Master en Zootecnia y Gestión Sostenible: Ganadería ecológica e integrada

NUTRICIÓN Y ALIMENTACIÓN ANIMAL

Dr. Andrés L. Martínez Marín
Departamento de Producción Animal
Universidad de Córdoba

correo electrónico: pa1martm@uco.es

Valoración energética de alimentos

Índice

- Valoración nutritiva
- Digestibilidad
- Valoración energética

- **Valoración nutritiva**
- Digestibilidad
- Valoración energética

VALORACIÓN NUTRITIVA

Las materias primas puede **valorarse de muchas formas diferentes**.

1.- **Organoléptica**: es una valoración inicial para establecer si la materia prima se encuentra en condiciones de ser utilizada en la alimentación de los animales.

2.- **Composición química** para comprobar si responde a las especificaciones establecidas y poder elaborar las etiquetas → ver lección Principios Nutritivos

3.- **Valoración nutritiva** para conocer el aporte de energía y nutrientes utilizables por los animales, de acuerdo con la especie, y poder calcular raciones.

¿?

* La **composición química** no da más que una **información limitada** de la capacidad de un alimento de satisfacer los requerimientos nutritivos de un animal. El valor nutritivo de un alimento depende de las pérdidas inevitables que tienen lugar durante la digestión del alimento, y la absorción y el metabolismo de los nutrientes.

* El **valor nutritivo** de los alimentos está determinado por:
  + La **composición química**. La proporción de cada fracción (carbohidratos, lípidos, compuestos nitrogenados, cenizas) en las materia primas y la composición particular de cada una de las fracciones (p. ej. almidón, FDN, aminoácidos, minerales utilizables) determina el valor nutritivo para cada especie, en función de su edad y estado productivo.
  + Los **factores antinutritivos** (ej. oligosacáridos, ácido fítico) que puedan contener.
  + Algunos **procesos industriales** (p.ej. destruyendo FAN o mejorando la digestión) o la combinación con determinados **aditivos** (p.ej. mejorando la disponibilidad del fósforo), pueden mejorar el valor nutritivo.

* La **valoración nutritiva** comprende:
  + Digestibilidad
  + Valoración energética
  + Valoración proteica
  + Valoración de otros componentes del alimento

- Valoración nutritiva
- **Digestibilidad**
- Valoración energética

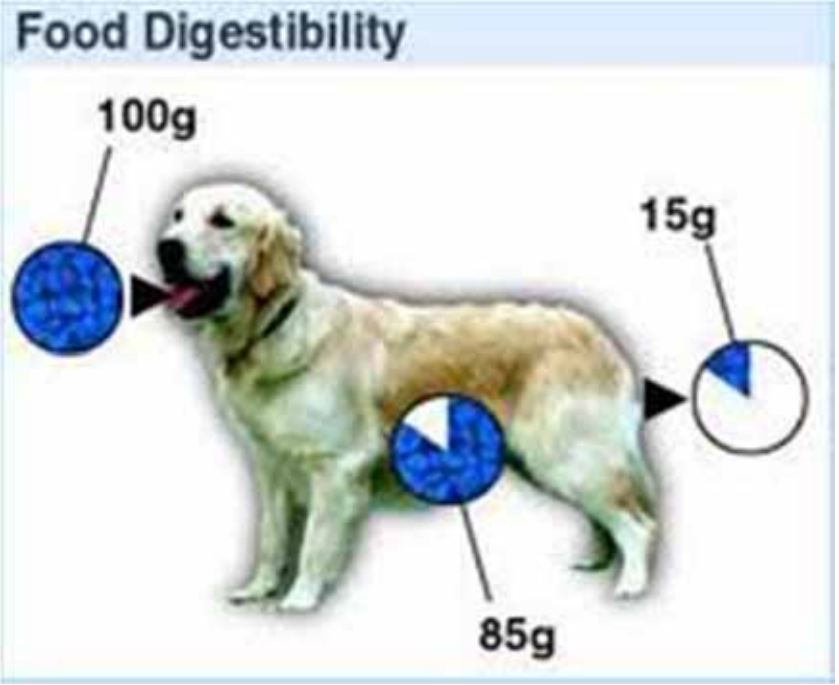
DIGESTIBILIDAD

* La digestibilidad de un alimento indica la **cantidad** de un alimento completo o de un nutriente particular del alimento, que no se excreta en las heces y que, por consiguiente, se considera que es **utilizable por el animal** tras la absorción en el tracto digestivo.

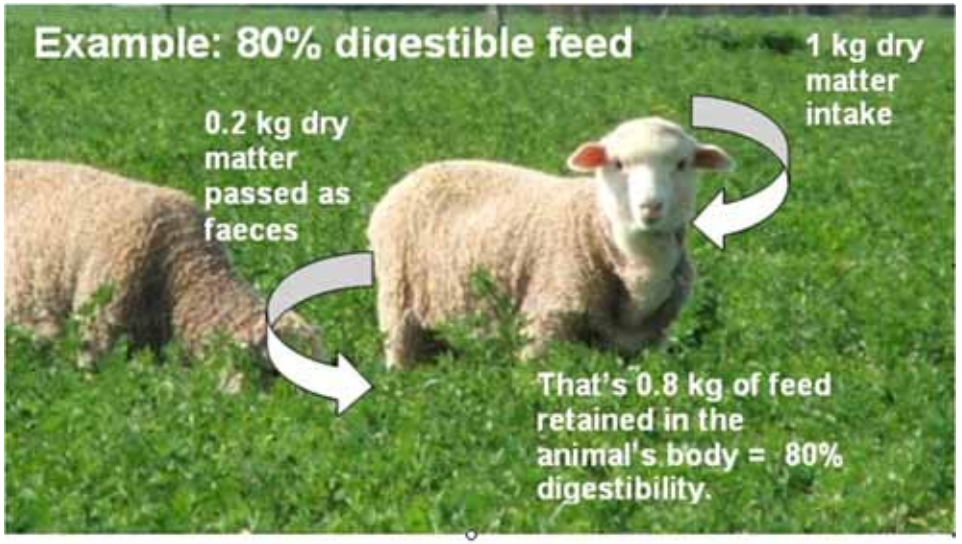
* La digestibilidad se calcula para alimentos o nutrientes como:

(alimento ingerido - heces) x 100 / alimento ingerido

(nutriente en alimento ingerido - nutriente en heces) x 100 / nutriente en alimento ingerido



Digestibilidad = (100 – 15) x 100 / 100 = 85%



Digestibilidad = (1 – 0,2) x 100 / 1 = 80%

Digestibilidad in vivo

+ Los **ensayos de digestibilidad** requieren utilizar un número suficiente de animales durante un periodo de tiempo que permita la adaptación a la dieta utilizada. Al final del **período de adaptación** se registra el consumo diario de alimento de cada animal y se recogen y pesan individualmente todas las heces producidas (método de recogida completa). El alimento y las heces se analizan en laboratorio. Los **períodos de adaptación y recogida** son de 4-6 días en cerdos y caballos y de 8-10 días en rumiantes.

+ Si se utilizan **indicadores** (método de indicadores) no hace falta medir el consumo de pienso ni la producción de heces, pero estás se recogen en forma de muestras seriadas para simular un período de 24 horas. El cálculo es:

% digestibilidad =

100- [(indicador en pienso / indicador en heces) x (nutriente en heces / nutriente en alimento)] x 100

- Los indicadores pueden ser internos (= presentes en el alimento ej. lignina, cenizas insolubles) o externos (= sustancias que se añaden al alimento a investigar, ej. óxido de cromo, dióxido de titanio)

- Los indicadores deben ser indigestibles. Los indicadores externos han de ser además no tóxicos, inertes en relación con los componentes del alimento y distribuirse homogéneamente en el mismo.

+ Los valores obtenidos se denominan de **digestibilidad aparente** porque incluyen los contenidos de sustancias de origen endógeno presentes en las heces (p.ej. lípidos y compuestos nitrogenados).

- La digestibilidad aparente es menor que la digestibilidad real y carece de sentido en el caso de minerales que se segregan en el aparato digestivo (ej. fósforo).
- Para conocer la **digestibilidad real**, hay que descontar las pérdidas endógenas a las pérdidas fecales. En el caso de los CHO, digestibilidad aparente y real son iguales porque las pérdidas fecales son despreciables.
- El N de origen endógeno en heces se llama **nitrógeno metabólico fecal** y es proporcional al consumo de materia seca → 1-2 g/kg MS en monogástricos y 4-6 g/kg MS en rumiantes.
- En el caso de los minerales, se determina el **coeficiente de absorción real** por pruebas de balance o mediante isotopos para conocer las pérdidas endógenas fecales y urinarias.

Ejemplo

Determinación de la digestibilidad de un heno en ovejas. Durante 10 días se recogieron todas las heces, y se registró el consumo de materia seca y la producción fecal. Las muestras de alimento y heces se analizaron en el laboratorio.

McDonald et al. (2010)	Dry matter (DM)	Organic matter	Crude protein	Ether extract	Acid detergent fibre
Nutrient analysis (g/kg DM)					
Hay		919	93	15	350
Faeces		870	110	15	317
Nutrient flux (kg/day)					
Consumed	1.63	1.50	0.151	0.024	0.570
Excreted	0.76	0.66	0.084	0.011	0.240
Absorbed	0.87	0.84	0.067	0.013	0.330
Digestibility coefficients	0.534	0.560	0.444	0.541	0.579
Digestible nutrients (g/kg DM)	–	515	41	8	203

El consumo promedio fue 1,63 kg/d y la producción fecal media fue 0,76 kg/d.
Los coeficientes de digestibilidad se calculan como hemos visto anteriormente en el procedimiento de recogida completa pero expresando el valor obtenido en tanto por uno. Ej. proteína bruta, coeficiente de digestibilidad = (0,151- 0,084)/0,151 = 0,444
El contenido en nutrientes digestibles del alimento se calcula multiplicando el contenido determinado analíticamente por el coeficiente de digestibilidad. Ej. fibra ácidodetergente digestible = 350 x 0,579 = 203 g/kg MS.

Otros aspectos

+ **Digestibilidad in vitro**: como la digestibilidad in vivo es un proceso laborioso, se han desarrollado métodos de laboratorio que intentan reproducir las reacciones que tienen lugar en el tracto digestivo de los animales.

- Rumiantes: una digestión durante 48 horas con microorganismos del rumen en condiciones anaerobias, seguido de una digestión durante 48 horas con pepsina y ácido clorhídrico (Método de Tilley y Terry).
- Monogástricos: en cerdos se mide la digestión prececal (ileal) en dos pasos, primero se incuba la muestra con pepsina disuelta en ácido clorhídrico (simulando la digestión estomacal), luego se realiza una segunda incubación con enzimas pancreáticas disueltas en una solución tampón de fosfato simulando la digestión intestinal).

