



## **CURSO DE NUTRICION ANIMAL**

**2010**

### **Tema 9 . BIOENERGETICA**

Material elaborado por:

**Ing. Agr. Roberto Bauza**

[rbauza@fagro.edu.uy](mailto:rbauza@fagro.edu.uy)

**Montevideo**

**Uruguay**

## **ENERGIA**

### **1. Introducción:**

- \* **Principios y Definiciones**
- \* **Requerimientos celulares de energía y su satisfacción**

### **2. Energía de los alimentos**

Esquema convencional de partición de la energía

### **3. Requerimientos**

- \* **Estimación**
- \* **Partición de los requerimientos**
  - **mantenimiento**
  - **producción**
- \* **Formas de expresión de los requerimientos**

## BIOENERGÉTICA

- *Estudio de los cambios energéticos (transferencia y utilización de la energía) que acompañan las reacciones químicas en los organismos vivos.*
- *Estudio del aporte alimentario y de los requerimientos de energía de los animales*

### Principios y definiciones

**Energía = capacidad de realizar un trabajo**

- **“Trabajo biológico”** = todo proceso llevado a cabo por el animal para crear y mantener su organización esencial:
  - Síntesis de macromoléculas
  - Generación de gradientes eléctricos y químicos para transportes activos
  - Contracción de músculos para realizar movimientos al interior o exterior del cuerpo

## Formas de la energía

- Energía química: E requerida o liberada cuando los átomos se reordenan en una nueva configuración molecular
- Energía eléctrica: E obtenida por la separación entre cargas positivas y negativas
- Energía mecánica: E del movimiento organizado
- Energía cinética o calor: E de la materia debida al movimiento continuo al azar de sus átomos y moléculas

## Energía para los animales

- Los animales utilizan la *energía química* liberada por ruptura de los enlaces de los productos orgánicos para realizar los “trabajos” celulares.
- La energía eléctrica y la mecánica se pueden utilizar para algunos trabajos fisiológicos
- La energía térmica no puede ser utilizada para ningún tipo de trabajo fisiológico

## **Energía para los animales**

- **Parte de la energía de los alimentos puede ser depositada en tejidos del animal (o productos) en forma de energía química**
- **Parte de la energía se pierde en el proceso de síntesis, en forma de calor (ineficiencia)**
- **La energía utilizada en la realización de trabajos se transforma (pierde) en calor**

## **UNIDADES DE EXPRESIÓN DE LA ENERGÍA**

**caloría: calor necesario para elevar la temperatura de un gramo de agua 1° C (de 14,5 a 15,5° C ) a 1 atm de presión.**

**joule: energía necesaria para desplazar una masa de un quilogramo una distancia de un metro con una aceleración de un metro/segundo**

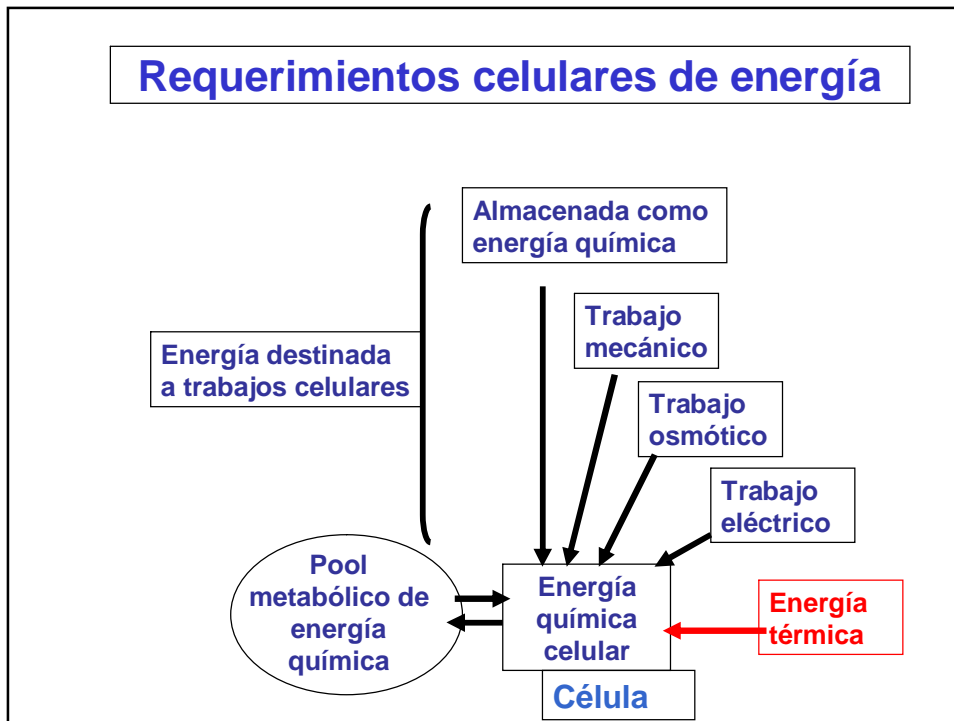
### **Conversiones:**

- 1 caloría → 4,184 joules
- 1 Kcal (quilocaloría) → 1000 cal
- 1 Mcal (megacaloría) → 1000 Kcal
- *Idem para los joules*

