido particularmente en este punto, advierte del peligro de error que entraña la elección del coeficiente de transformación del trabajo sin un criterio correcto. Partiendo de que el consumo calórico diario medio de un hombre de unos 70 kg de peso que realiza un trabajo normal en el me-

---

7. Este último hecho tiene particular importancia porque el principal consumo energético de la ganadería intensiva española está representando por los piensos compuestos, elaborados en gran parte con materias primas de importación: maíz y soja. Según cálculos un poco antiguos realizados por nosotros (González, 1974) -que con gran facilidad se pueden actualizar- en el periodo 1968-1972, el saldo energético medio en materias primas para piensos nos fué desfavorable en unos 11 millones de Gcal (equivalentes a 12,8 millones de kwh). Naredo y Campos (1980) calcularon que la energía contenida en los cereales y oleaginosas pienso importados en 1977-78 representó alrededor del 3,3 por ciento del consumo bruto de energía primaria en combustibles y electricidad, el 27 por ciento de las inversiones energéticas y el 37 por ciento de las entradas energéticas de la misma procedencia si se tiene en cuenta, además, la energía gastada en las fábricas de pienso. Todo esto, expresado de otra manera, quiere decir que en España se importaron 1,39 kcal de piensos por cada kcal de producto ganadero.

TABLA 11

**Factores de transformación de los medios de producción en unidades de energía**  
*Conversion factors in energy units of different inputs (support energy)*

<i>Trabajo humano</i> (muy variable, según criterios) <sup>2</sup>	0,18 Mcal h <sup>-1</sup>		
<i>Trabajo animal</i> <sup>1</sup> :			
Yunta de bueyes (obra)	1,35 x 10 <sup>5</sup> kcal		
Pareja de mulas	1,08 x 10 <sup>5</sup> kcal		
<i>Abonos</i> :			
Nitrogenados (media) <sup>2,7,8</sup>	19,12 Mcal k	12,8 Mcal kg <sup>-1</sup> N	18 Mcal kg <sup>-1</sup> N
Amoniaco líquido <sup>3</sup>		14,5 Mcal kg <sup>-1</sup> N	
Urea <sup>3</sup>		19,2 Mcal kg <sup>-1</sup> N	
Sulfato amónico <sup>3</sup>		18,0 Mcal kg <sup>-1</sup> N	
Nitrato amónico <sup>3</sup>		16,7 Mcal kg <sup>-1</sup> N	
Fosfóricos (media) <sup>2,3,8</sup>	2,87 Mcal kg <sup>-1</sup> P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	3,4 Mcal kg <sup>-1</sup> P	3,35 Mcal kg <sup>-1</sup>
Potásicos (media) <sup>3,7,8</sup>	2,51 Mcal kg <sup>-1</sup> K <sub>2</sub> O	2,3 Mcal kg <sup>-1</sup> K	1,92 Mcal kg <sup>-1</sup>
<i>Enmiendas calizas</i> <sup>4</sup>	0,48 Mcal kg <sup>-1</sup>		
<i>Pesticidas</i> <sup>5</sup> :			
Fitosanitarios y herbicidas <sup>7</sup> (principio activo)	26,2 Mcal kg <sup>-1</sup>	107,50 Mcal kg <sup>-1</sup>	
<i>Semillas</i> <sup>4</sup>	25,0 Mcal kg <sup>-1</sup>		
<i>Piensos compuestos</i> <sup>8</sup> (colaboración industrial)	1,0 Mcal kg <sup>-1</sup>		
<i>Maquinaria agrícola</i> <sup>2</sup> (media general/fábrica):	20,52 Mcal kg <sup>-1</sup>		
<i>Tractores</i> (fabricación, conservación y uso):			
50 cv	45,08 Mcal h <sup>-1</sup> trabajo		
65 cv	54,86 Mcal h <sup>-1</sup> trabajo		
90 cv	59,70 Mcal h <sup>-1</sup> trabajo		
Transporte <sup>5</sup>	1,00 Mcal		
<i>Riego</i> <sup>6</sup> , media USA (muy variable):	2.470,00 Mcal ha <sup>-1</sup>		
Tubo férreo	19,00 Mcal kg <sup>-1</sup>		
Tubo de cobre o latón	1,90 Mcal kg <sup>-1</sup>		
Tubo de plástico	1,40 Mcal kg <sup>-1</sup>		
<i>Construcciones</i> :			
Metal	13,4 Mcal t <sup>-1</sup>		
Mampostería	0,8 Mcal t <sup>-1</sup>		
<i>Carburantes</i> <sup>2,8</sup> :			
Gasolina	8,15 Mcal l <sup>-1</sup>		
Aceite pesado	9,20 Mcal l <sup>-1</sup>		
Propano	6,31 Mcal l <sup>-1</sup>		
Gas natural	9,00 Mcal m <sup>-3</sup>		
Carbón	6,18 Mcal kg <sup>-1</sup>		