+ **Digestibilidad por diferencia:** en **rumiantes**, la determinación de la digestibilidad de las materias primas no forrajeras requiere conocer la digestibilidad del forraje utilizado como ración basal. Luego se determina la digestibilidad conjunta del forraje y la materia prima problema. La digestibilidad de la materia prima investigada se calcula como la diferencia entre la digestibilidad de la ración completa y la del forraje base.

+ En el caso de las **aves**, las heces y la orina se eliminan conjuntamente por lo que los valores obtenidos corresponden a la utilización metabólica del pienso, con excepción de las pérdidas por fermentación aunque estas son mínimas.

+ La información obtenida es **valiosa pero incompleta**, especialmente en el caso de los rumiantes o de las materias primas con elevado contenido proteico, porque no se tienen en cuenta las pérdidas por la orina y por los gases de fermentación.

Expresión de la digestibilidad

+ **Materia seca digestible (MSD)** → MS (%) x digestibilidad de la materia seca/100

Digestibilidad de la materia seca: DMS (%) = 100 x (MS alimento – MS heces)/MS alimento

+ **Materia orgánica digestible (MOD)**→MO (%) x digestibilidad de la materia orgánica/100

Digestibilidad de la materia orgánica:DMO (%) = 100 x (MO alimento - MO heces)/MO alimento

Conversión de DMS a DMO

- Forrajes: DMO (%) = 1,017 x DMS + 1,9
- Concentrados: DMO (%) = 1,0 x DMS + 3,973

Alternativamente: MOD = cd x PB + cd x GB + cd x FB + cd x ELN

+ **Energía digestible** → ED (Mcal/kg) = 5,7 x cd x PB + 9,4 x cd x GB + 4,7 x cd x FB + 4,7 x cd x ELN

cd: coeficiente de digestibilidad distinto para cada componente y especie.

Valor energético de MOD ≈ 17-19 MJ/kg

+ **Nutrientes digestibles totales (TDN)** → TDN = PBdig + FBdig + ELNdig + GBdig x 2,25

Se expresa en % ó kg.

Equivalencia:

Rumiantes y cerdos → ED (Mcal/kg MS) = 0,04409 x TDN (%)

Caballos → ED (Mcal/kg MS) = 0,0365 x TDN (%) + 0,172

Factores que afectan a la digestibilidad

a. **Especie animal**. Las diferentes especies animales digieren los mismos alimentos con distinta eficiencia. P. ej. se ha observado que cuando la digestibilidad de la materia seca de un alimento es inferior a 66%, se obtienen valores de digestibilidad mayores en vacas y cabras que en ovejas. Otro ej. caballos vs. conejos.

Diferencias en la digestibilidad del mismo alimento entre conejos y caballos

	Digestibility (%)	
Item	Rabbits	Horses
Dry matter	47.4[a]	70.0[b]
Crude protein	80.2[a]	53.0[b]
Acid detergent fibre	25.0[a]	47.5[b]
Neutral detergent fibre	36.7[a]	68.9[b]
Ether extract	93.9[a]	99.2[b]
Ash	36.4	31.0
Energy (kcal)	49.3[a]	79.9[b]

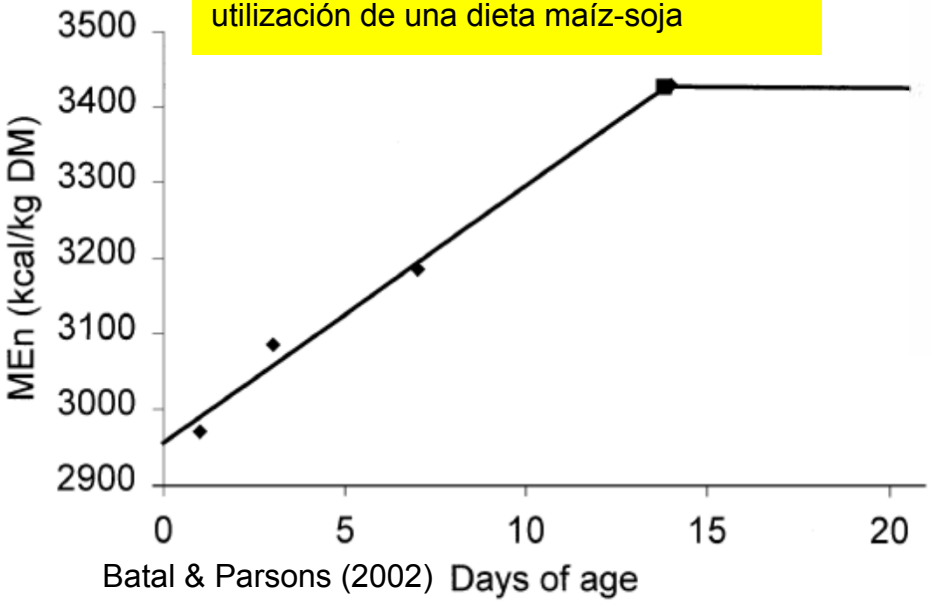
[a,b]Different at $P < 0.05$.

Cheeke & Dierenfeld (2010)

b. **Edad**. Se ha comprobado en perros, aves y cerdos que la digestibilidad de los componentes de los alimentos es inferior en los animales más jóvenes, probablemente debido a una insuficiente actividad enzimática, y en el caso de los cerdos a una menor capacidad de fermentación de la fibra.

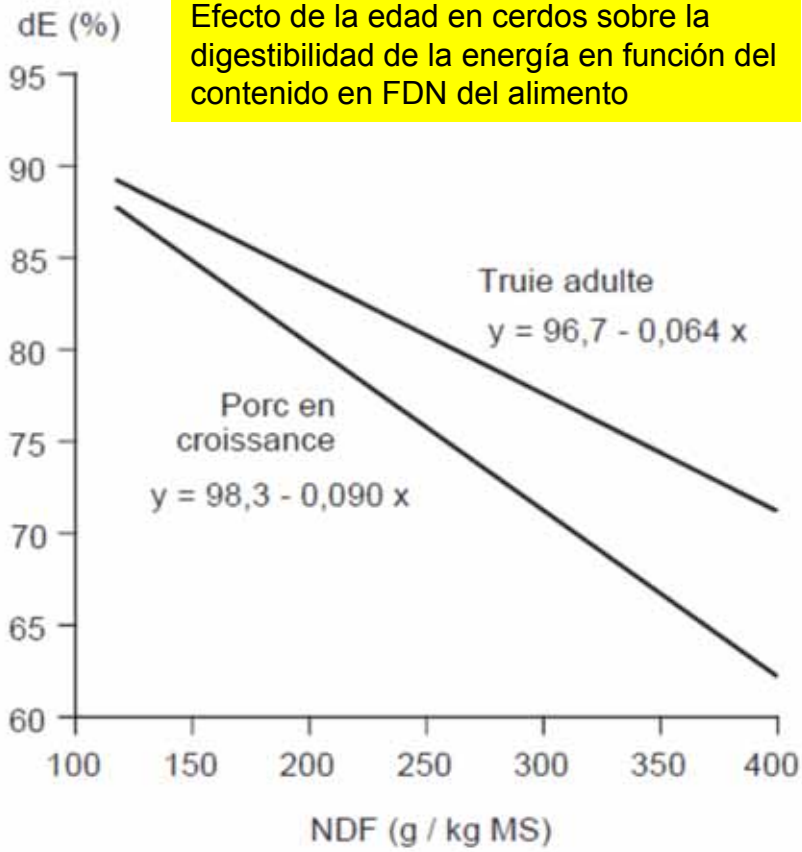
Alimento	FB	Digestibilidad de EB		
		Cerdos	Cerdas	diferencia
Maíz	2,2	0,88	0,91	-0,03
H. soja	6,1	0,85	0,90	-0,05
Salvado trigo	10,1	0,52	0,59	-0,07
Pulpa rem.	17,3	0,72	0,81	-0,09

Efecto de la edad en pollos sobre la utilización de una dieta maíz-soja



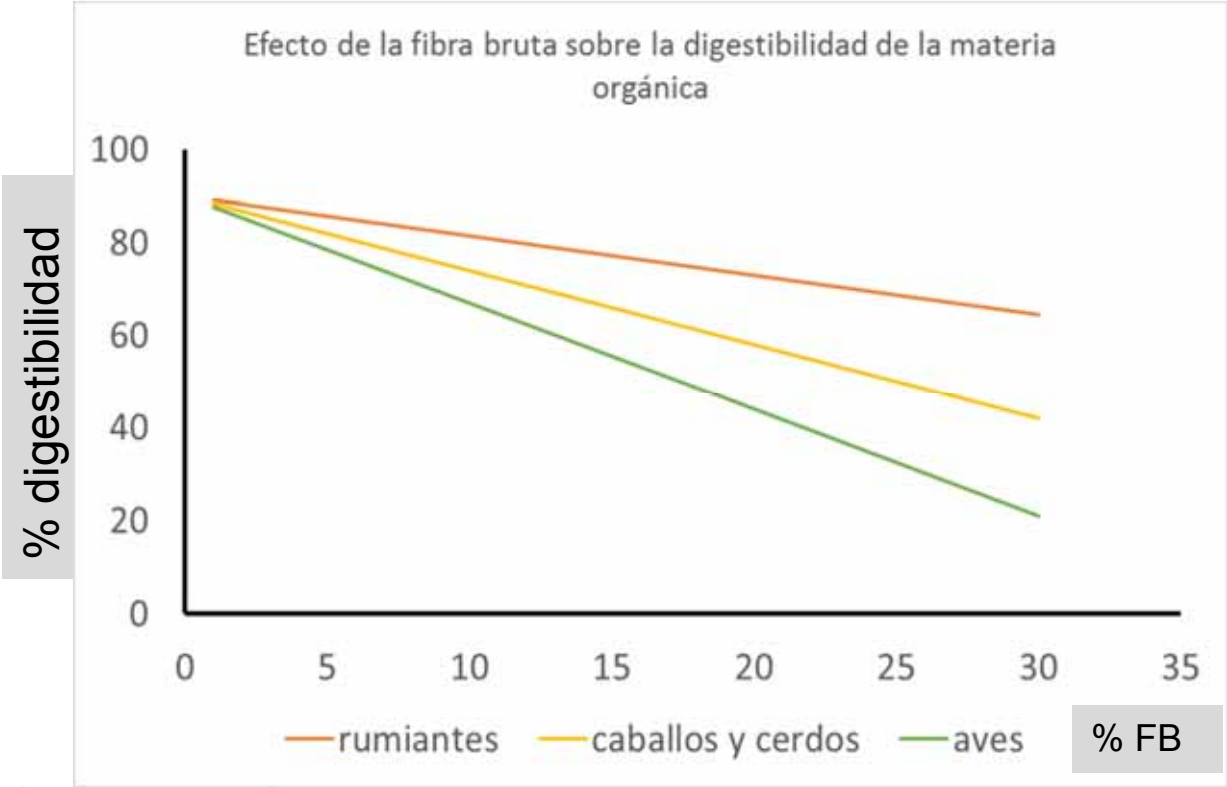
Batal & Parsons (2002)