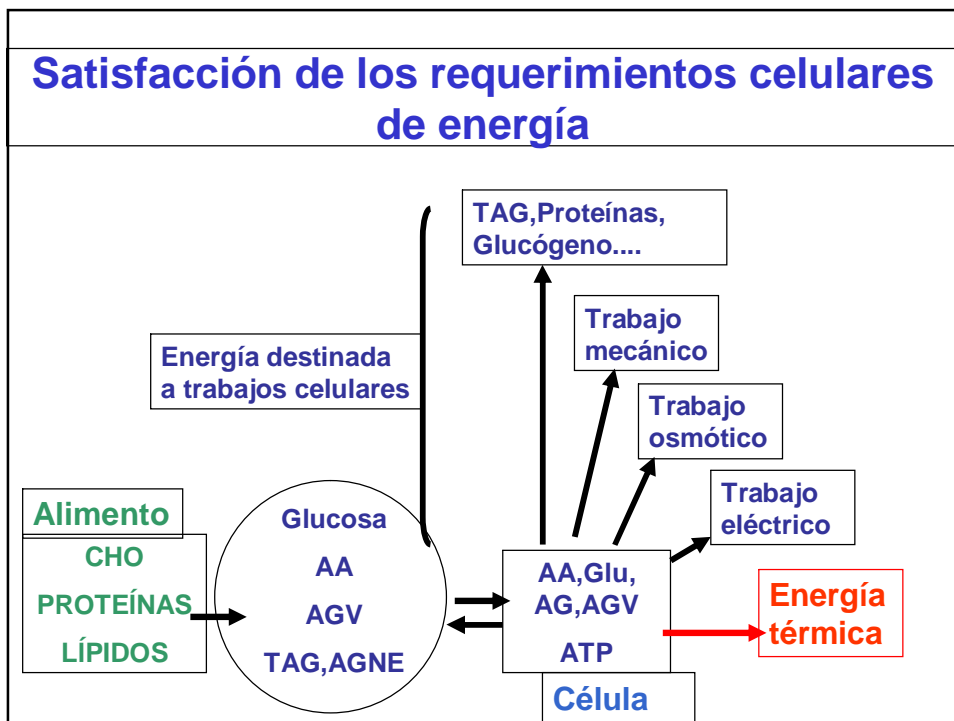
### **Formas de expresión de la concentración energética de un producto**

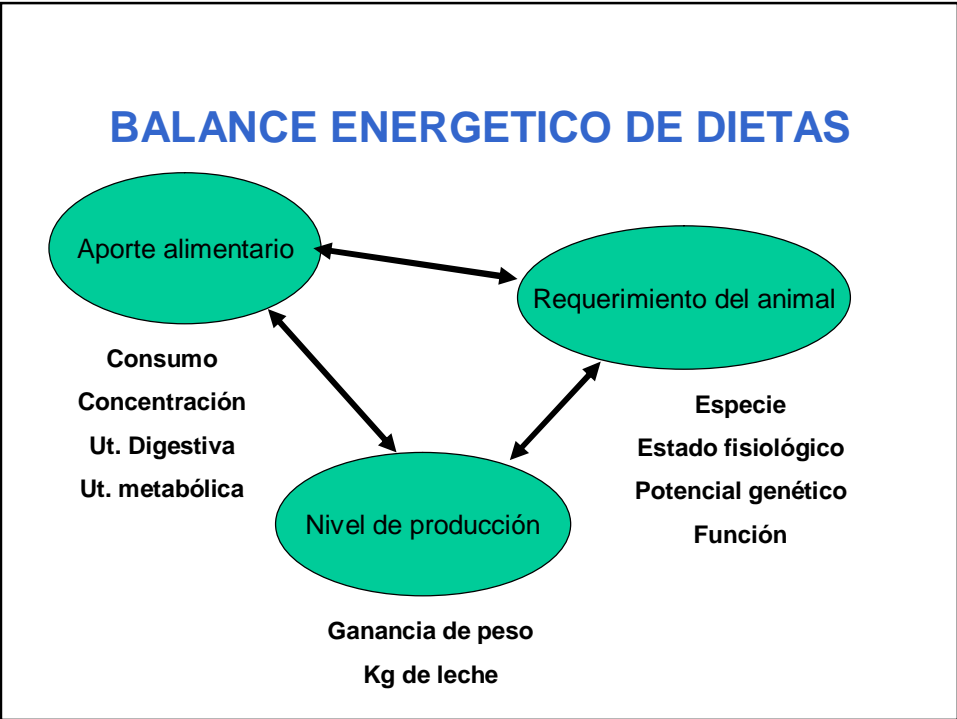
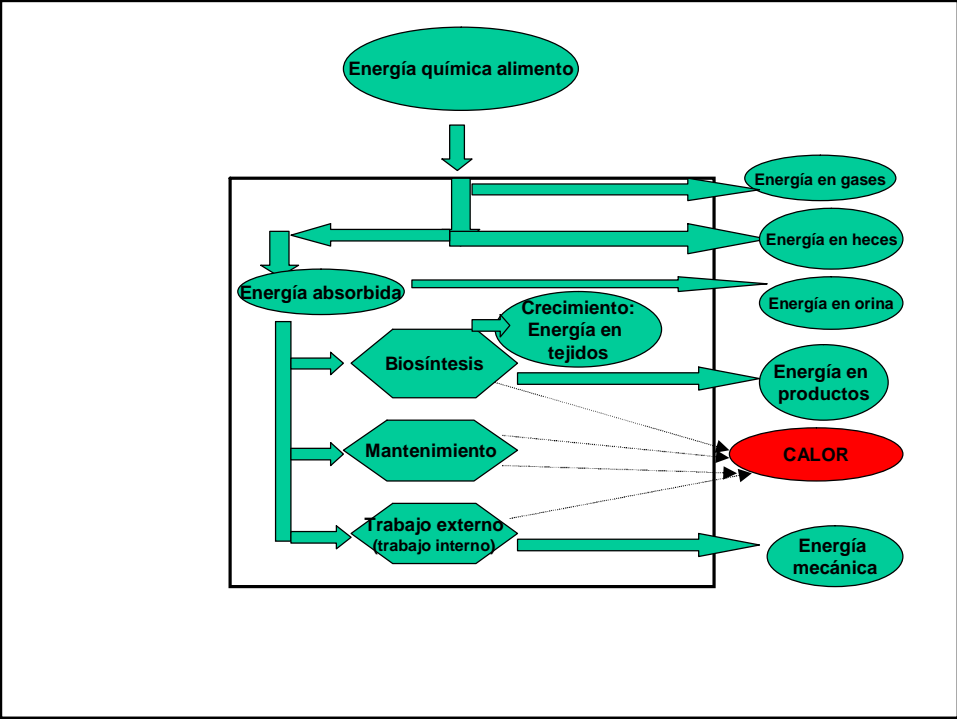
- Base fresca:
  - Mcal/kg de producto
- Base seca:
  - Mcal/kg de MS