Fuentes: <sup>1</sup>Fernández González, (1982); <sup>2</sup>Ward et al., (1977); <sup>3</sup>Fernández González, (1982) a partir de Mercier (1978) y Leach and Slesser (1973); <sup>4</sup>Pimentel and Pimentel, (1979); <sup>5</sup>Mercier, (1978); <sup>6</sup>Lucas, (1971); <sup>7</sup>Lewis and Tacthell (1979); <sup>8</sup>Leach, (1976).

dio rural es de unas 3.200 kcal (Lucas, 1974), de las que 600 deberían proceder de productos animales, y suponiendo que cada una de éstas exige el gasto de 10 kcal de origen vegetal, el consumo energético debido a la alimentación podría fijarse en unas 8.600 kcal al día de biomasa primaria, lo que unido a los gastos de bienestar y de transporte, daría una cifra de 16.000 kcal día<sup>-1</sup> como consumo energético del agricultor poco mecanizado, y de 30.000 kcal día<sup>-1</sup> para el agricultor de países desarrollados o avanzados. A partir de aquí se pueden realizar los cálculos correspondientes a cada hora de trabajo. Sin embargo, es común utilizar alguno de los citados en la tabla nº 9, aunque, en todo caso, no es un dato muy relevante dado que en la producción de hierba y en la producción ganadera, como en toda la agricultura, la mano de obra que se utiliza es cada vez menor.

### 3.2.1 El balance de la energía complementaria en la producción de hierba

En la producción de hierba ha sido muy importante el incremento del uso de instalaciones para la recolección y conservación, así como de abonos comerciales, sobre todo nitrogenados, hasta el punto de que en los momentos más agudos de la crisis energética, una referencia obligada en la mejora genética de las gramíneas pratenses (y su valor agronómico) era su capacidad de respuesta a los mismos (con anterioridad se había llegado a excluir de las mezclas a los tréboles por su comparativamente menor rendimiento en materia seca).

De hecho, un mayor empleo de instalaciones, maquinaria y abonos comerciales provoca una disminución de la eficacia energética. Spedding and Hoxey (1975) dan un ejemplo de Walsingham (tabla nº 12) sobre el efecto de la utilización de fertilizantes nitrogenados y de la desecación en la eficacia con que se utiliza la energía complementaria para la producción de hierba. Asimismo, en la tabla nº 13, elaborada con datos de White *et al* (1987) se exponen otros ejemplos del efecto de la utilización del fertilizantes, del ensilaje y de la henificación sobre la referida eficacia. En ella se puede comprobar que, en general, las leguminosas (alfalfa y trébol) son más eficientes que las gramíneas (ballico perenne) en el uso de la energía complementaria; no así en la producción de energía metabolizable, en la que muestran una reducción del 10 al 15 por ciento y la mezcla *Lolium perenne* + *Trifolium repens* del 30 al 40 por ciento. El pastoreo de *Lolium* y de *Lolium* + *Trifolium* es la forma de usufructo energéticamente más eficiente y da el mayor rendimiento por ha. El aditivo en el ensilaje directo y la desecación en henil hacen disminuir la eficiencia energética, pero en ambos casos los rendimientos son comparables a los de ensilaje con pre-marchitamiento<sup>8</sup>.