Efecto de la edad en cerdos sobre la digestibilidad de la energía en función del contenido en FDN del alimento



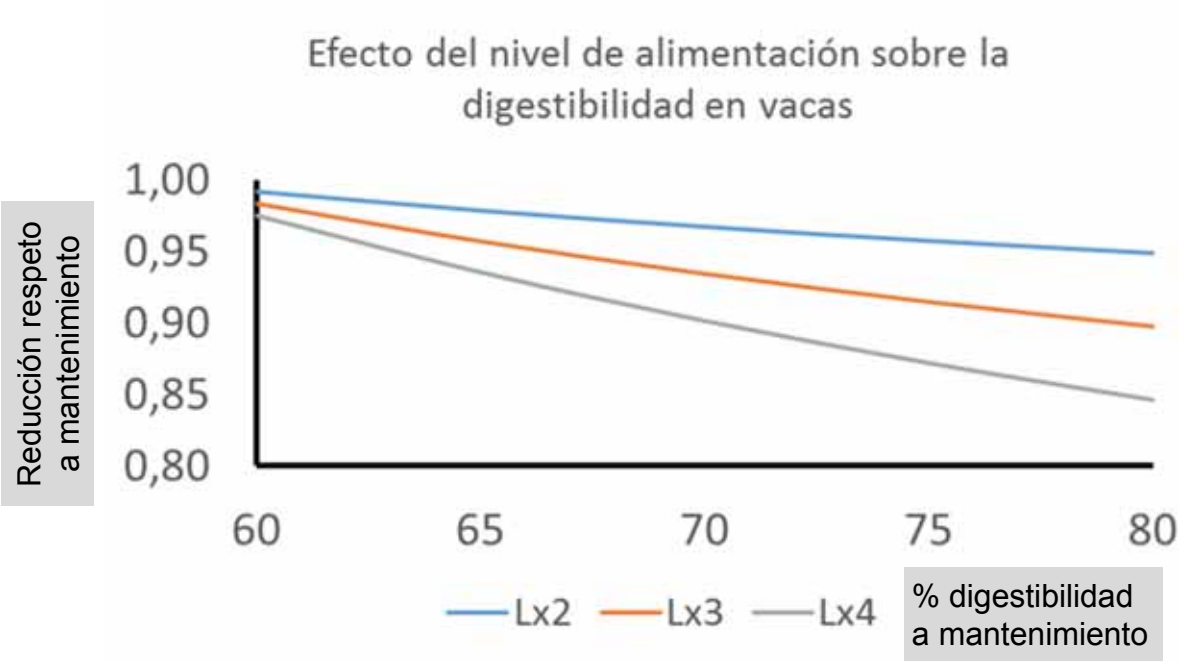
Noblet et al. (2003)

c. **Composición del alimento**. El contenido de paredes celulares afecta especialmente a la digestibilidad de los alimentos. El efecto es debido tanto a la fisiología digestiva como a la protección que la fibra ofrece al resto de los componentes frente a la acción de las enzimas digestivas. El efecto es menor en rumiantes < caballos y cerdos < aves.



d. **Composición de la ración**. La digestibilidad de un alimento está afectada además de por su propia composición por la de los demás alimentos ingeridos con él → efectos asociativos. Esto es especialmente relevante en el caso de los rumiantes donde el exceso de almidón (por bajo pH) o el déficit de proteína (por falta de N para las bacterias) afectan negativamente a la digestión ruminal de las paredes celulares. En perros, la adición de más de 3% de celulosa al alimento reduce linealmente la digestibilidad de la totalidad de la ración por aumento de la velocidad de tránsito (Burrows et al., 1982).

e. **Nivel de alimentación** (L = consumo de alimentos en relación con el consumo necesario para satisfacer los requerimientos de mantenimiento). A mayor nivel de alimentación, la velocidad de tránsito del alimento por el tracto digestivo se eleva y se reduce la exposición a las enzimas digestivas con la consiguiente reducción de la digestibilidad. Con dietas convencionales de bajo contenido en fibra, el efecto del nivel de alimentación sobre la digestibilidad es bajo en cerdos y aves. En vacuno, el descenso de la digestibilidad es mayor para alimentos con mayor digestibilidad a nivel de mantenimiento y para forrajes picados muy finos o molidos.



.A partir de NRC (2001)

Efecto del nivel de alimentación en caballos alimentados con henolado

	Feeding level	
	1 x M	1,5 x M
Dry matter	0.610	0.577
Organic matter	0.629	0.586
Crude protein	0.691	0.680
NDF	0.608	0.543
ADF	0.576	0.511
Gross energy	0.594	0.556

Todas las diferencias significativas, excepto la proteína bruta.
Ragnarsson & Lindberg (2010)

f. **Medio ambiente**. Se ha observado en rumiantes que la digestibilidad disminuye 1,6% por cada 10ºC de variación en la Tª ambiente por encima o por debajo de 20ºC. El efecto se cree debido a un aumento de la velocidad de tránsito.

g. **Preparación de los alimentos y uso de aditivos**. Los tratamiento con calor y humedad y el uso de enzimas mejoran la digestibilidad de los alimentos.

Recogida total de heces: con arnés y bolsa y en jaulas de digestibilidad.

- Valoración nutritiva
- Digestibilidad
- **Valoración energética**

VALORACIÓN ENERGÉTICA

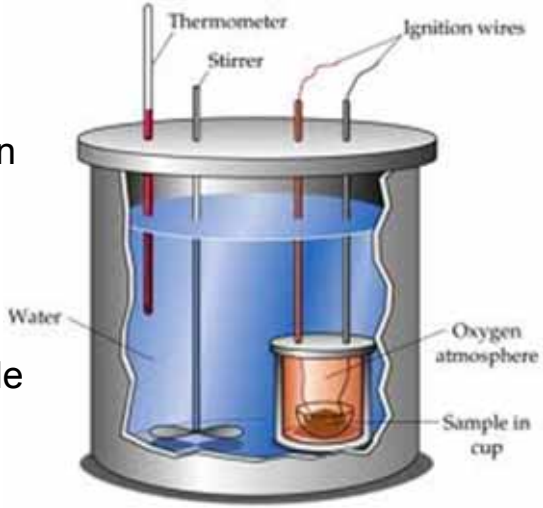
* **Satisfacer las necesidades energéticas** de los animales es el mayor coste ligado a la alimentación de los animales. Incluso en las fases no productivas, los animales necesitan energía para mantener las funciones fisiológicas, conservar la Tª corporal estable y mantener la actividad muscular. Adicionalmente, los animales necesitan energía para sus producciones: crecimiento y engorde, reproducción, lactación y trabajo.

* **Reparto de la energía** en el animal (ver figuras)

* **Energía bruta**

+ Es la **energía liberada en forma de calor** por la combustión completa de un alimento mediante oxidación en una bomba calorimétrica.

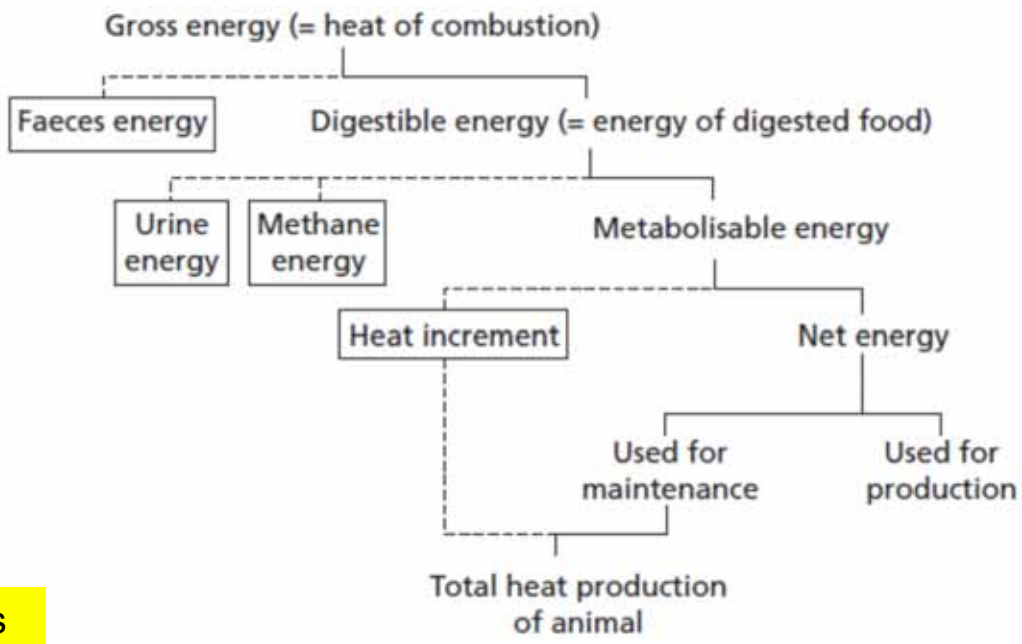
+ La **bomba calorimétrica** se compone de un recipiente metálico resistente que se dispone en el interior de otro recipiente aislado con agua. El oxígeno se introduce a presión. La ignición se consigue haciendo pasar una corriente eléctrica. El calor producido en la oxidación se calcula a partir de la elevación de la Tª del agua que rodea la bomba. La bomba puede utilizarse para alimentos completos, sus componentes, productos animales y excretas.



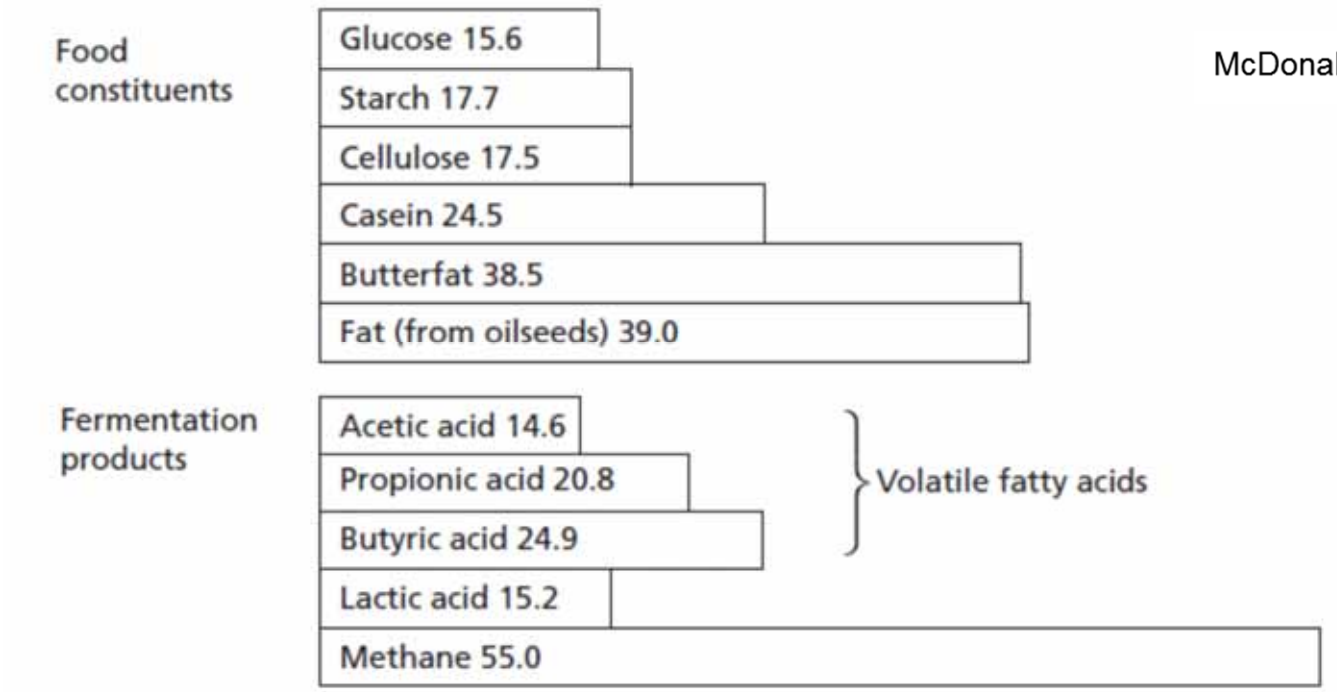
+ La energía se **expresa** en kcal (Mcal) o kJ (MJ). 1 kcal = 4,184 kJ.

