

Artículo Invitado: Sistemas para la valoración energética de los alimentos en aves*

M. Francesch**

Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), Departamento de Nutrición Animal,
Centre de Mas Bové, Apartat 415. 43280 Reus (España).

Invited paper: Systems to measure energy value of poultry feeds

ABSTRACT: This review is concerned about the different systems and methods available to measure the energy values of feeds and ingredients for poultry. The aspects developed in the first part related with the direct methods regularly used to measure metabolisable energy (EM), reporting some of the advantages and disadvantages of using conventional methods or rapid assays. Results are given on the relationship between TME (True Metabolisable Energy) and AME (Apparent Metabolisable Energy) in diets with higher non-starch-polysaccharides. A common reference procedure adopted by several European laboratories to determine apparent metabolisable energy corrected to zero-nitrogen balance (AMEn) is described. In a second part, the use of alternative methods, such as indirect or *in-vitro* methods, available in the literature are reported. This review includes *in-vitro* digestion systems, prediction equations on the basis of crude nutrients or digestible nutrients and the use of Near Infrared Reflectance Spectroscopy analysis to predict the energy content of feeds, ingredients or the gross energy of excreta. From this paper, it is clear that more studies are needed to define the most suitable method to measure the energy content of poultry diets and, secondly, improve the methods used for prediction of these values for use in feed formulation.

Key words: Energy value, energy systems, poultry feeds

©2001 ALPA. Todos los derechos reservados

Arch. Latinoam. Prod. Anim. 2001. 9(1): 35-42

RESUMEN: Es una revisión de los diferentes sistemas y métodos que permiten valorar los niveles energéticos de piensos e ingredientes para aves. En la primera parte, se describen los métodos directos usados normalmente para medir la energía metabolizable (EM), citando algunas de las ventajas y desventajas de usar los métodos convencionales o experimentos rápidos. Los resultados se relacionan con la EMV (Energía Metabolizable Verdadera) y la EMA (Energía Metabolizable Aparente) en dietas con alto contenido de PNA (Polisacáridos No Amiláceos). También se describe un procedimiento común adoptado por varios laboratorios europeos para determinar la EMA corregida para un balance de nitrógeno cero (EMAn). En la segunda parte, se explica el uso de métodos alternativos, como los métodos indirectos o *in-vitro*. *Esta revisión* incluye sistemas de digestión *in-vitro*, ecuaciones de predicción basadas en los nutrientes brutos o digestibles y el uso del sistema NIR (Espectroscopía en el Infrarojo Cercano) para predecir el contenido energético de los piensos, ingredientes o energía bruta de excretas. Es necesario la realización de más estudios para definir cuál es el método más apropiado para determinar el valor energético de las raciones destinadas a aves; así como mejorar los métodos de predicción para ser utilizados en la formulación de raciones.

Palabras clave: Valoración energética, sistemas de energía, alimentación, aves

Introducción

La concentración de energía disponible en la dieta es un factor determinante de los rendimientos productivos en po-

llos broiler y en la situación actual Europea, la energía de la ración es una parte muy importante del coste total del alimento. Poder disponer de métodos rápidos, fiables y económicos para determinar el valor energético de raciones e in-

*Conferencia presentada en la XVI Reunión de ALPA en Montevideo, Uruguay Marzo de 2000

**E-mail: maria.francesch@irta.es

Recibido Septiembre 22, 2000.