8. El papel de las leguminosas en el ahorro de energía complementaria (abonos nitrogenados) fue ampliamente debatido en el referido IIº General Meeting of the EGF. Véase, por ejemplo, la ponencia de Ramos A. y Quintana, J. "The role of legumes in energy saving". Y Younie *et al.* (1986) quienes obtienen que el gasto de energía complementaria fué sóloamente el 56 % en los pastos que recibieron escasa fertilización nitrogenada (mientras que la eficacia fue un 40 % mayor) que en los fertilizados con 270 kg N ha<sup>-1</sup> con un beneficio económico mayor también para los primeros.

TABLA 12

**Efecto de la utilización de abonos nitrogenados y de la desecación de la hierba sobre la eficacia (Ef) de la energía complementaria (Walsingham, 1975).**

*Effect of N-fertilizer use and drying on efficiency of support energy use.*

Cultivo kg <sup>-1</sup> ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	N fertilizante	Ef = $\frac{\text{Energía bruta producida}}{\text{Energía complementaria consumida}}$	
		Estado	Ef
Lolium perenne	217	Fresco	5,5
		Desecado	0,98
Lolium perenne	417	Fresco	4,9
		Desecado	0,95
Medicago sativa	-	Fresco	38,0
		Desecado	1,15

En España, partiendo de los datos suministrados por de Blas (1983), el consumo de energía fósil para la obtención de heno de alfalfa en el regadío de Badajoz (11.753 Mcal ha<sup>-1</sup>) es, casi cinco veces superior al consumo de dicha energía en praderas pastadas de Cantabria (2.706 Mcal ha<sup>-1</sup>) o de Galicia (2.112 Mcal ha<sup>-1</sup>). Tomando los rendimientos -tal vez excesivamente bajos- de 35.000, 30.000 y 20.000 Mcal ha<sup>-1</sup> los índices de eficacia serían, respectivamente, 3, 11,09 y 9,47. Es así evidente que la eficacia disminuye notablemente con el uso de maquinaria, de suerte que la habilidad del animal para recolectar su propio alimento es posiblemente la principal ventaja, especialmente en los terrenos que se sigan utilizando como pastos en el futuro. Asimismo, la preparación, especialmente la desecación, tiene un enorme efecto sobre la eficacia. Según los citados Spdding and Hoxey, disminuye el valor en el caso de Lolium perenne hasta, aproximadamente, el 80 por ciento.

### 3.2.2 El balance de la energía complementaria en la producción ganadera a base de hierba

Al consumo de energía complementaria en la producción de hierba hay que añadir la que se gasta en la producción animal misma. En términos generales, la producción animal es menos eficaz en el uso de esta energía que los sistemas de producción vegetal (tabla nº 14);

TABLA 13

**La utilización de energía complementaria (EC) en la producción de materia seca (MS) y energía metabolizable (EM) por Lolium perenne (Lp), Medicago sativa (A) y mezclas de Lolium perenne con Trifolium repens (Lp+Tr) bajo diferentes sistemas de usufructo.**  
*Support energy for perennial ryegrass (Lp), lucerne (A) and ryegrass/white clover (Lp+Tr) forages.*