## Requerimientos celulares de energía



## Satisfacción de los requerimientos celulares de energía



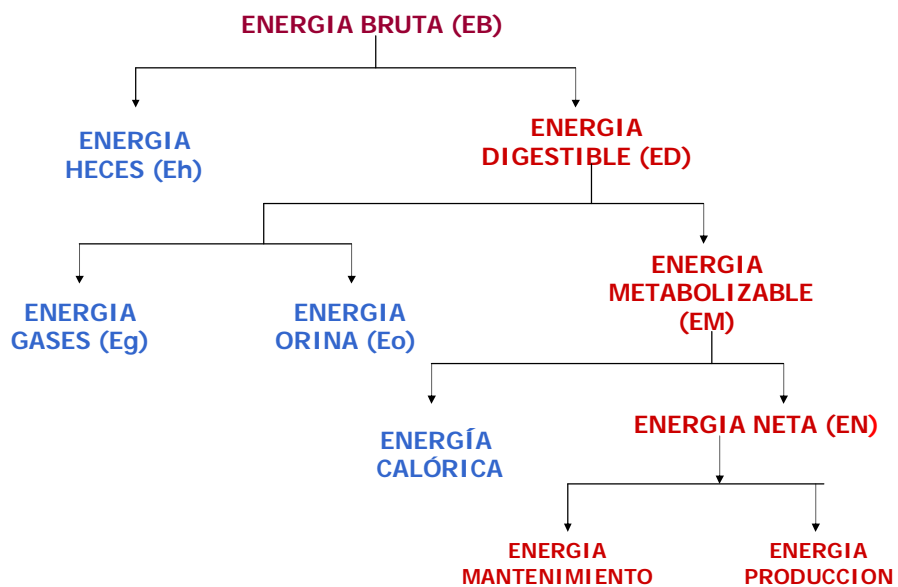




## Cuantificación de las pérdidas

Pérdida		% de la EB consumida
<b>Heces (Eh)</b>		<b>20 - 50</b>
<b>Gases (Eg)</b>		<b>8 - 10</b>
<b>Orina (Eo)</b>		<b>3 - 7</b>
<b>Calor</b>	<b>Fermentación</b>	<b>5 - 6</b>
	<b>Digestión</b>	<b>1 - 2</b>
	<b>Metabolismo</b>	<b>18 - 20</b>

## ESQUEMA CONVENCIONAL DE PARTICION DE LA ENERGIA



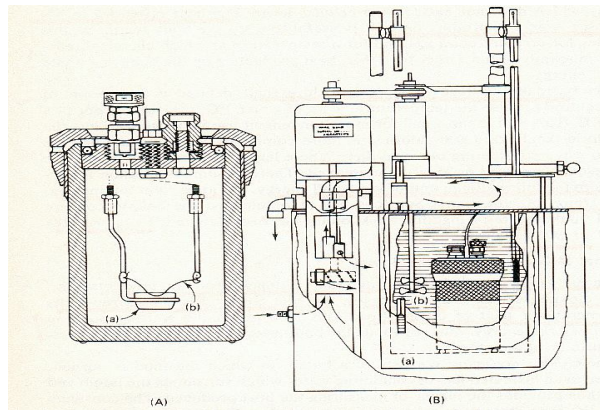
## **ENERGIA BRUTA (calor de combustión)**

- *Energía liberada como calor cuando una sustancia orgánica es oxidada totalmente a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ .*
- *Es el punto de partida para conocer la energía de un alimento o de una ración, que es utilizada en los procesos corporales.*

## **ENERGIA BRUTA (Formas de determinación)**

- *Contenido de energía en un peso dado de un compuesto, medido como calor de combustión en un calorímetro (bomba calorimétrica).*
- *Estimación a partir de la composición química (análisis de Weende) y los valores de combustión de los carbohidratos, proteínas y lípidos*

## Calorímetro (Bomba calorimétrica)



### COMPOSICIÓN PORCENTUAL DE CARBOHIDRATOS, PROTEÍNAS Y GRASAS

Ítem	C	H	O	N
<b>Carbohidratos</b>	<b>44</b>	<b>6</b>	<b>50</b>	
<b>Proteínas</b>	<b>52</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>16</b>
<b>Grasas</b>	<b>77</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	