+ El **valor promedio de EB** de los alimentos (excepto las grasas puras) es 18,4 MJ/kg MS, y aumenta con el contenido en grasa y proteína. Puede calcularse multiplicando el contenido de cada componente del alimento por su valor de combustión → EB (Mcal/kg MS) = 5,7 x PB + 9,4 x GB + 4,7 x FB + 4,7 x ELN, donde los componentes están expresados en kg/kg MS

La totalidad de la energía bruta de los alimentos no puede utilizarse por los animales. Una parte se pierde con los productos de excreción (heces, orina, gases) y otra parte se pierde en forma de calor. A partir de la energía bruta se pueden derivar otras medidas de la energía aportada por un alimento.



Contenido de EB (MJ/kg MS) de algunos productos



McDonald et al. (2010)

* **Energía digestible aparente**

+ Es la energía bruta del **alimento menos** la energía bruta de las **heces** procedentes del consumo de ese alimento.

+ La **energía fecal supone la mayor pérdida** de energía ingerida, de ahí la importancia de la valoración de la digestibilidad. Las pérdidas son:

- En los rumiantes de 40-50% en forrajes y 20-30% en concentrados.
- En los caballos en torno a 40%.
- En los cerdos sobre 20%.

* **Energía metabolizable**

ME = GE – (FE + UE + CH4E) = DE – (UE + CH4E)

+ Es la energía **digestible menos** la energía perdida en la **orina** (principalmente urea en mamíferos y ácido úrico en aves, también otros compuestos nitrogenados y ácido cítrico) y con los **gases combustibles** procedentes de las fermentaciones que ocurren en el tracto digestivo (metano casi exclusivamente). Su medida requiere la recogida de la orina (jaulas metabólicas) y de los gases de fermentación (cámara de respiración).

+ Representa la energía bruta que queda **disponible para los procesos metabólicos**. Cuando se expresa como fracción de aquella se denomina **metabolicidad** (Qm = EM/EB). La metabolicidad de una ración es un indicativo de la eficacia de utilización metabólica.

+ El **valor energético** de los CHO y las grasas absorbidos por los animales (metabolizables) iguala a su calor de combustión (energía bruta). En el caso de la proteína se realiza una substracción a su energía bruta (aprox. 1 kcal/g) porque los aminoácidos no se oxidan completamente en el organismo → producción de urea en mamíferos y ácido úrico en aves (más de 80% del N urinario).

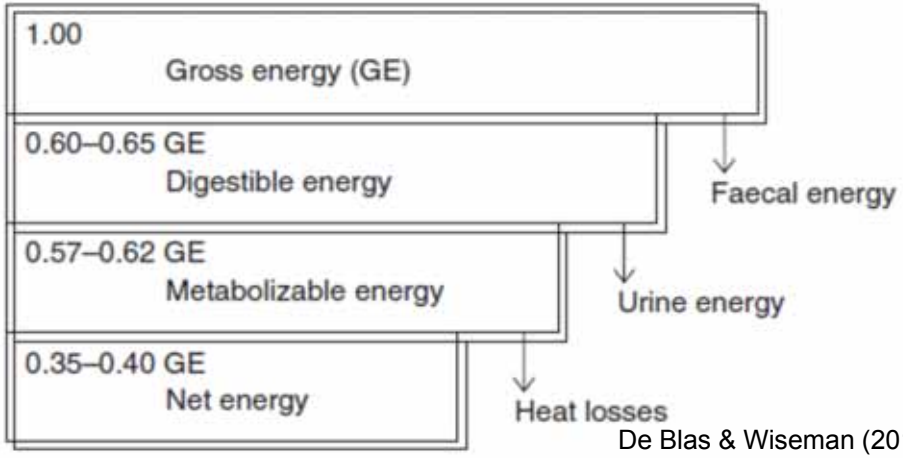
+ Las pérdidas de **energía en la orina** son relativamente constantes si la ración no aporta proteína en exceso: 2-3% de la energía bruta en cerdos y conejos y 4-5% en rumiantes. En rumiantes, la energía de la orina aumenta con el consumo de forrajes: excreción de metabolitos de compuestos presentes en los forrajes ej. polifenoles→ ácido hipúrico.

+ Los **gases de fermentación** suponen un 8% de la energía bruta en rumiantes, 2,5% en caballos, 0,4-1% en cerdos, 0,5% en conejos y es despreciable en aves, perros y gatos.

+ Al aumentar el **nivel de alimentación** se reducen las pérdidas por la orina y el metano lo que compensa parcialmente la disminución de la energía digestible (ver en Digestibilidad).

+ La **relación ED/EM** de las raciones equilibradas en energía y proteína es de 0,81-0,82 en rumiantes y 0,96 en cerdos. En las **grasas y aceites** → ED = EM porque no hay pérdidas urinarias ni por gases de fermentación.

Utilización de la energía en conejos



De Blas & Wiseman (2010)

* Incremento térmico y energía neta

+ El **incremento térmico (IT)** se observa cuando los animales consumen alimentos.
  - Es debido a la digestión de los alimentos (masticación, deglución, movimientos intestinales), la fermentación microbiana, la absorción y transporte de los nutrientes, y el metabolismo de los nutrientes absorbidos (ineficacia de la producción de ATP y de la síntesis de componentes corporales, síntesis y excreción de productos de desecho.
  - Con excepción de su contribución al mantenimiento de la Tª corporal en un medio ambiente frío, el incremento térmico **supone una pérdida** más de la energía del alimento.

+ **Dos puntos importantes**:
  - El metabolismo de los nutrientes absorbidos es el mayor componente del IT.
  - En animales en mantenimiento, el incremento térmico no incluye el calor producido por el metabolismo de los nutrientes como un todo, sino la diferencia entre el calor derivado del metabolismo de los nutrientes absorbidos y el calor producido por el metabolismo de los nutrientes almacenados en el organismo, cuando el animal no recibe alimentos.

+ La **energía neta** se obtiene por sustracción del incremento térmico a la energía metabolizable y representa la parte de la energía bruta que es **completamente útil para el organismo**.
  - La energía neta de mantenimiento corresponde a la energía utilizada para el funcionamiento del organismo y abandona el cuerpo en forma de calor.
  - La energía depositada en forma de tejidos (crecimiento, cebo, gestación) o como productos (leche, huevos, lana) se denomina energía retenida.

+ La **producción de calor corporal** tiene, a partir de lo anterior, dos componentes en animales alimentados: el incremento térmico y la energía neta de mantenimiento. En animales en ayunas, solamente energía neta de mantenimiento. El calor corporal se elimina por radiación, convección y conducción, y por evaporación directa → aplicación de la calorimetría.

* **Medida de la producción de calor y de la retención de energía**

Es costosa y laboriosa. Dos métodos:

1. **Balance de energía**: se mide el calor producido.

+ **Calorimetría directa** → calorímetro. Se fundamenta en que el calor producido en el cuerpo se elimina al medio ambiente. Se puede medir la producción de calor de un animal, en ayunas o alimentado.

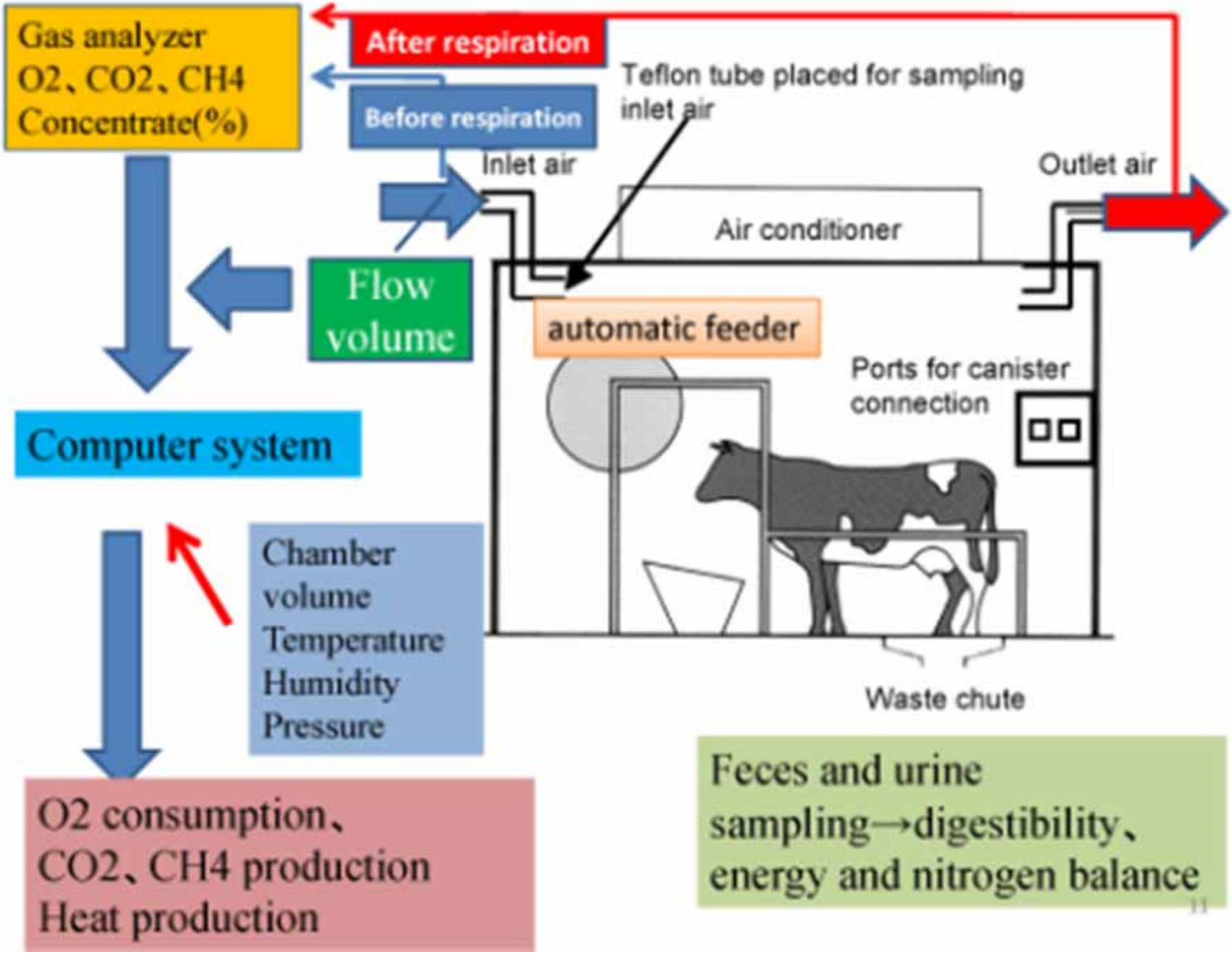
+ **Calorimetría indirecta** por determinación del intercambio respiratorio. Se fundamenta en que la oxidación de los nutrientes produce calor, existiendo una relación entre el calor producido y el O_2 consumido según el sustrato oxidado. Se mide el consumo de O_2 y el contenido de CO_2 en el aire exhalado. El valor O_2 / CO_2 se denomina cociente respiratorio (RQ) y es indicativo de las proporciones de los sustratos oxidados en el organismo (CHO, RQ = 1; grasa, RQ = 0,7; proteína, RQ = 0,8). El equivalente calórico del O_2 para cada RQ oscila de 18,6 a 21,1 kJ/l. Luego la producción de calor es = equivalente calórico x litros O_2 consumidos. Para evitar errores es necesario medir las pérdidas urinarias de N y la producción de metano. Requiere jaulas metabólicas y cámara de respiración.