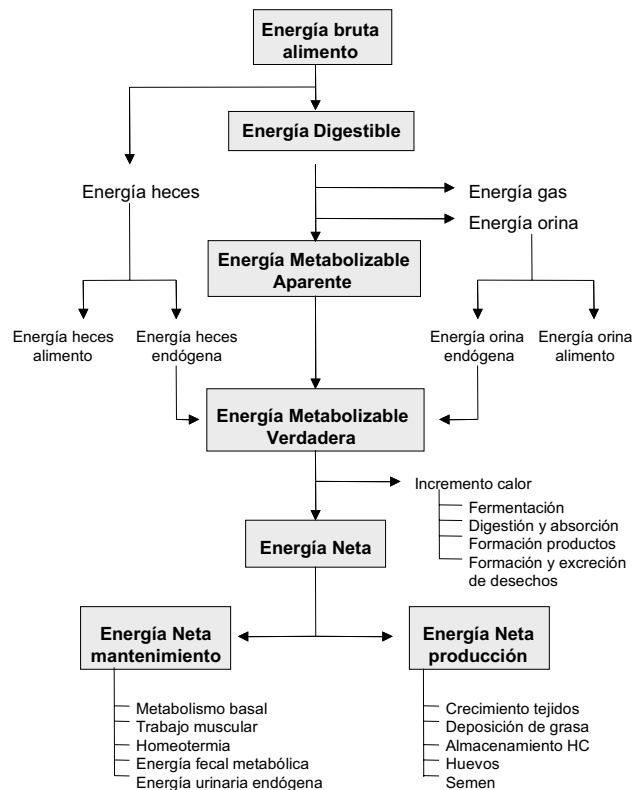
Aceptado Marzo 15, 2001

gredientes ha sido una constante preocupación desde el inicio de la avicultura industrial y muchos esfuerzos se han dedicado a ello. En aves existen una gran variedad de métodos y sistemas para determinar el contenido energético de los alimentos así como una gran gama de nomenclaturas para definir a los mismos, no habiendo aun total acuerdo sobre el sistema, método y forma en que se debe valora el contenido energético de los ingredientes; valores necesarios para la formulación de las raciones y para predecir con exactitud los rendimientos productivos en todas las circunstancias. Con todo ello y hoy en día, se acepta universalmente que la medida de la energía metabolizable (EM) es la más adecuada para expresar el contenido energético de las raciones destinadas a aves; mientras no se disponga de más información y esté más desarrollado el sistema de energía neta (EN). La realización de balances *in-vivo* para la determinación de la EM no es practicable a nivel de la industria, por su alto costo en personal, analítico y de disponibilidad de instalaciones, además del factor tiempo. Es necesario disponer de tablas, ecuaciones de predicción o de técnicas rápidas que puedan predecir con suficiente precisión y fiabilidad el valor energético de los ingredientes utilizados en la formulación de raciones para aves.

En este texto se pretende revisar los métodos directos utilizados regularmente para determinar la energía metabolizable de los alimentos completos e ingredientes en aves, así como, las propuestas de métodos indirectos o *in-vitro* disponibles hasta el momento para predecir el valor energético de los mismos.

Sistemas de Valoración Energética *in-vivo*

La energía bruta (EB) del alimento no es totalmente disponible para las necesidades del ave. En un primer lugar, una parte de la energía del alimento no es digerido y se excreta directamente en las heces. Otra parte es degradada por procesos de fermentación productores de gas, aunque en aves no representa una fracción importante. En la orina hay pérdidas de energía ligadas al metabolismo proteico y finalmente, la utilización metabólica de la energía del alimento va acompañada de unas pérdidas en forma de calor. Atendiendo a la partición de la energía ingerida en el ave presentada por Sibbald (1982) (Figura 1), el valor energético de un alimento puede expresarse en términos de Energía Digestible (ED), Energía Metabolizable (EM) y Energía Neta (EN); y cada sistema de energía lleva asociado una metodología concreta para determinarla. En aves, el sistema más ampliamente utilizado es el de EM y debido a la fisiología del ave (excreción conjunta de heces y orina en la cloaca) se determina muy raramente la ED. La energía neta de un ingrediente es la parte de energía utilizada par el mantenimiento corporal y para la producción. Se puede obtener a partir de sacrificios comparativos (energía productiva), por calorimetría o predecir a partir de ecuaciones que tienen en cuenta las diferencias en la eficiencia de utilización metabólica de los lípidos, las proteínas y los hidratos de carbono.



Extraído de Sibbald, 1982

Figura 1. Partición de la energía ingerida en el ave.

Sería el sistema de preferencia a utilizar en la formulación de raciones pero aun no se dispone de todas las bases experimentales que permitan establecer un sistema de EN para ser aplicado en la práctica de formulación de raciones.

Con los datos y la información disponible actualmente, se acepta que el sistema de energía metabolizable es el más adecuado para valorar el contenido energético de los alimentos e ingredientes destinados a aves. No se debe olvidar que EM no es un valor constante característico de la dieta o del ingrediente; es una medida biológica característica del animal al cual va destinada la ración y depende de todos los factores que intervienen en la digestión y asimilación de nutrientes.

La EM se evalúa directamente mediante ensayos de balance y requiere la determinación de los calores de combustión de una muestra representativa de excreta y alimento y la medida cuantitativa de la cantidad de excreta con respecto a la ingesta. Dentro del sistema de EM, existen discrepancias sobre la idoneidad de utilizar la forma EMV (energía metabolizable verdadera) con corrección de las pérdidas endógenas (EMV) o la forma Aparente (EMA) sin corrección. Además, la energía metabolizable se puede expresar con o sin corrección para una retención de nitrógeno nula (EMVn y EMAn).