	Pastoreo nulo			Pastoreo		Ensilaje directo		Ensilaje con premarchitamiento			Heno curado en el campo		Heno desecado en henil	
	Lp	A	Lp+Tr	Lp	Lp+Tr	Lp	A	Lp	A	Lp+Tr	Lp	A	Lp	A
Fertilizantes: Gj ha <sup>-1</sup>	37,00	7,90	1,72	33,70	5,02	27,50	7,90	27,50	7,90	5,02	27,50	7,90	27,50	7,90
Combustibles: Gj ha <sup>-1</sup>	3,10	3,50	0,34	0,60	2,19	4,20	3,80	4,80	4,60	2,99	2,40	2,40	2,50	2,50
Depreciación maquinaria: Gj ha <sup>-1</sup>	2,40	2,50	0,46	0,60	1,89	3,00	2,80	3,60	3,60	2,90	2,40	2,50	2,50	2,60
Almacenamiento: Gj ha <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	4,10	3,70	3,90	3,50	-	1,20	1,10	1,40	1,20
Aditivo en el ensilaje: Gj ha <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	9,20	16,60	-	-	-	-	-	-	-
Desecación: Gj ha <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29,70	26,10
Totales: Gj ha <sup>-1</sup>	42,50	13,90	2,52	34,90	9,10	48,00	34,80	48,00	39,80	13,30	33,60	13,90	63,00	40,30
Forraje como alimento: MS t ha <sup>-1</sup>	10,10	11,70	7,60	10,20	7,52	10,50	9,56	10,50	16,90	6,24	9,36	8,02	10,30	8,97
EC de forraje: Mj kg <sup>-1</sup> MS	4,21	1,19	0,33	3,42	1,21	4,56	3,88	4,56	3,88	2,13	3,59	1,73	6,19	4,48
EM: Mj kg <sup>-1</sup> MS	11,60	10,40	11,60	11,60	11,60	10,40	10,40	10,40	10,10	10,10	9,20	9,00	9,90	9,80
EM: Gj ha <sup>-1</sup>	117,0	122,0	82,20	118,0	87,20	110,0	99,00	110,0	104,0	63,00	86,00	72,20	102,0	87,90
Relación EM/EC:	0,36	0,11	0,03	0,30	0,10	0,44	0,35	0,44	0,38	0,21	0,39	0,19	0,63	0,46

Fuente: White et al. (1987)

pero los sistemas de producción ganadera a base de hierba son generalmente mucho más eficaces que los sistemas intensivos a base de alimentos concentrados, sea cualesquiera la especie y la producción. Esto lo ilustran muy bien los trabajos norteamericanos citados por Insenrat (González, 1981) que, en cifras redondas, expresan que para la producción de 1 kcal alimenticia de carne de bovino se precisan 0,3 kcal, 3,0 kcal y 10 kcal de energía complementaria en la explotación extensiva en pastoreo, en la alimentación con forrajes segados y en la alimentación intensiva a base de concentrados, respectivamente.

TABLA 14

**La eficacia (E) del uso de la energía complementaria en los sistemas agrarios  
(Spedding and Walsingham, 1975)**

*Efficiency of suport energy in agricultural systems*

Trigo	4,6
Guisantes	3,2
Patatas	3,5
Leche	0,62
Carne de ovino	0,39
Carne de vacuno	0,18
Energía bruta en el producto comestible	
Energía complementaria consumida (a la entrada a la granja)	

Concretando más, Ward *et al.* (1977) estudiaron comparativamente las exigencias de energía complementaria de la producción de carne de vacuno bajo varios sistemas de explotación y combinaciones de los mismos en Colorado: pastoreo extensivo de montaña, prados altos, prados de regadío, vacas y terneras en confinamiento, alimentación intensiva en estabulación a base de ensilado o de grano de maíz y terneros producidos por vacas lecheras (tabla nº 15). Como muestra la última columna de la referida tabla, el consumo de energía complementaria por unidad de energía alimenticia producida en los cinco sistemas estudiados pasó de 1,7 en el pastoreo extensivo de montaña a 12,4 en el vacuno explotado en estabulación con hierba de prados de regadío. Es decir, la explotación intensiva para la producción de carne consumió 7,3 veces más energía complementaria que la explotación extensiva aprovechando directamente los pastos de montaña.