+ **Medida del ritmo cardíaco**. Es útil en animales de ejercicio como perros y caballos. Se basa en la relación entre el ritmo cardíaco, el consumo de oxígeno y la producción de calor. Durante el ejercicio, más del 90% del consumo de O2 se realiza en la musculatura. El volumen de O2 consumido puede expresarse como una función del ritmo cardiaco. Convirtiendo el volumen de O2 a su equivalente calórico (20,1 kJ/l) se puede estimar la producción de calor debida al metabolismo aerobio. La producción de calor debida al metabolismo anaerobio puede derivarse de la relación entre el ritmo cardiaco y la producción de lactato y su equivalente calórico (1,03-1,8 J/s por 1 mmol/min).

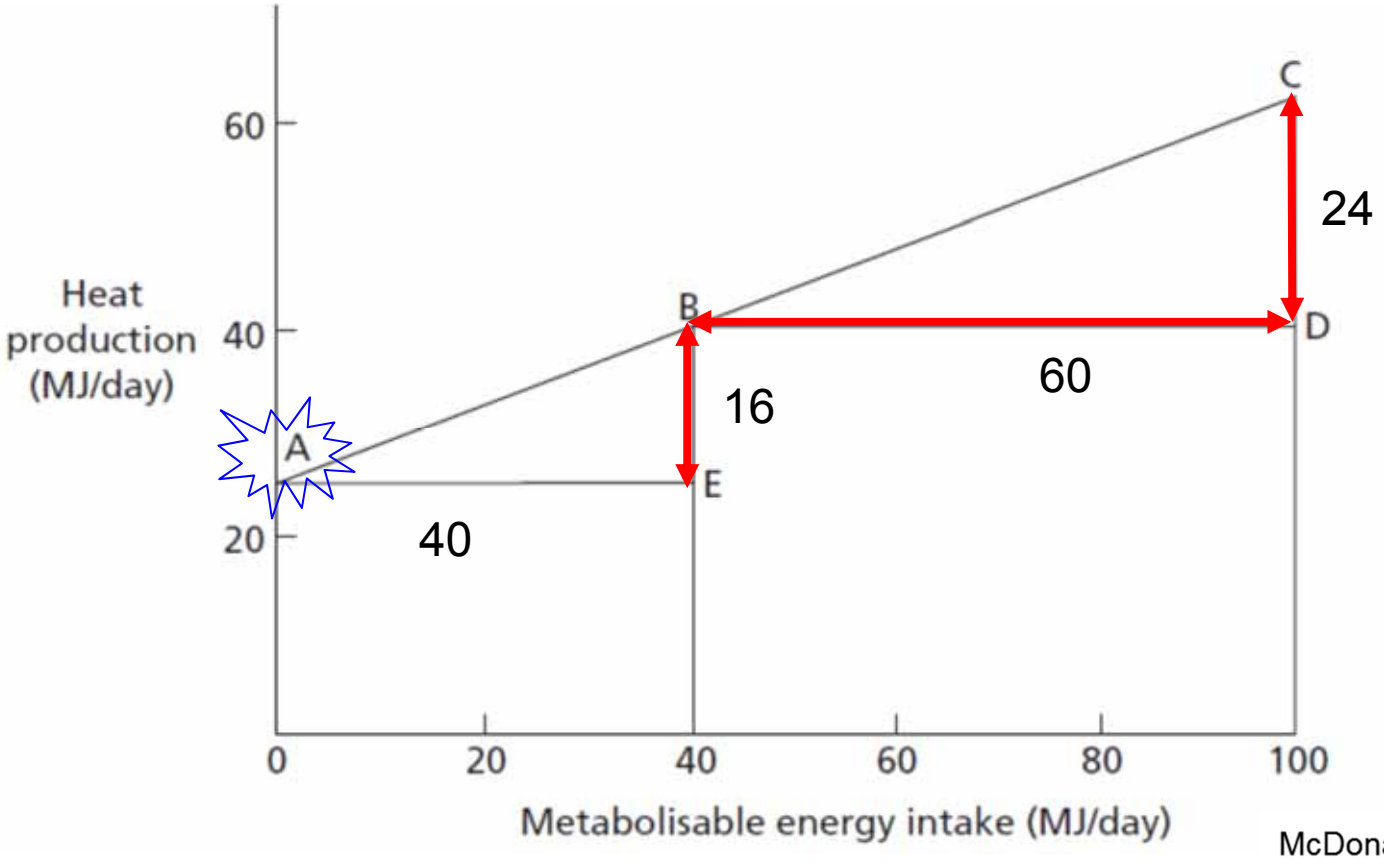
2. **Balance material**: se mide el contenido de componentes corporales.

+ **Balance de carbono y nitrógeno**. Se fundamenta en que la energía se almacena mayoritariamente en el cuerpo como proteína y grasa. Se determina el contenido de C y N de los alimentos suministrados (entradas) y de los excrementos y gases (salidas). A partir del N (6,25 g proteína/g N) se calcula la proteína formada o perdida (según el balance) y el carbono de la misma (C = 52,12% de la proteína). El C restante corresponderá a las grasas (C = 76,5% de la grasa). Los contenidos de proteína y grasa pueden convertirse a energía multiplicando por los correspondientes calores de combustión. Requiere jaulas metabólicas y cámara de respiración.

+ **Sacrificios comparativos**. Los animales se dividen en dos grupos, uno se sacrifica al comienzo de la experiencia y otro al final de la misma. La diferencia entre la composición corporal de ambos grupos se utiliza para calcular la retención de energía. Si se mide la EM puede calcularse el IT por diferencia. Es un método más apropiado para animales pequeños.


Gas analyzer
O2、CO2、CH4
Concentrate(%)
After respiration
Before respiration
Teflon tube placed for sampling inlet air
Inlet air
Outlet air
Air conditioner
Flow volume
automatic feeder
Ports for canister connection
Computer system
Chamber volume
Temperature
Humidity
Pressure
Waste chute
O2 consumption、
CO2、CH4 production
Heat production
Feces and urine sampling→digestibility、energy and nitrogen balance

Medida de la producción de calor por calorimetría directa a dos niveles de alimentación B y C.
Por extrapolación se puede obtener A, que equivale a las necesidades de energía neta de mantenimiento.



McDonald et al. (2010)

El metabolismo de ayuno A es cte e independiente del consumo de EM. El incremento térmico es debido al consumo de alimentos y equivale a CD/BD ó BE/AE, ej. 24/60 ó 16/40→ IT = 0,4

Medida de la producción de calor en terneros en ayunas por calorimetría indirecta conociendo la excreción urinaria de N

Results of the experiment (/24 hours)		
Oxygen consumption (l)		392.0
Carbon dioxide produced (l)		310.7
Nitrogen excreted in urine (g)		14.8
Heat from protein metabolism		
Protein oxidised (g)	(14.8 × 6.25)	92.5
Heat produced (kJ)	(92.5 × 18.0)	1665
Oxygen used (l)	(92.5 × 0.96)	88.8
Carbon dioxide produced (l)	(92.5 × 0.77)	71.2
Heat from carbohydrate and fat metabolism		
Oxygen used (l)	(392.0 – 88.8)	303.2
Carbon dioxide produced (l)	(310.7 – 71.2)	239.5
Non-protein respiratory quotient (RQ)	(239.5/303.2)	0.79
Thermal equivalent of oxygen when RQ = 0.79 (kJ/l)		20.0
Heat produced (kJ)	(303.2 × 20.0)	6064
Total heat produced (kJ)	(1665 + 6064)	7729

ctes

McDonald et al. (2010)

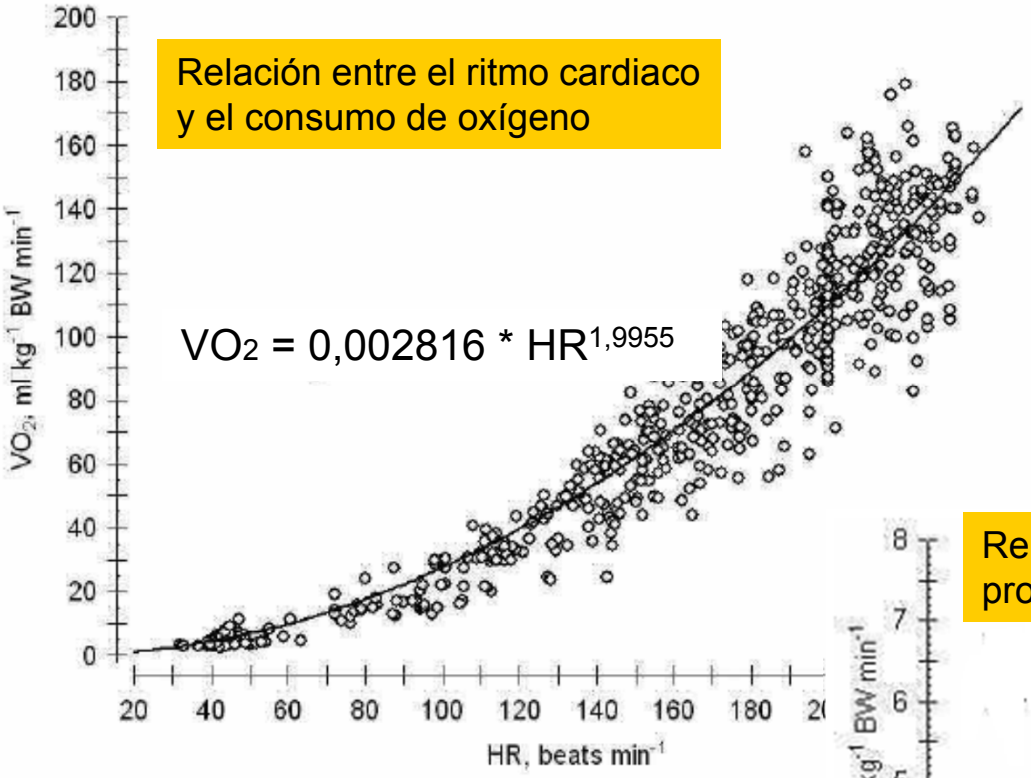
Ecuación de Brouwer:
Q = 16,18 VO2 + 5,16 VCO2 – 5,90 N – 2,42 CH4

En aves, el coeficiente del N es 1,2 porque el ácido úrico supone una oxidación de la proteína mayor que la urea.