C: Carbono; O: Oxígeno; H: Hidrógeno; N: Nitrógeno

**1 gr. C → 8 Kcal**

**1 gr. H → 34,5 Kcal**

Maynard et al., 1979

## ENERGIA BRUTA DE LOS COMPONENTES DEL ALIMENTO

EB Promedio	Kcal / g
CARBOHIDRATOS	4,15
PROTEINAS	5,65
LIPIDOS	9,40

*Maynard et al, 1979*

## ESTIMACION DE LA EB A PARTIR DE LA COMPOSICIÓN QUIMICA

- $EB(\text{Mcal/Kg}) = 5.65 \text{ PC} + 9.4 \text{ EE} + 4.19 \text{ FC} + 4.17 \text{ ELN}$ 
  - (fracciones expresadas en proporción de la unidad)
- Ecuación de EWAN (1989)  
 $EB (\text{kcal/kg MS}) = 4143 + (56 \times \%EE) + (15 \times \%PC) - (44 \times \%Ce)$   
 $R^2 = 0.98$ 

(se aplica en el caso de alimentos o raciones constituidas por un alto porcentaje de hidratos de carbono)

## ENERGIA BRUTA

SUSTANCIAS PURAS	Kcal / g
Glucosa	3,76
Almidón	4,23
Caseína	5,86
Globulina	5,36
Ac. Acético	3,49
Ac. Propionico	4,96
Ac. Butirico	5,35
Ac. Palmitico	9,35
Urea	2,53
Acido úrico	2,74
Metano	13,25

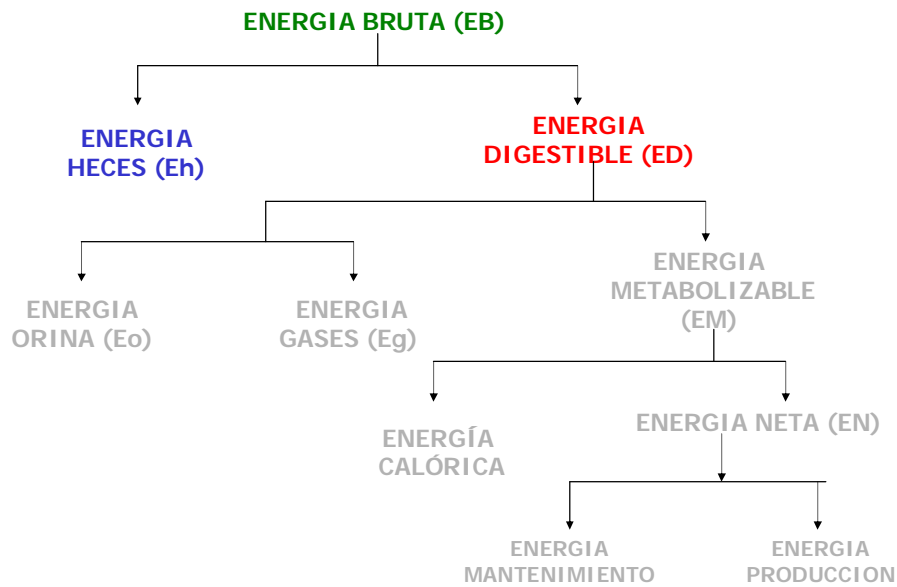
## ENERGIA BRUTA (base seca)

### ALIMENTOS Kcal / g

Maíz (grano)	4,55
Trigo (afrechillo)	4,54
Harina de soja	4,72
<b>Soja (poroto)</b>	<b>5,52</b>
Raigrás (vegetativo)	4.54
Heno de alfalfa	4.37
Chala de maíz	4.33
<b>Sebo vacuno</b>	<b>9.46</b>

Mc. Dowell, 1974 – Church , 1979 - INRA, 1989

## ESQUEMA CONVENCIONAL DE PARTICION DE LA ENERGIA



### Definiciones : ENERGIA DIGESTIBLE (ED)

*Es la parte de la energía alimentaria consumida que no aparece en las heces*

$$ED = EB - (E \text{ heces} - E \text{ endógena})$$

En el proceso de utilización de la energía ingerida la pérdida en las heces es la primera y, cuantitativamente, la más importante y más variable.

$$(ED = 30 - 90 \% \text{ de } EB)$$

## **Definiciones : ENERGIA DIGESTIBLE (ED)**

- ***Digestibilidad de la Energía:  
Proporcional a la digestibilidad de la  
MO***

## **ENERGIA DIGESTIBLE (Determinación)**

### **A) PRUEBAS DE DIGESTIBILIDAD**

- **Calorimetría (bomba calorimétrica): restando a la EB consumida la EB de las heces se obtiene la energía digestible aparente.**
- **Estimaciones a partir de composición química de ingerido y excretado**
- **Determinación de Nutrientes Digestibles Totales (NDT)**

## ESTIMACION DE ED POR CALOR DE COMBUSTIÓN (NRC 2001)

### Cerdos:

- $ED \text{ (Mcal/kg)} = (\text{CNED} \times 4.2) + (\text{FDND} \times 4.2) + (\text{PCD} \times 5.6) + (\text{EED} \times 9.4) - 0.3$
- Fracciones expresadas como fracción de la unidad

## ENERGIA DIGESTIBLE

- B) ESTIMACION A PARTIR DE C.Q.
- Cerdos (Noblet y Perez, 1993)
- $ED \text{ (kcal/kg)} = 4151 - (122 \times \%C) + (23 \times \%PC) + (38 \times \%EE) - (64 \times \%FC)$
- $R^2 = 0.89$
- $ED \text{ (kcal/kg)} = 949 + (0.789 \times EB) - (43 \times \%C) - (41 \times \%FDN)$
- $R^2 = 0.91$

## NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES (NDT)

### Valores fisiológicos de combustión

Grupo nutrientes	EB Kcal/g	Pérd Fecal (% EB)	ED Kcal/g	Pérd. Orina % ED	VFC Kcal/g
CHO	4.15	2	4.00	0	4.00
Grasas	9.45	5	9.00	0	9.00
Proteínas	5.65	8	5.2	23	4.00

## NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES (NDT)

- **NDT % =**  
 $1 \times \%PCD + 1 \times \%FCD + 1 \times \%ELND + 2.25 \times \%EED$
- **1 kg NDT = 4.409 Mcal ED**
- **ED (Mcal/kg) = % NDT x 0.04409**

# NUTRIENTES DIGESTIBLES TOTALES (NDT)

Fórmula de Bath (1989) para rumiantes

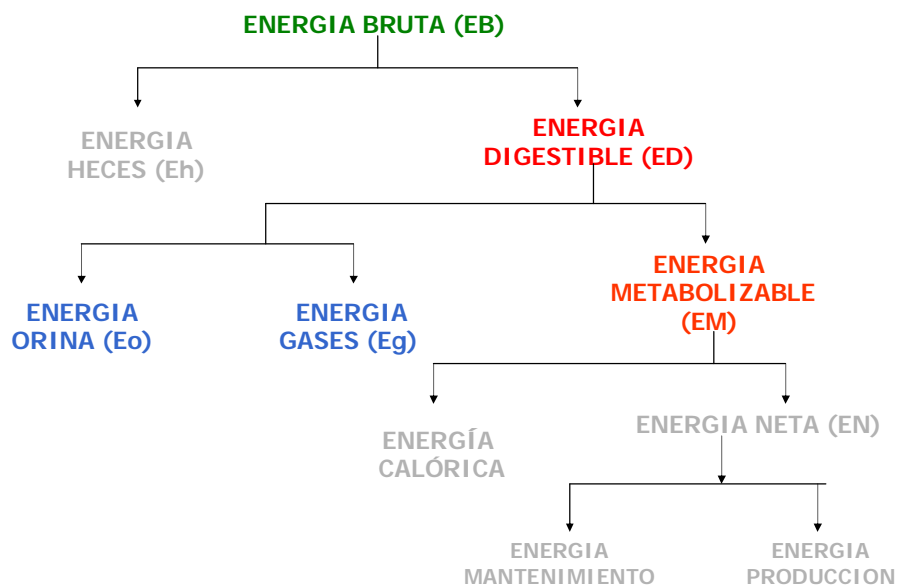
$$\text{NDT \%} = 1.15 \times \text{PC} + 1.75 \times \text{EE} + 0.45 \times \text{FC} + \\ + 1.25 \times \text{ELN} + 0.0085 \text{ELN}^2 - 3.4$$

NRC 2001

$$\text{NDT \%} = \text{CHONed} + \text{PCd} + 2.25 \text{EEd} + \text{FDNd} - 7$$

Fracciones en %

## ESQUEMA CONVENCIONAL DE PARTICION DE LA ENERGIA



**Definiciones:**  
**ENERGIA METABOLIZABLE (EM)**

- Cantidad de energía proveniente del alimento que dispone el animal para sus procesos metabólicos

Sustrayendo a la ED la energía perdida en los productos gaseosos de la digestión y la energía perdida en la orina, se obtiene la Energía Metabolizable (EM).

$$EM = ED - E_g - E_o$$

$$EM = E_c - E_h - E_g - E_o$$

**ENERGIA METABOLIZABLE (EM)**

**-Pérdidas de E en gases**

Origen: procesos de fermentación en el TGI.

- La pérdida de energía por gases más importante corresponde al metano.

$$EB \text{ del metano} = 13.34 \text{ Mcal/kg}$$

**Pérdidas como gases:**

Rumiantes: 7 - 10 % de EB consumida

Cerdos: 0.1 - 3 % (en alimentos concentrados se desprecia)

## ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

### -Pérdidas de E en orina:

(Compuestos nitrogenados)

Compuesto	% del N total
Urea	80 - 90
Creatinina	3 - 4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2.5 - 4.5
Ác.Úrico	1 - 2 (80 %, aves)
AA	1 - 2

## ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

### -Costo energético de la excreción de N:

**Urea: EB = 5.50 Mcal/kg**

**Acido Úrico: EB = 6.70 Mcal/kg**

## **ENERGIA METABOLIZABLE (EM)**

### **-Pérdidas de E en orina:**

**rumiantes: 4 - 5 % de EB consumida**

**cerdos: 2 - 3 %**

## **ENERGIA METABOLIZABLE (EM)**

### **-Corrección por balance de N**

**mamíferos: 7.45 kcal/g de N**

**Aves: 8.22 kcal/g de N**

**Balance negativo: se adiciona  
positivo: se resta**

## Rangos de “eficiencia” de uso de la EB y ED en las dietas

• Animal	<b>ED/EB</b>	<b>EM/ED</b>	<b>EM/EB</b>
• Cerdos y Aves	<b>60 a 98</b>	<b>92 a 98</b>	<b>55 a 97</b>
• Caballos y Conejos	<b>30 a 90</b>	<b>85 a 94</b>	<b>26 a 85</b>
• Rumiantes	<b>40 a 90</b>	<b>78 a 87</b>	<b>31 a 82</b>

## ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

### -Relación promedio EM/ED

**Rumiantes: 0.82**

**Cerdos: 0.96**

## ENERGIA METABOLIZABLE (EM)

### METABOLICIDAD DE LA ENERGIA

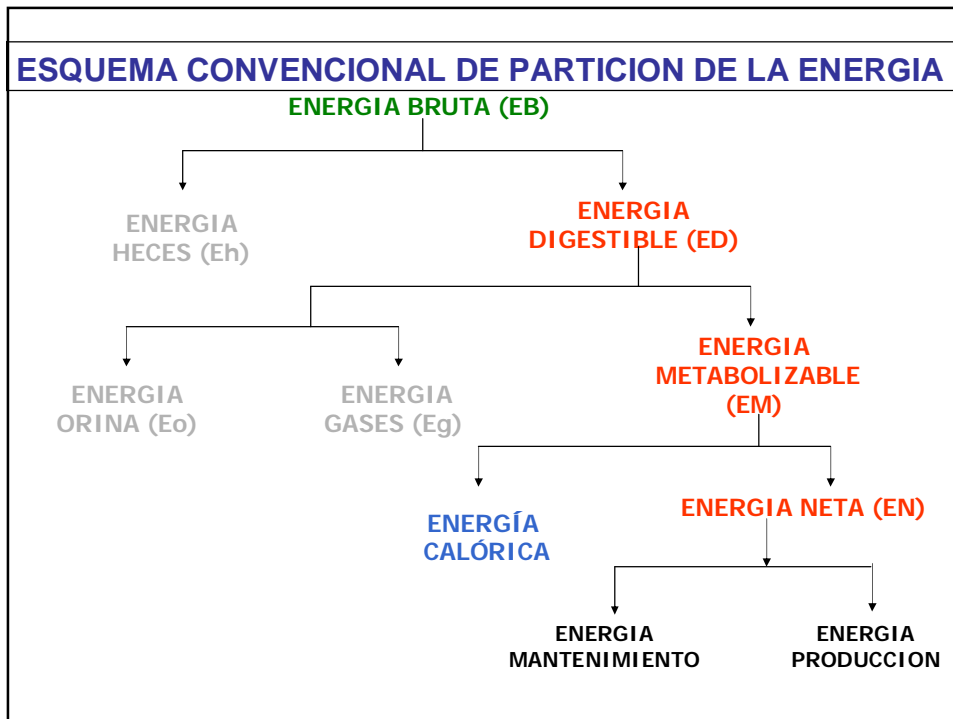
$$q = EM / EB$$

## METABOLICIDAD DE LA ENERGÍA (q)

### Causas de variación de q:

- Especie animal (tipo de digestión)
- Tipo de alimento
  - Concentrados
  - Alimentos fibrosos
  - Ensilados

Alimento	Cerdos	Rumiantes
Maíz	0.89	0.74
Af. Trigo	0.48	0.56
Heno alfalfa	0.42	0.57
Ensilado forraje		0.61



**Definiciones :  
ENERGIA NETA (EN)**

Aporte energético del alimento que efectivamente es utilizado por el animal.

- Parte de la EM que es retenida como producto/s (carne, leche, huevos, etc.) y/o utilizada en las funciones de mantenimiento del organismo.

$$EN = EM - IC$$

IC = Incremento en la producción de calor resultado de la ingestión de alimentos

## Incremento calórico (IC)

Incluye calor proveniente de:

- Fermentaciones microbianas

- Trabajo:

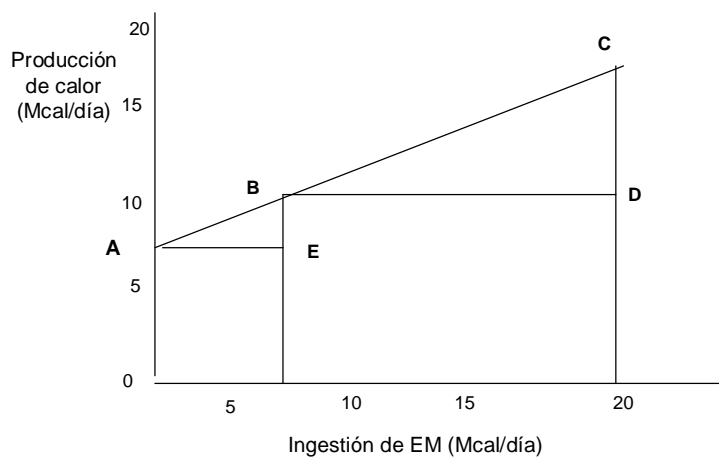
  - movimiento del TGI

  - acción de enzimas digestivas

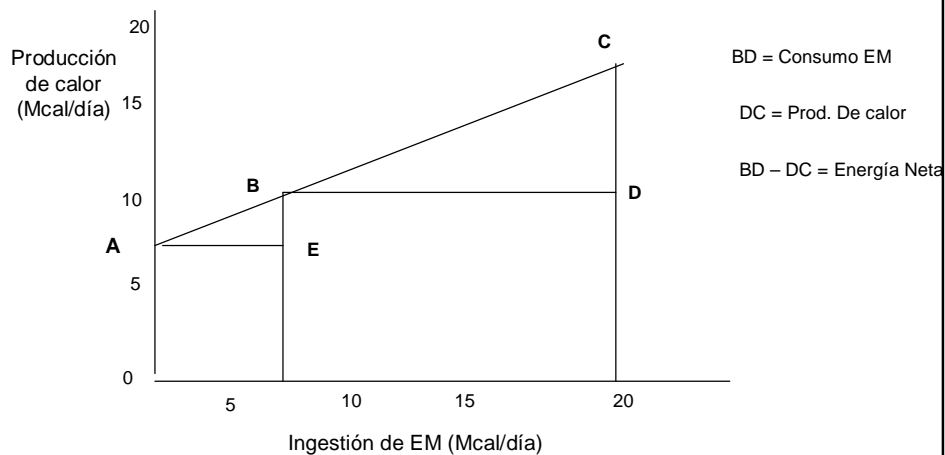
- Metabolismo de nutrientes (mantenimiento y síntesis)