Energía Metabolizable Aparente *versus* Energía Metabolizable Verdadera

Desde el punto de vista metodológico y fisiológico, se pueden establecer dos grandes divisiones en los métodos para determinar la EM. Ambos se basan en el establecimiento de balances entre la cantidad ingerida y la cantidad excretada, pero se diferencian principalmente en el sistema de alimentación, en los periodos de ayuno, en la duración del ensayo y en la corrección o no por pérdidas de energía endógenas.

Así, desde el punto de vista metodológico podemos diferenciar:

1. Ensayos rápidos basados en la alimentación forzada de una cantidad de alimento, con un ayuno al inicio y al final del balance (Lessire, 1990; McNab y Blair, 1988; Sibbald, 1976; Sibbald, 1986). Este tipo de ensayos requiere la medida de las pérdidas endógenas y la expresión de energía como EMV (Figura 2).
2. Ensayos rápidos en donde se habitúa al animal a comer una cantidad limitada durante un corto tiempo, con ayuno previo al inicio y al final (Farrell, 1978) (Figura 2).
3. Ensayos tradicionales de balance en los que el animal es alimentado de forma continua, con o sin ayuno previo al inicio y al final del balance. Dentro de estos ensayos cabe señalar el procedimiento descrito por Hill *et al.* (1960) en el que el ingrediente problema sustituye a la glucosa de una dieta semi-sintética de referencia. Sibbald y Slinger (1963) modificaron la dieta referencia, substituyéndola por una dieta estándar de alta o baja proteína, dependiendo del ingrediente a valorar e incluyendo el ingrediente a más de un nivel, lo que permite estimar los valores de EMA mediante el análisis de regresión. Más recientemente se ha establecido un protocolo de ensayo, llamado "Método de Referencia Europeo" para la valoración de la EMA en pollos jóvenes y aves adultas (Bourdillon *et al.*, 1990a; Bourdillon *et al.*, 1990b). El esquema se muestra en la Figura 3).

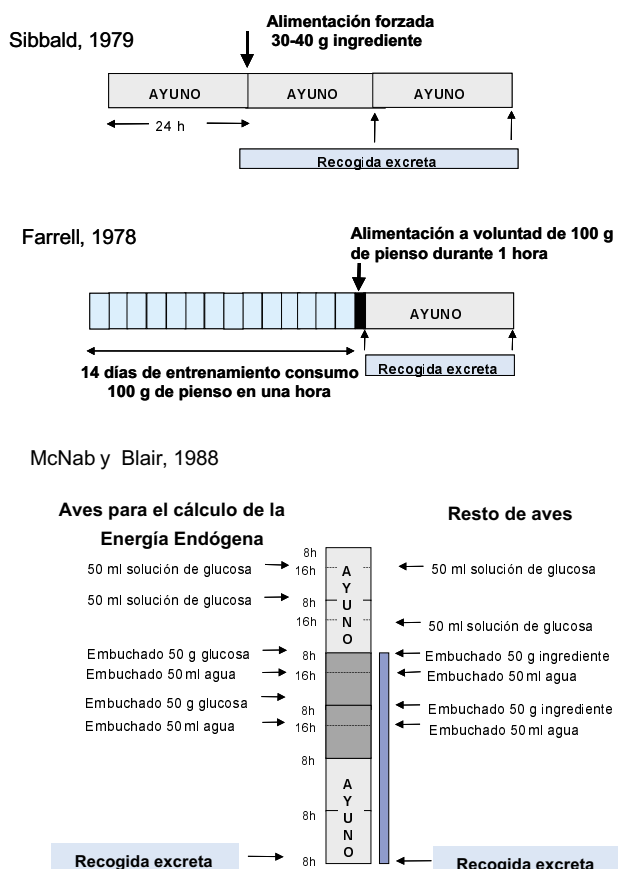
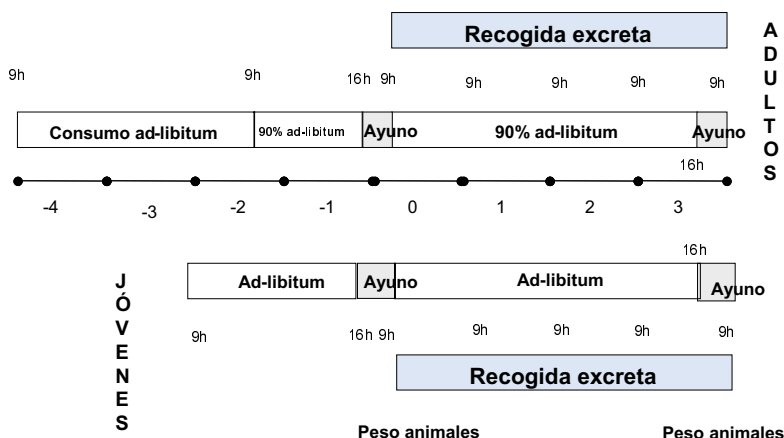