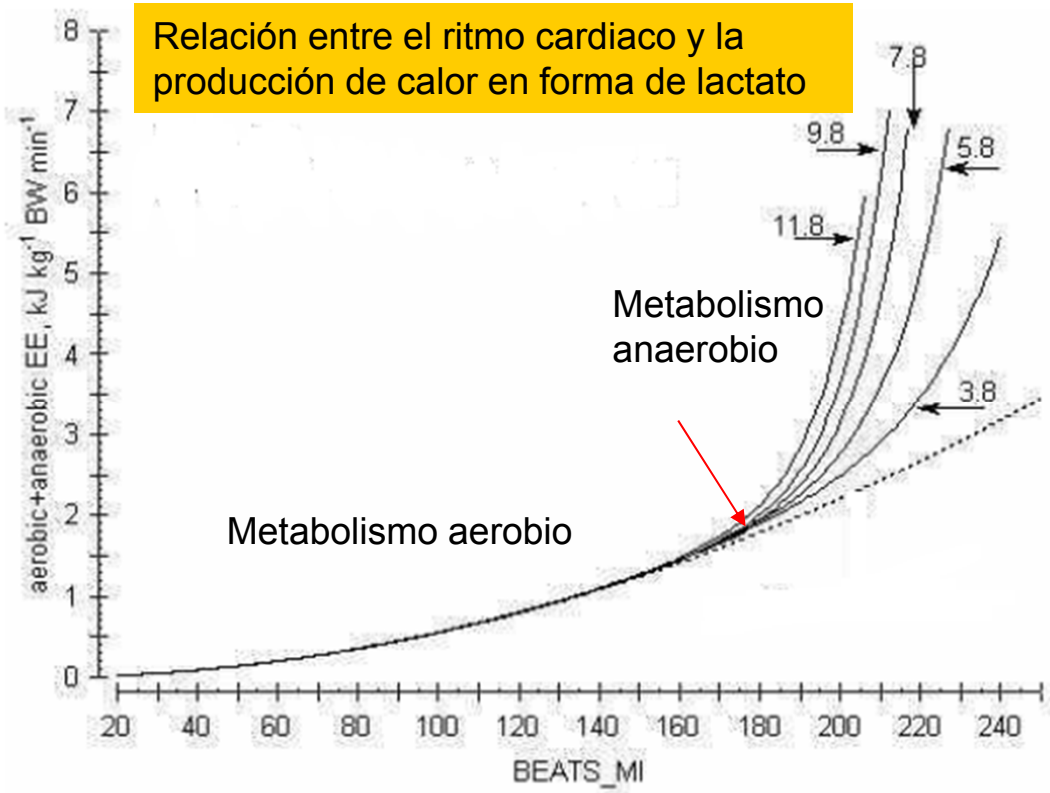
Medida de la producción de calor por el ritmo cardiaco en caballos

Relación entre el ritmo cardiaco y el consumo de oxígeno

$VO_2 = 0{,}002816 * HR^{1{,}9955}$

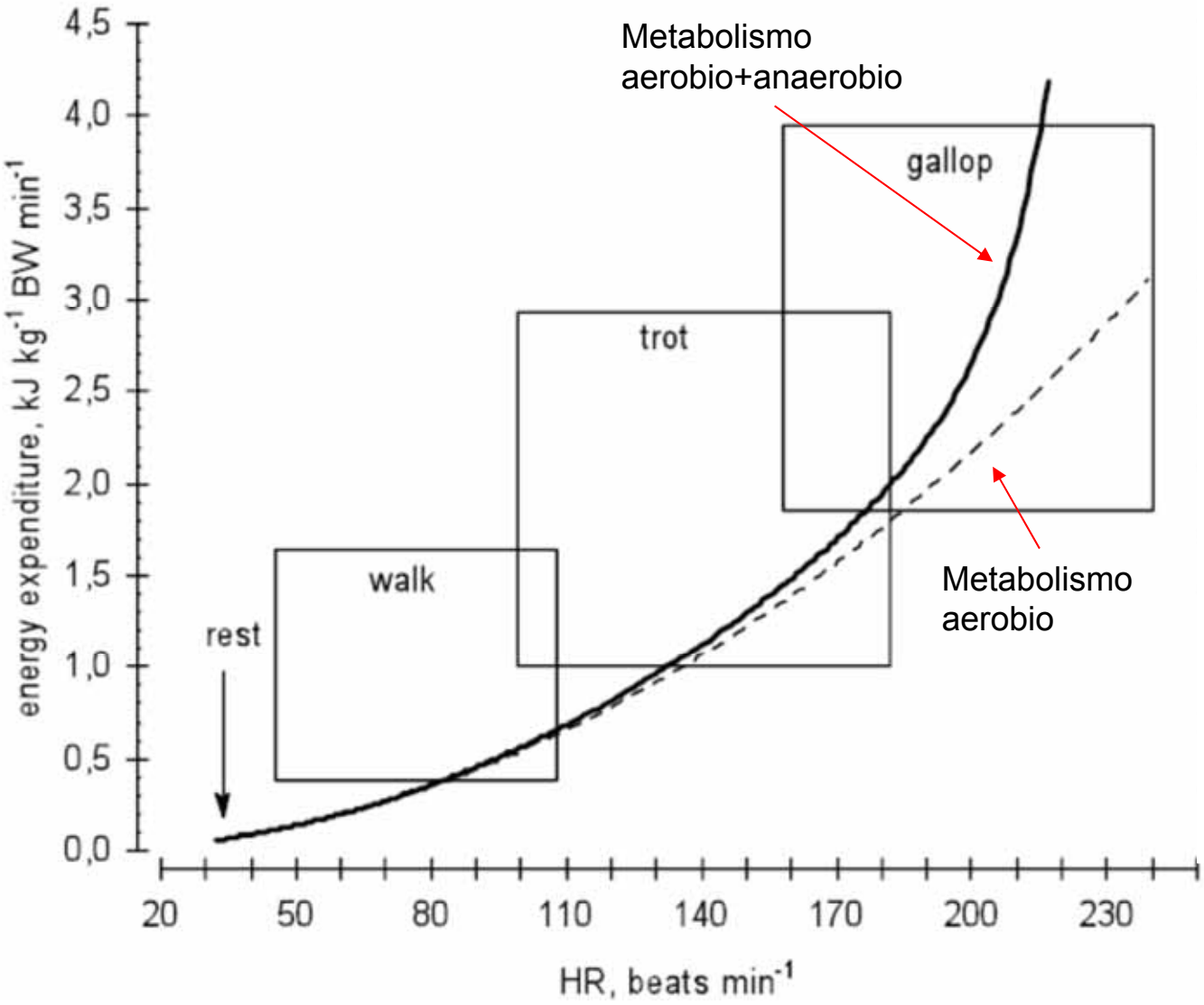


Relación entre el ritmo cardiaco y la producción de calor en forma de lactato



Coenen (2010)

Medida de la producción de calor por el ritmo cardiaco en caballos



5.8 mmol lactate at a HR of 180 beats min-1

Coenen (2010)

Medida del balance de C y N en ovejas alimentadas

Results of experiment (/ 24 hours)	C (g)	N (g)	Energy (MJ)	
Intake	684.5	41.67	28.41	EB
Excretion in faeces	279.3	13.96	11.47	pérdidas
Excretion in urine	33.6	25.41	1.50	pérdidas
Excretion in methane	20.3	–	1.49	pérdidas
Excretion in CO_2	278.0	–	–	
Balance	73.3	2.30	–	
Intake of metabolisable energy	–	–	13.95	EB – pérdidas = EM
Protein and fat storage				
Protein stored (g)	(2.3 × 6.25)		14.4	
Carbon stored as protein (g)	(14.4 × 0.512)		7.4	
Carbon stored as fat (g)	(73.3 – 7.4)		65.9	
Fat stored (g)	(65.9/0.746)		88.3	
Energy retention and heat production				
Energy stored as protein (MJ)	(14.4 × (23.6/1000))		0.34	
Energy stored as fat (MJ)	(88.3 × (39.3/1000))		3.47	
Total energy retention (MJ)	(0.34 + 3.47)		3.81	
Heat production (MJ)	13.95 – 3.81		10.14	

El contenido de C de la proteína es 51,2% y el de la grasa es 74,6%.