También, White *et al.* (1987) en el ya referido trabajo, dan los resultados en diferen-

TABLA 15

**Utilización de la energía complementaria en varias combinaciones de sistemas de explotación de vacuno de carne por periodo de crecimiento.**  
*Efficiency of support energy at differents periods in different of beet production systems*

Nacimiento-400 libras	Energía utilizada (Mcal por cabeza)		TOTAL	(a) Indice de transformación
	400-700 libras	700 <sup>-1</sup> 10 libras		
Pastoreo extensivo sin suplementos 234	Pastoreo extensivo sin suplementos 210	Pastoreo extensivo 403	850	1,7
Pastoreo extensivo más suplementos 974	Pastoreo mantenimiento 1.830	Estabulación ensilado 870	3.670	7,3
Pastoreo extensivo más suplementos 974	Pasto de regadío 1.830	Estabulación-maiz (riego superficial) 870	3.670	7,3
Ternera de vacuno lechero 409	Mantenimiento prado 706	Estabulación maíz 1.348	2.460	4,9
Estabulación 2.300	Pasto de regadío 1.830	Estabulación copos de maiz 2.120	6.250	12,4

(a) Energía consumida (desde el nacimiento al peso de mercado) por unidad de energía comestible en la carne vendida al por menor.

De Ward *et al.*, 1977,

TABLA 16  
**La energía complementaria en varios sistemas de producción bovina \***  
*Support energy for selected milk and beef production systems*

Sistema de producción⇒	Producción de leche					Producción de carne de vacuno				
	<i>Lolium perenne (Lp)</i> Pasto + ensil. pm.		Pasto+Heno Sec. hn	<i>Lp/Trifolium repens</i> Pasto + ensil. pm.		<i>L. perenne, pasto</i> + ensil. pm.		<i>Lp/T. repens</i> Pasto + ensil. pm.		<i>Lp/Ensilado</i> premarchit <sup>o</sup>
	1.PO	2.PP	5.PO	7.PO	8.PO	1 Lechal	2 18 meses	3 Lechal	4 18 meses	Estabulación 14 meses
Hierba pastada	8,2	8,9	8,2	0,8	0,9	4,9	2,6	0,5	0,3	-
Hierba conservada	5,7	7,1	9,2	3,1	3,9	5,1	2,9	2,8	1,6	5,5
Concentrado	12,6	8,1	12,6	12,6	8,1	5,4	7,8	5,4	7,8	6,8
<i>Total energía complementaria alimentos:</i>	26,5	24,1	30,0	16,5	12,9	15,4	13,3	8,7	9,7	12,3
Electricidad	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-
Establo: lechería, equipo	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Alimentación, combustible y máquinas	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	-	-	-	-	-
Combustible y depreciación máquinas	-	-	-	-	-	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
<i>Total energía complementaria:</i>	34,9	32,5	38,4	24,9	21,3	17,4	15,3	10,7	11,7	14,3

PO : parto de otoño; PP: parto de primavera; Sec. hn.: Secado en heno; ensil. pm.: ensilado premarchitado