- Excreción de productos de desecho

## Incremento calórico (IC) Determinación por calorimetría directa



## Incremento calórico (IC) Determinación por calorimetría directa



## Incremento calórico (IC) Determinación indirecta por intercambio respiratorio

- Ecuación de Brouwer:
- $P.C. = 16.18 VO_2 + 5.16 VCO_2 - 5.90 N - 2.42 VCH_4$
- P.C = Producción de calor en kJ
- $VO_2$  = Oxígeno consumido (lts)
- $VCO_2$  = Producción de dióxido de carbono (lts)
- N = Excreción de N urinario (g)
- $CH_4$  = Producción de metano (lts)

## UTILIZACIÓN DE LA ENERGIA POR EL ANIMAL

### ENERGIA NETA (EN)

#### USOS de la EN

- \* Mantenimiento
- \* Producción

#### Eficiencia de transformación de EM en EN

$$k = EN / EM$$

El valor de EN de un alimento para un mismo género y especie animal es variable en función del proceso fisiológico (mantenimiento, lactación, engorde, etc.) en el cual es utilizada la EM .

## **Definiciones**

### **Energía Neta para mantenimiento (ENm)**

•Fracción de la EN consumida destinada a mantener el equilibrio energético del animal .

• Comprende la energía destinada a:

- Metabolismo basal
- Termorregulación
- Actividad voluntaria del animal.

### **Energía Neta para mantenimiento (ENm)**

#### **•METABOLISMO BASAL**

•Necesidades energéticas de un organismo animal en post-absorción, reposo y ambiente termoneutro

•Incluye:

- Funciones de servicio
- Funciones de mantenimiento celular

La energía empleada en estos procesos se disipa como calor, siendo - en muchas condiciones climáticas - este calor suficiente para mantener la temperatura interna.

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

### •METABOLISMO BASAL

#### •Funciones de servicio

- trabajo de circulación y respiración
- trabajo hepático y renal
- funciones nerviosas
- funcionamiento de órganos vitales

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

### •METABOLISMO BASAL

#### •Funciones de mantenimiento celular

- Renovación de proteínas y lípidos
- Transporte de iones (Ca y Na, principalmente)

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

- **METABOLISMO BASAL**

- Distribución del costo energético

- Funciones de servicio: 50 – 60 %

- Mantenimiento celular: 40 – 50 %

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

- **METABOLISMO BASAL = Producción de calor en ayuno**

- Proporcional al Peso Metabólico Corporal

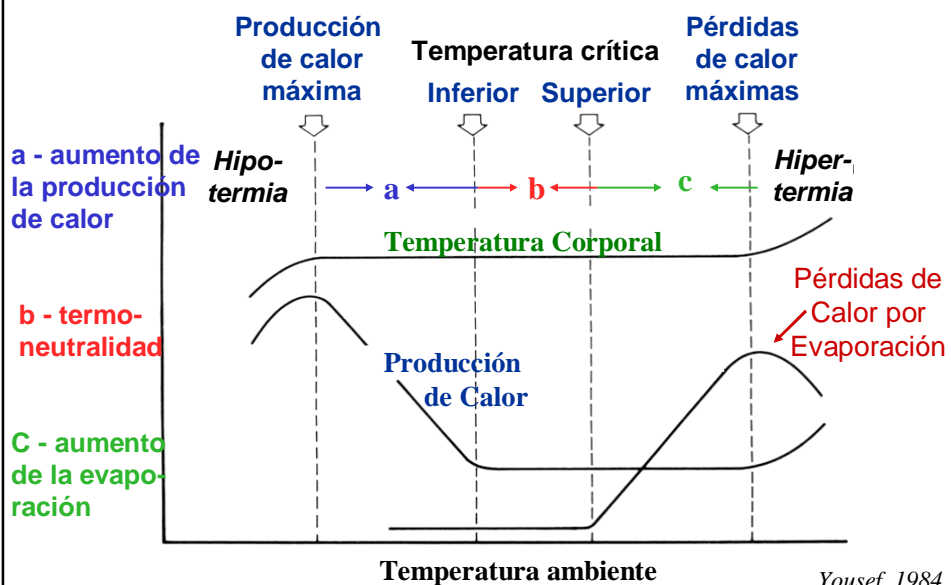
$$\text{PMC} = \text{PV}^{0.75}$$

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

### • TERMORREGULACIÓN:

= E destinada a mantener la T corporal

## TEMPERATURA AMBIENTE Y TERMORREGULACION



## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

### •TERMORREGULACIÓN:

#### •Costo energético (cerdos) (Noblet, 1985)

**3.7 - 4.5 Kcal EM / KPV<sup>0.75</sup> / °C/día**

(°T por debajo de la TCI)

#### Disminución ingestión:

**1.7 % / °C por encima de TCS**

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

### •TERMORREGULACIÓN:

#### •Costo energético (bovinos, NRC 2000)

**ENm = 0.0007 \* (20 - T) Mcal/PV<sup>0.75</sup>/día**

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

### •ACTIVIDAD VOLUNTARIA =

E para acostarse/levantarse, búsqueda e ingestión de alimentos y agua, etc

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•ACTIVIDAD  $\dot{\bar{}}$  Gasto energético relativo al MB en ovejas.