McDonald et al. (2010)

Medida de la energía retenida por sacrificio comparativo en aves

Details of birds	Initial	Final	Difference
Liveweight (g)	2755	2823	68
Gross energy (kJ)	27491	28170	679
Metabolisable energy intake (kJ)		2255	
Heat production (kJ) (2255–679)		1576	
Heat production by respiration calorimetry (kJ)		1548	

McDonald et al. (2010)

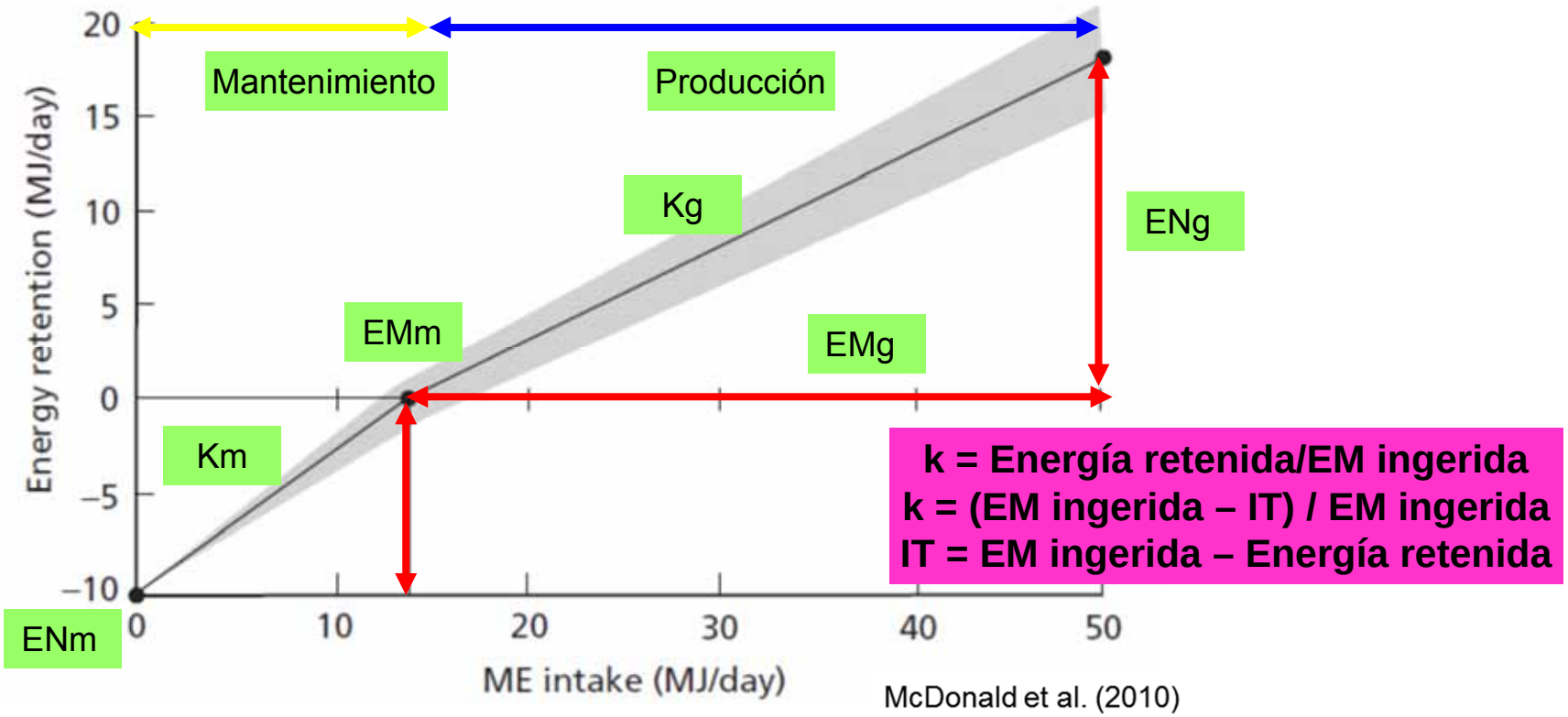
La diferencia de los valores obtenidos por calorimetría y por sacrificio comparativo es muy pequeña.

* **Utilización de la energía metabolizable**

+ La conversión de la EM a EN se expresa por un valor denominado eficiencia de utilización (k), con un subíndice que indica la función corporal a que se destina.

k factor	Efficiency of ME utilisation for
k_m	Maintenance
k_p	Protein deposition
k_f	Fat deposition
k_g (or k_{pf})	Growth in general
k_l	Milk production
k_c	Foetal growth (the conceptus)
k_w	Work (e.g. in draught animals)
k_{wool}	Wool growth

Balance energético en un ternero



McDonald et al. (2010)

+ La **utilización de la EM** para las diferentes funciones corporales depende básicamente del sustrato que la aporta y está íntimamente relacionada con las rutas metabólicas de uso.

+ En el caso del **mantenimiento**: **km** depende de la capacidad del nutriente absorbido para reemplazar a la grasa corporal oxidada: grasa > glucosa > mezcla AGV > proteína
Ej. Caballos: 0,89 > 0,85 > 0,70 > 0,63
La menor eficiencia de la proteína se debe a la oxidación incompleta de la proteína hasta urea y ácido úrico y su gasto de excreción.

+ **Crecimiento**: depende de la proporción de grasa y proteína en la ganancia de peso y de las correspondientes rutas de síntesis, por tanto **kg** tiene dos componentes: **kf y kp**.
- La síntesis de proteína es menos eficiente (por la continua renovación) que la de grasa
  # Cerdos: kp = 0,45-0,55
  # Aves: kp = 0,40-0,60
- Síntesis de grasa varía con el sustrato: kf → grasa > glucosa > AGV > proteína
  # Cerdos: 0,86 > 0,76 > 0,65-0,71 ≥ 0,66
  # Aves: 0,90 > 0,75 > (-) > 0,60
- En **rumiantes**:
  # kg (kp+kf) variable y muy inferior a monogástricos (0,70 en cerdos y aves vs. 0,40-0,60).
  # al aumentar la proporción de acético en la mezcla de AGV, kg disminuye linealmente → las raciones ricas en forraje son más ineficientes.

+ **Producción de leche y huevos**: **kl** 0,56-0,66→rumiantes, 0,65→cerda; **ke** 0,69 →gallinas.
+ **Gestación**: **kc** muy baja en rumiantes (0,10-0,25) y mayor en el cerdo (0,49). El menor valor comparado con las anteriores podría deberse a que el IT medido incluye la producción de calor basal del feto y los anejos y la del crecimiento de los tejidos fetales.
+ **Lana**: es prácticamente síntesis de proteína rica en aa azufrados, **kw** muy bajo (0,18).

Relación entre el sustrato (o el alimento) y la eficiencia de utilización de la EM para el crecimiento y engorde

cerdos

Form of energy stored	Origin of value	Substrate or diet	Efficiency
Fat (k_f)	Theoretical	Acetate + glucose	0.81
		Dietary fat	0.99
		Dietary protein	0.69
	Actual (calorimetric)	Normal diets	0.74
		Dietary fat	0.86
		Dietary carbohydrate	0.76
		Dietary protein	0.66
		Volatile fatty acids	0.65–0.71
Protein (k_p)	Theoretical	Amino acids	0.88
	Actual (calorimetric)	Amino acids	0.45–0.55
Protein and fat (k_g)	Actual	Many diets (mean)	0.71
		Barley	0.60
		Maize	0.62
		Soya bean meal	0.48

Teórica > medida

rumiantes

Concentrates		Forages	
Barley	0.60	Dried ryegrass (young)	0.52
Oats	0.61	Dried ryegrass (mature)	0.34
Maize	0.62	Meadow hay	0.30
Groundnut meal	0.54	Lucerne hay	0.52
Soya bean meal	0.48	Grass silages	0.21–0.60
		Wheat straw	0.24

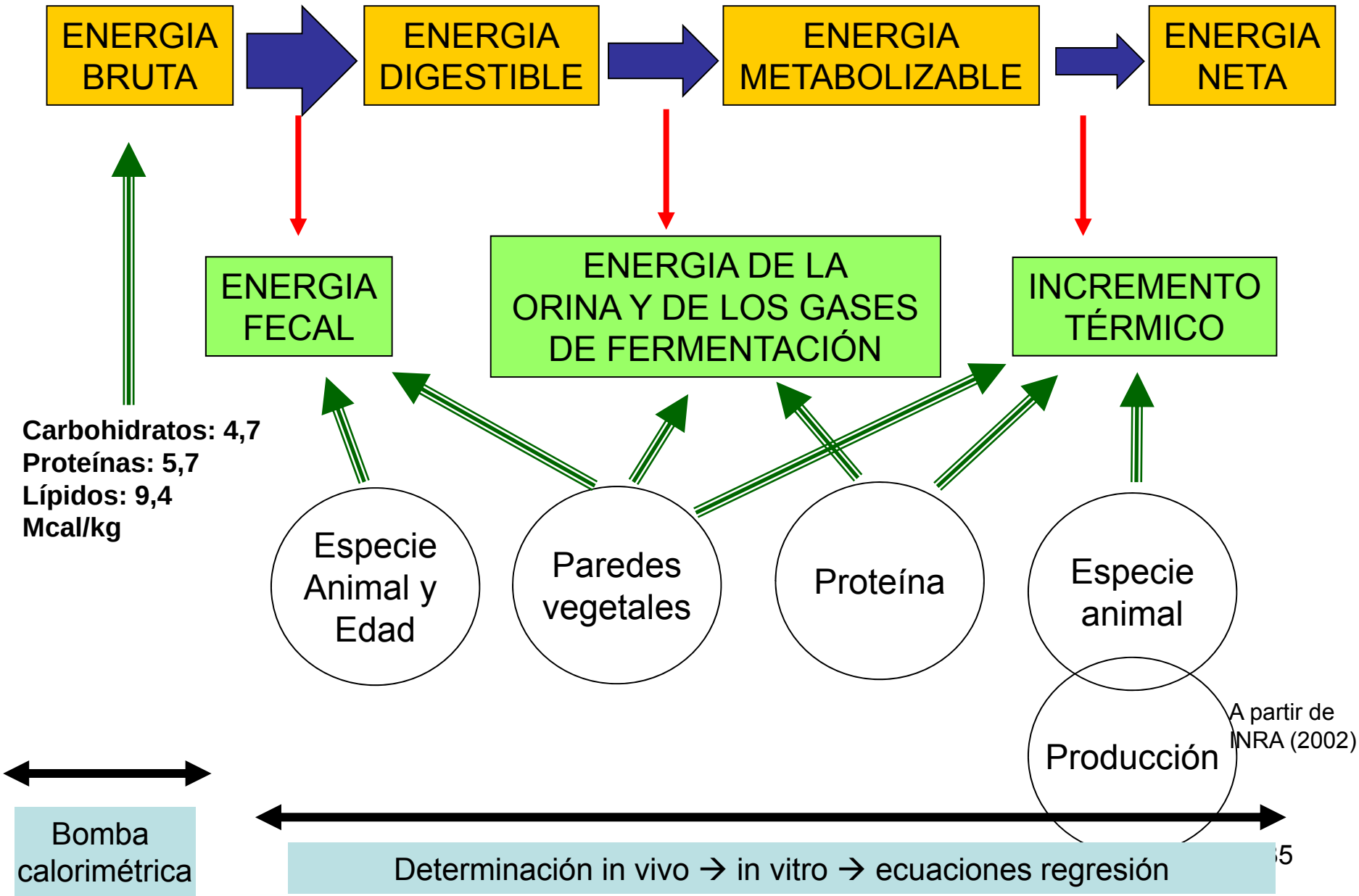
+ → -

+ ↓ -

↓ si ↑ fibra

McDonald et al. (2010)

Distribución de la energía de los alimentos en el animal



A partir de INRA (2002)