Fuente: Wihite *et al.*, 1987

TABLA 17

**La utilización de energía complementaria por diferentes sistemas de producción lechera**

*The efficiency of support energy in different milk production systems*

	Energía complementaria GJ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Energía producida GJ ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	E. consumida	
			E. producida	
1. PQ. <i>Lolium perenne</i> , pastado + ensilado premarchitado	47.3	25.2	1,88	
2. PP. <i>Lolium perenne</i> , pastado + ensilado premarchitado	48.9	28.0	1,75	
3. PO. <i>Lolium perenne</i> , pastado + ensilado directo	48.9	25.4	1,92	
4. PO. <i>Lolium perenne</i> , pastado + heno curado en el campo	45.6	24.2	1,88	
5. PO. <i>Lolium perenne</i> , pastado + heno desecado en henil	51.9	25.1	2,07	
6. PO. <i>Lolium perenne</i> , pastado + ensilado de alfalfa premarchitada	42.9	24.7	1,74	
7. PO. <i>Lolium perenne/Trifolium repens</i> , pastado + ensilado premarchitado	27.4	20.4	1,34	
8. PP. <i>Lolium perenne/Trifolium repens</i> , pastado + ensilado premarchitado	24.5	21.5	1,14	
9. PO. <i>Lolium perenne/Trifolium repens</i> , pastado + ensilado premarchitado	33.5	22.7	1,48	
10. PO. <i>Lolium perenne/Trifolium repens</i> , pastado + ensilado premarchitado	29.8	22.3	1,34	

PO. = Partos de otoño

PP. = Partos de primavera

Fuente: Withe *et al.* 1987

tes sistemas de producción ganadera, resultados que se detallan en las tablas nº 16 y 17. Ellos reflejan la mayor eficacia energética del consumo de hierba basada en leguminosas, pero con diferencias menos marcadas con consumos altos de concentrados, energéticamente costosos. En la producción lechera, los pastos de primavera son más eficaces en la utilización de la energía complementaria que los pastos de otoño a causa de que se consume una menor proporción de energía metabolizable en forma de concentrados. En la producción de carne, la eficacia energética de los terneros de leche, en relación con la producción de carne de terneras nacidas en hatos lecheros, es menor debido a la necesidad de mantener a la vaca nodriza. La mayor eficacia la muestra la producción de carne de vacuno a base de ensilado de maíz. En lo que se refiere a la producción de corderos (tabla nº 18) en los que el uso de concentrados es mínimo, también las mejoras substanciales en la eficacia energética se obtienen utilizando mezclas de gramíneas con tréboles, en comparación con gramíneas solas (White *et al.*, 1982).

TABLA 18

**Energía complementaria en sistemas de producción de corderos  
(Pasto + ensilado premarchitado). White et al., 1982**

*Support energy for lamb production systems (grazed + wilted silage)*

Sistema	Energía complementaria	Energía producida	Energía gastada
	Gj ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Gj ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>	Energía producida
<i>Lolium perenne</i>	38,8	10,6	3,68
<i>L. perenne/Trifolium repens</i>	11,8	7,82	1,51

Finalmente, Díez (1984), ha comparado los resultados y la utilización de concentrados, fertilizante nitrogenado, carga ganadera y energía metabolizable de fincas lecheras de la CEE y de Galicia, como orientación para la mejora de la eficacia de las últimas (Tabla nº 10).