Figura 2. Procedimiento para la determinación de la Energía Metabolizable Verdadera.

La diferencia básica entre los métodos tradicionales y los rápidos esta en el sistema de alimentación, continuado durante varios días en oposición a una alimentación forzada en una sola toma o varias. Para la determinación de la EMV es requisito indispensable la medida de las pérdidas endógenas de energía, ligadas al metabolismo del animal y no a



Bourdillon *et al.*, 1990a

Figura 3. Procedimiento para la determinación de la Energía Metabolizable Aparente.

Cuadro 1. Variaciones entre laboratorios en el "Ring-test" del Método Europeo de valoración de la EMAn en aves.

	1 ^{er} "Ring-test" (7 laboratorios/4 alimentos)		2 ^o "Ring-test" (9 laboratorios/7 alimentos)	
	DE ⁽¹⁾	CV (%) ⁽²⁾	DE ⁽¹⁾	CV (%) ⁽²⁾
Materia seca (%)	1.13	1.27	1.25	1.42
Energía bruta (kcal/kg)	58	1.29	20	0.45
Nitrógeno Kjeldahl (%)	0.16	4.39	0.08	2.15
EMAn adulto (kcal/kg)	91	2.92	61	1.88
EMAn joven (kcal/kg)	-	-	81	2.60

⁽¹⁾DE = desviación estándar. ⁽²⁾CV = coeficiente de variación. (Bourdillon *et al.*, 1990a y 1990b).

la ingesta de alimento. A medida que la ingesta disminuye el cociente entre las pérdidas endógenas y las pérdidas debidas al alimento no digerido aumentan considerablemente.

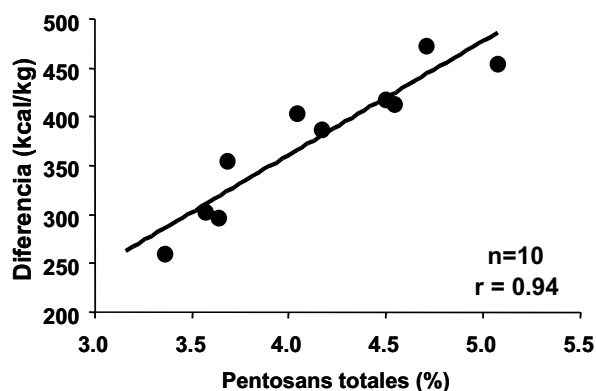
Los ensayos rápidos con respecto a los balances tradicionales ofrecen numerosas ventajas pero llevan asociados graves problemas difíciles de solventar. Como ventajas cabe señalar la rapidez, el menor costo laboral y de equipamiento. Con la alimentación forzada es posible controlar con precisión la cantidad ingerida, evitando problemas de desperdicio de alimento y contaminación de excretas. Además, existe la posibilidad de determinar el valor energético de un ingrediente directamente sin problemas de palatabilidad y sólo se necesita una muestra pequeña. Como principales problemas cabe señalar el bajo consumo, los prolongados ayunos, las condiciones anormales de alimentación y fisiología de la digestión y el cálculo de las pérdidas de energía endógenas.

Las pérdidas endógenas se pueden medir en animales en ayunas (Sibbald, 1986), con animales alimentados con un ingrediente completamente absorbible como la glucosa (McNab y Blair, 1988) o por extrapolación a una ingesta cero mediante una regresión entre la energía excretada y la energía consumida (Kussaibati *et al.*, 1983). El problema es que las pérdidas endógenas de energía son distintas en el animal en ayunas o alimentado (Kussaibati *et al.*, 1982), dependen del tipo de dieta utilizada antes del ayuno (Kussaibati *et al.*, 1983) y del contenido en fibra (Farrell, 1981), entre otros factores.