Resumen cuantitativo (%) de la distribución de la energía de los alimentos

Expresión de la energía	Pérdidas	Monogástricos	Herbívoros no rumiantes	Rumiantes
EB				
	HECES	2 – 40	10 – 70	10 – 60
ED				
	GASES	0.5	3 – 7	5 – 12
	ORINA	1 – 3	3 – 5	3 – 5
EM				
	I. C.	5 – 30	10 – 35	10 – 40
EN	PERDIDA NETA	25 – 75	50 – 85	65 – 90
	USO NETO	25 - 75	15 - 20	10 - 35

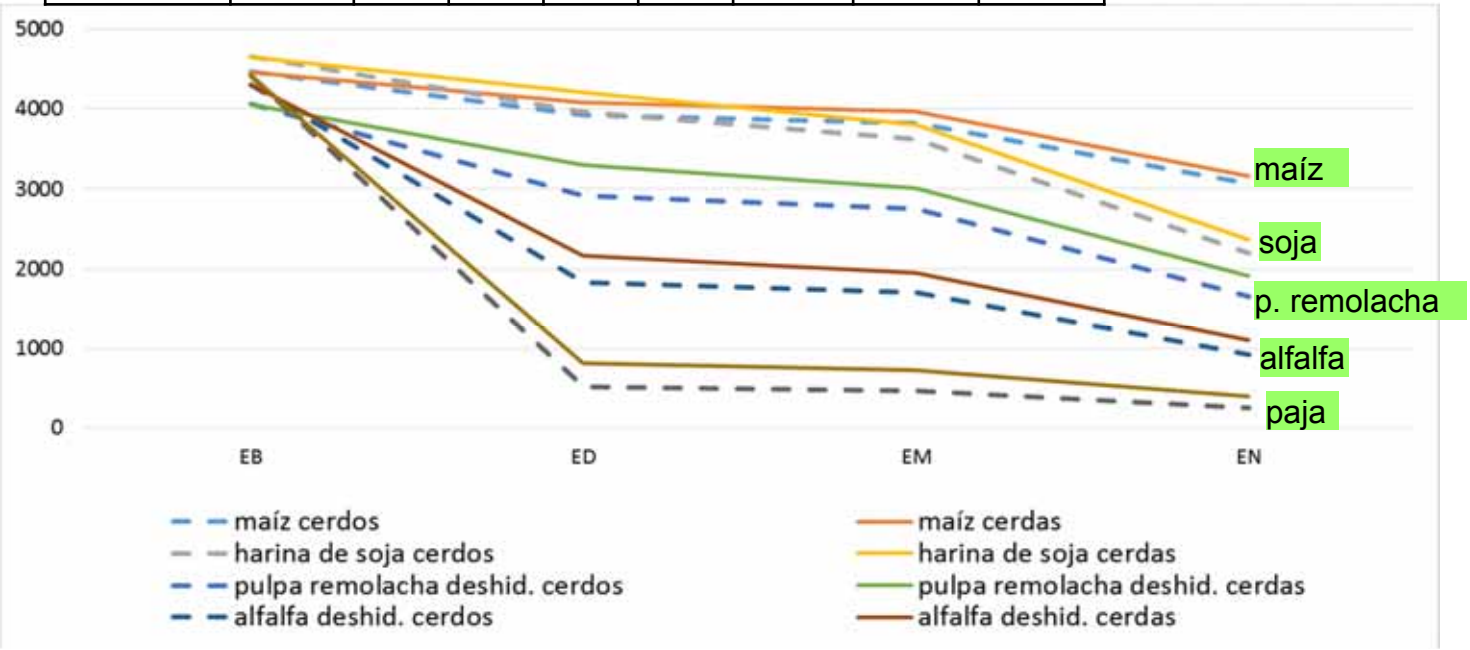
Alimento	MS %	EB kcal/kg	especie	ED	EM	ENmp	ENm	ENl	ENg
			Gallinas	-	3200	-	-	-	-
			Cerdos crec.	3390	3310	2650	-	-	-
Maíz	86,4	3860	Rumiantes	3320	2800	-	2134	1784	1601
			Caballos	3350	-	2520	-	-	-
			Conejos	3070	3000	-	-	-	-
			Gallinas	-	2250	-	-	-	-
			Cerdos crec.	3470	3170	1920	-	-	-
Harina de soja	87,6	4080	Rumiantes	3468	2820	-	2120	1774	1537
			Caballos	3080	-	1800	-	-	-
			Conejos	3280	2850	-	-	-	-
			Gallinas	-	1030	-	-	-	-
			Cerdos crec.	1660	1540	840	-	-	-
Alfalfa deshid.	90,6	3900	Rumiantes	2300	1810	-	1244	1040	666
			Caballos	2430	-	1215	-	-	-
			Conejos	1770	1650	-	-	-	-
Har. pescado 62%	94,3	4380	Perros/gatos	-	3720/3670	-	-	-	-
Har. carne 7,5 %	96,3	3960	Perros/gatos	-	3620/3560	-	-	-	-

Cambios en el valor energético de los alimentos en función del sistema de expresión de la energía y del estado productivo. Ejemplo en cerdos

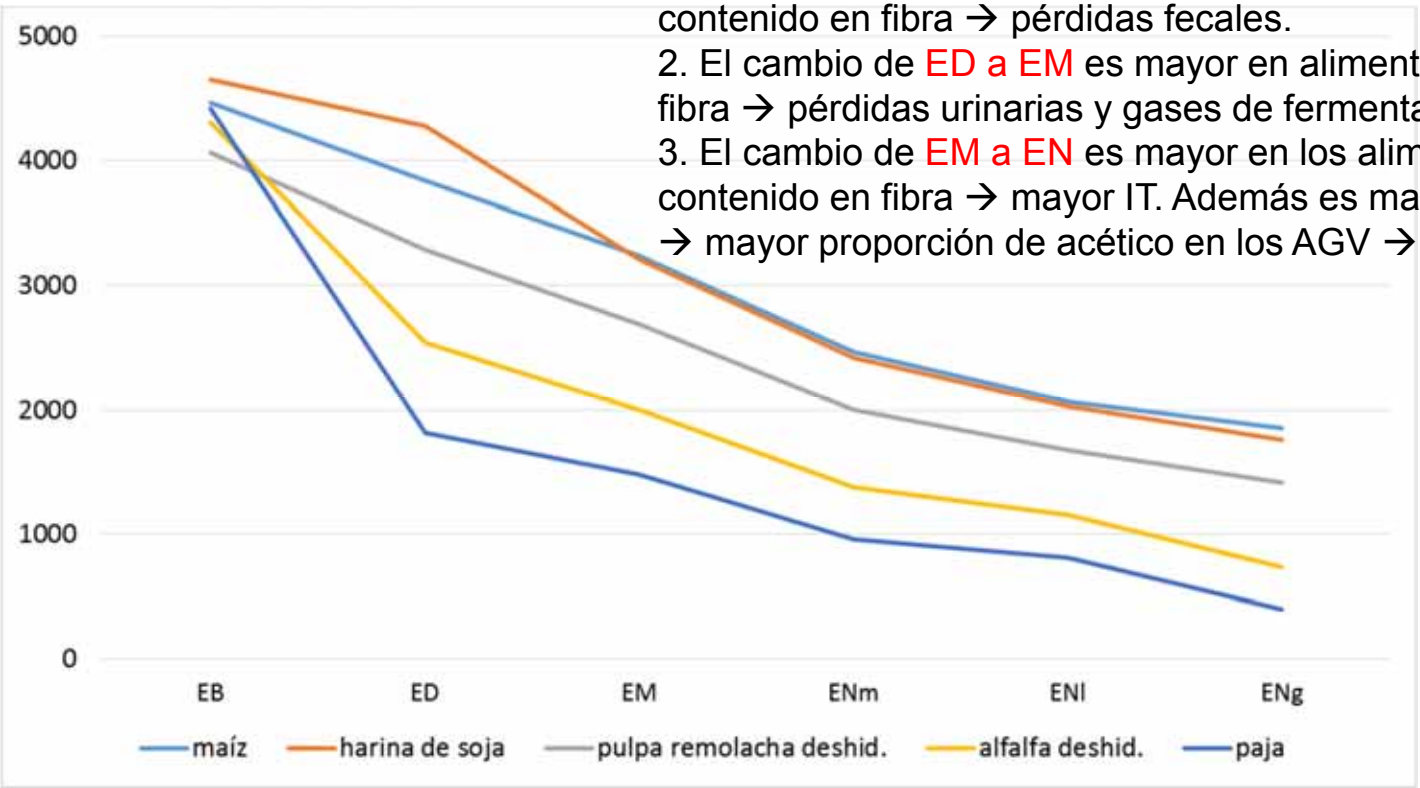
Alimento	Estado	kcal/kg MS				ED/EB	EM/ED	EN/EM
		EB	ED	EM	EN			
Maíz	cerdos	4468	3924	3831	3067	88	98	80
	cerdas	4468	4086	3970	3160	91	97	80
Harina soja	cerdos	4656	3961	3619	2192	85	91	61
	cerdas	4656	4212	3801	2363	90	90	62
Pulpa rem. des.	cerdos	4063	2918	2750	1661	72	94	60
	cerdas	4063	3300	3008	1908	81	91	63
Alfalfa des.	cerdos	4305	1832	1700	927	**43**	93	55
	cerdas	4305	2163	1954	1104	**50**	90	56
Paja	cerdos	4420	525	470	252	**12**	90	54
	cerdas	4420	821	722	394	**19**	88	55

Los valores son mayores en cerdas que en cerdos → efecto del desarrollo del aparato digestivo → mayor capacidad de digestión de paredes vegetales en cerdas.

1. El cambio de EB a ED es mayor para los alimentos con mayor contenido en fibra → pérdidas fecales.
2. El cambio de ED a EM es mayor en alimentos ricos en proteína y fibra → pérdidas urinarias y gases de fermentación.
3. El cambio de EM a EN es mayor en los alimentos con mayor contenido en fibra y proteína → mayor IT



Cambios en el valor energético de los alimentos en función del sistema de expresión de la energía y del destino de los nutrientes absorbidos. Ejemplo en rumiantes.

Alimento	kcal/kg MS						ED/EB	EM/ED	ENm/EM	ENl/EM	ENg/EM
	EB	ED	EM	ENm	ENl	ENg					
Maíz	4468	3842	3240	2469	2065	1852	86	84	76	64	57
Harina soja	4656	4283	3219	2422	2025	1755	92	75	75	63	55
Pulpa rem. des.	4063	3290	2694	2005	1677	1409	81	82	74	62	52
Alfalfa des.	4305	2540	1998	1373	1148	735	59	79	69	57	**37**
Paja	4420	1812	1477	960	803	394	41	82	65	54	**27**

1. El cambio de EB a ED es mayor para los alimentos con mayor contenido en fibra → pérdidas fecales.
2. El cambio de ED a EM es mayor en alimentos ricos en proteína y fibra → pérdidas urinarias y gases de fermentación.
3. El cambio de EM a EN es mayor en los alimentos con mayor contenido en fibra → mayor IT. Además es mayor en el caso de la ENg → mayor proporción de acético en los AGV → menor eficiencia.