SITUACIÓN		Aumento en ref. al MB
Metabolismo basal	100	
Brete pequeño	116	16%
Alta disp. de pastura	134	34%
Baja disp. y agua lejos (5Km)	172	72%
Terreno escarpado	153	53%

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

•**ACTIVIDAD** : Incremento del costo energético de mantenimiento

**General** : 10 a 15 % cuando la actividad se realiza a la intemperie.

**Vacas lecheras en lactación:**

10 % en buenas pasturas → 1,4 Kg leche

20 % en pasturas pobres → 2,6 Kg leche

(NRC, 1988)

**Ovinos:**

20 a 30 %: *pastoreo 1 - 2 hrs./día, buena disponibilidad de pasturas.*

50 a 100%: *pastoreo 6 - 8 hrs./día, baja disponibilidad de pasturas*

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

Costo energético de la actividad voluntaria  
(bovinos)

ACTIVIDAD	cal / Kg PV / hora
Comer	0,55
Rumiar	0,24
Parado	0,12
Caminar:	
horizontal	0,6 / Km
vertical	6,45 / Km

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

Costo energético de la actividad voluntaria  
(cerdos, NRC 1998)

### ACTIVIDAD

### Costo

Comer	14 - 35 Kcal/kg alimento
Parado	6,5 Kcal/KMC/100 min
Caminar:	1,67 Kcal/KPV/Km

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

### •Bovinos

### •Req. bovinos carne y leche :

$$ENm = 0.077 \text{ Mcal} / KPV^{0.75}$$

- $km = 0.28 q + 0.554$  (INRA)

- $km = 0.64$  (NRC)

Fuente: NRC (2000)

## Energía Neta para mantenimiento (ENm)

### •REQUERIMIENTOS PARA MANTENIMIENTO:

#### Cerdos

$$\text{ENm} = 0.077 \text{ Mcal} / \text{KPV}^{0.75}$$

$$\text{Km} = 0.67$$

## Energía Neta para producción (ENp)

### •EN para ganancia de peso:

#### Costo de la ganancia

Proteína: 10.6 Mcal EM/kg

Grasa. 12.5 Mcal EM/kg

[tejido magro = 20 – 23 % Proteína]

[tejido adiposo = 80 -95 % Grasa]

•Costo de 1 kg de tejido magro: 5.5 Mcal

•Costo de 1 kg de tejido adiposo: 9.5 Mcal

## Energía Neta para producción (ENp)

### Bovinos:

$$\text{kg} = 0.78 q + 0.006$$

$$\text{Valor promedio kg} = 0.5$$

$$\text{ENg} = 1.42 \text{ EM} - 0.174 \text{ EM}^2 + 0.0122 \text{ EM}^3 - 1.65$$

Fuente: NRC 2000

### Cerdos:

$$\text{kg} = 0.60 - 0.7$$

## Energía Neta para producción (ENp)

### •EN para producción de leche

#### Bovinos:

$$\text{ENI (Mcal/kg)} = 0.0929 \times \% \text{ EE} + 0.0547 \% \text{ PC} + 0.192$$

$$\text{kl} = 0.64$$

$$\text{ENI} = \text{NDT} \times 0.0245 - 0.12$$

$$\text{kl} = 0.6 + 0.24 (q - 0.57)$$

## Energía Neta para producción (ENp)

### • AVES

#### • EN para ganancia de peso

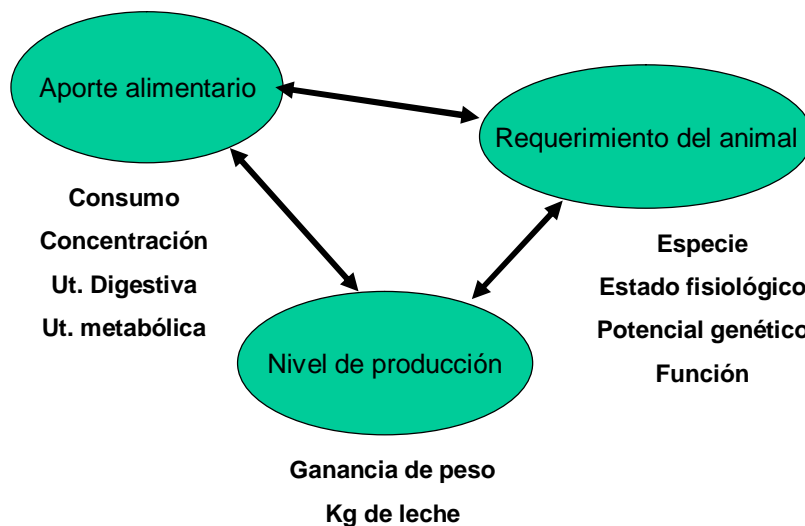
$$kg = 0.75 - 0.8$$

#### • EN para producción de huevos

Gallinas:

$$kh = 0.69$$

## BALANCE ENERGETICO DE DIETAS



## Aplicación práctica