## BIBLIOGRAFÍA

- BAKER, R.D., 1982. Estimating herbage intake from animal performance. En: *Herbage Intake Handbook*. J.D. Leaver (Ed.). British Grassland Society, Hurley. U.K.
- BOYELDIEU, J. 1980. Precautions méthodologiques pour l'étude énergétique des systèmes de productions agricoles. *Colloque Intern. CENECA*. París.
- COOPER, J.P., 1975. Photosynthesis and Productivity in Different Environments. *Intern. Biol. Programme*, 3. J.P. Cooper (ed.) Cambridge Univ. Press.
- BLAS de, C., 1983. *Producción intensiva de vacuno*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- DUCKHAM, A.N., 1967. Grassland Energetics. *Advanced Course on Grassland Research*. Grassland Research Institute/British Council. Hurley. U.K.
- DÍEZ, J.L. 1984. Los pastos en Galicia. Sistemas y utilización por las diferentes especies ganaderas. *XXI Reunión Científica de la Sociedad Ibérica de Nutrición Animal (SINA)*. Santiago de Compostela.
- FERNÁNDEZ, J., 1982. Balance energético de las explotaciones agrarias. *13<sup>TM</sup> Conf. Intern. de Mecanización Agraria*. Zaragoza.
- FORBES, T.J., DIBB, C., GREEN, J.O., HOPKINS, A. and PEEL, S., 1980. Factors affecting the production of permanent grassland. *Joint Permanent Pasture Group*. Hurley. U.K.
- GONZÁLEZ, G., 1974. La producción vegetal como fuente de energía y proteína alimentarias. *Rev. Univ. Complutense de Madrid*. 23, 41-46.
- GONZÁLEZ, G., 1980-81. La agricultura y la crisis de la energía. *Rev. Univ. Complutense de Madrid*. I, 24-42.
- GONZÁLEZ, G., 1981. Balance energético de la producción agraria. En C.V. Córdoba (Ed.) *Productividad Vegetal*. Universidad Complutense de Madrid.
- GONZÁLEZ, G., 1981. La economía de la energía en la explotación del ganado. En MOPU (Ed.) *Veterinaria y Medio Ambiente*. Madrid.
- HEATH, S.B. and ROBERTS, E.H., 1981. The determination of potential crop productivity. En: C.R.W. Speeding (Ed.), *Vegetable Productivity*. MacMillan Publishers. London.
- HERA, V. de la, 1984. Alimentación del ganado vacuno lechero sobre praderas de Cantabria. *XXII Reunión Científica de la S.I.N.A.* Santiago de Compostela.
- HOLMES, W., 1989, (Ed.). Grass, its production and utilization. *British Grassl. Soc.* (Publ.) 2nd ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford, U.K.
- LEACH, G., 1976. Blackwell and Food Production. *IPC Science and Technology*. London.
- LEACH, G. and SLESSER, M., 1973. Energy equivalents of network inputs to food processes. University of Strathclyde. Glasgow, U.K.
- LEDENT, J.F. et ISERENTANT, R., 1976. L'exploitation de l'énergie solaire en agriculture. *Rev. de l'Agriculture*, 816-841.
- LEWIS, D.A. and TATCHELL, J.A., 1979. Energy in U.K. Agriculture. *J. Sci. Food Agric.*, 3, 449-457.
- LOOMIS, R.S. and GERAKIS, P.A., 1975. En: J.P. Cooper (Ed.) Photosynthesis and Productivity in Different Environments. *Int. Biol. Programme*, 3. Cambridge Univ. Press.
- LUCAS, F., 1979. L'énergie en agriculture. *Informe OCDE*. París.
- MACFADYEN, J.B., 1964. Grazing in Terrestrial and Marine Environments. D.J.-Crips (Ed.) *British Ecol. Soc. Symposium*.

- MERCIER, J.R., 1978. *Energy et Agriculture*. Ed. Debard, París
- MESTRE, R., 1992. Evolución de la producción y calidad de la hierba en praderas naturales de la zona costera del País Vasco explotadas en pastoreo rotacional. *XXXII Reunión Científica de la S.E.E.P.* Pamplona.
- MARGALEF, R., 1975. Limnology for the grassland scientist. Proc. 6<sup>th</sup> Reunión General de la European Grassland Federation. Madrid
- MARGALEF, R., 1986. Ecología. Cap. 13: 435-472. Ed. OMEGA. Barcelona.
- MONTHEIT, J.L., 1978. Reassessment of maximum growth rates for C3 and C4 crops. *Experimental Agriculture*, 14, 1-5.
- MUSLERA, E. y RATERA, C., 1991. *Praderas y forrajes. Producción y aprovechamiento*. Ed. Mundi-Prensa, 2<sup>th</sup> Ed. Madrid.
- NAREDO, J.M. y CAMPOS, P., 1980. Los balances energéticos de la agricultura española. *Agricultura y Sociedad*, 15, 163-225. Madrid.
- NU—O, I.; SÁNCHEZ, L.; de la ROZA, B.; MARTÓNEZ, A.; ANTU—A, A; CORNEJO, E. y ARGAMENTERÓA, A., 1990. Evolución de la producción y valor nutritivo de praderas naturales y sembradas aprovechadas en pastoreo rotacional en la zona costera de Asturias. *XXX Reunión Científica de la S.E.E.P.* San Sebastián.
- PENNING de VRIES, F.W.T., 1972. En A.R. Rees, K.E: Cocksull, D.W. Hand and R.G. Hrd (Ed.): *Crops processes in controlled environments*. Academic Press. London.
- ROSSITER, 1967. The potential yields of forage crops. *Advanced Course on Grassland Research*. Grassland Research Institute/British Council. Hurley. U.K.
- SALCEDO, G., 1994. Evolución de la producción de hierba y leche en un sistema de pastoreo rotacional en la zona costera de Cantabria. *XXXIV Reunión Científica de la S.E.E.P.* Santander
- SLESSER, M. and LEWIS, C., 1979. *Biological Energy Resources*. E. and F.N. Spoon (Ed.). London.
- SPEDDING, C.R.W., 1979. *Sistemas agrarios*. Trad. de G. González, 1982. Ed. Acribia. Zaragoza.
- SPEDDING, C.R.W. and HOXEY, A., 1975. The biological efficiency of grassland farming. Proc. 6<sup>th</sup> Reunión General de la Federación Europea de Pastos (E.G.F.). Madrid.
- TERNEIRO, P.C., 1989. Gramíneas vivazes en C4. Potencial introducción a los sistemas de regadío. *II Reunión Ibérica de Pastos y Forrajes (XXIX R.C. de la S.E.E.P.)*. Badajoz-Elvas.
- VAN SOEST, P.T., 1982. *Nutritional Ecology of the ruminant*. O. and B. Books. Corvallis. Oregón, USA.
- VADELL, J. y MEDRANO, H., 1990. Distribución de la biomasa y penetración de la luz en praderas de trébol subterráneo. *XXX Reunión Científica de la S.E.E.P.* San Sebastián.
- WALSINGHAM, J.M., 1972. En C.R.W. Spedding and A. Hoxey, 1975. The biological efficiency of grassland farming. Proc. 6<sup>th</sup> Reunión General de la Federación Europea de pastos (E.G.F.). Madrid.
- WARD, G.M.; KNOX, P.H.; HOBSON, B and YORKS, 1977. En W. Lockerets, 1977. *Agriculture and Energy*. Academic Press.
- WHITE, D.J.; WILNISON, J.M. and WILKINS, R.J., 1986. Support energy use in animal production from grassland. Proc. 11<sup>th</sup> General Meeting E.G.F. Troia-Setubal. Portugal.
- WILLIAMS, O.B., 1964. En Rossiter, 1967. Loc. cit. younie, d.; HEATH, S.B. and COPEMANN, G.J.F.; 1986. A comparison of beef systems based on high or low inputs of support energy. Proc. 11<sup>th</sup> General Meeting E.G.F. Troia-Setubal. Portugal.

## SUMMARY

### THE ENERGETIC APPROACH TO HERBAGE PRODUCTION

Grassland, moreover other roles, play the very important one of being the only alternative to convert solar radiation into feed and food energy on any soil conditions and with a minimum cost of support energy when herbage cover is utilized by grazing animals. Energy balance do not substitute economy account, but are useful to compare the technical efficiency of different grassland systems in the use of solar radiation and/or support energy to yield each product. A calculation of potential DM yield (stored energy) and relative efficiency based on a total solar radiation receipt of  $40 \times 10^6 \text{ kcal ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  gives  $449 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$  of total DM and 4,7 %, respectively. Several examples are given of relative efficiencies in the use of solar and support energy to produce DM ME and foods (milk, beef and lamb) under different grassland and production systems in Spain and other countries. A method to calculate metabolizable energy utilized by milking cows from pasture is reported.

**Key words:** Grassland. Energy balance. Efficiency. Solar, support energy. Production systems.