A finales de los años ochenta y entre varios laboratorios europeos, se pretendió establecer un método de referencia europeo para la determinación de la EMA de los alimentos para aves, tanto en jóvenes como en adultos. En una primera prueba intervinieron 7 laboratorios y se midieron 4 raciones experimentales en harina y en gallos adultos, comparando el protocolo establecido con los métodos utilizados regularmente en dichos laboratorios. En una segunda prueba participaron 9 laboratorios y se evaluaron siete raciones experimentales granuladas, tanto en animales adultos como en pollos broiler de tres semanas de vida. Los resultados se publicaron en el año 1990 en dos artículos del British Poultry Science (Bourdillon *et al.*, 1990a; Bourdillon *et al.*, 1990b). Sorprendentemente, la EMAn valor bio-

lógico en el cual están implicados muchas fuentes de variabilidad y error (factor animal, consumo, excretado, recogida, secado, errores de análisis, etc.) fue más reproducible entre laboratorios que la medida del nitrógeno por el método Kjeldahl (Cuadro 1). Los coeficientes de variación entre laboratorios fueron del 1.88% para aves adultas y del 2.60% para pollos de 21 días de vida. Así mismo la medida de la EB presentó un CV bajo (1.29% y 0.45%). Otra importante contribución de estos trabajos a la simplificación del método fue la comprobación de que es posible corregir con precisión, la EMA para una retención de nitrógeno nula a partir de la ganancia de peso entre el inicio y el final del balance y considerando que por cada gramo de incremento de peso, un 20% corresponde a proteína. De esta manera se reduce mucho el número de análisis a realizar en cada valoración energética.

Algunos trabajos muestran que no es posible detectar diferencias entre un mismo tipo de ingredientes, con composición distinta, cuando se determina su EMV pero si al determinar su EMA con los métodos tradicionales. Este hecho ha sido observado especialmente en cereales con alto contenido en NSP (polisacáridos no amiláceos), tales como el trigo (Mollah *et al.*, 1983) o cebada (Boldaji *et al.*, 1986). Con el fin de estudiar la conveniencia del uso del sistema EMV o EMA en dietas con alto contenido en NSP, Francesch *et al.* (1999) determinaron la EMA por el método europeo o la EMV por el método de McNab y Blair (1988) de doce dietas con inclusión de un 50% de distintos cereales (maíz, trigo, cebada y centeno). La relación entre la EMVn y la EMAn no fue constante, variando de 1.080 a 1.160 dependiendo del tipo de dieta, y correspondiendo a un rango de diferencias de 246 a 473 kcal/kg. Se observó por análisis de regresión lineal (eliminando dos dietas) que estas diferencias estaban positivamente correlacionadas con el contenido total de pentosanos de la dieta ($r=0.94$) (Figura 4). Coeficientes de correlación significativos pero más bajos se obtuvieron con el ln de la viscosidad del extracto de la dieta ($r=0.88$), polisacáridos no amiláceos ($r=0.79$), los β -glucanos totales ($r=0.70$), fibra ácido detergente ($r=0.76$), fibra neutro detergente ($r=0.57$) y finalmente hemicelulosas ($r=0.50$). La conclusión fue que la EMV tendía a sobrevalorar el contenido energético de las dietas con alto contenido en NSP.



Francesch *et al.*, 1999

Figura 4. Relación entre la diferencia EMVn EMAn y el contenido total de pentosanos de la dieta.

Si lo que se pretende es valorar un ingrediente individual, otros inconvenientes se añaden a los ya señalados anteriormente. En un primer lugar, aparecen problemas derivados de la no aditividad de los valores energéticos y de la influencia de los distintos componentes de la dieta sobre la digestibilidad de los nutrientes del ingrediente que queremos valorar (Miller, 1974). Por otro lado y dependiendo del tipo de ingrediente, no es posible su inclusión a altos niveles en la dieta, por provocar problemas de inapetencia (Kohler y Kuzmicky, 1970) o desequilibrios nutricionales (Sibbald y Slinger, 1962). A bajos niveles de inclusión, la estimación de la EM del ingrediente conlleva asociado un alto error de estimación.

Sistemas de Valoración Energética Indirecta o *in-vitro*

Con muchos puntos por aclarar y no habiendo concordancia sobre cual es el mejor sistema de valoración energética de los ingredientes y raciones completas directamente sobre los animales, el estudio de métodos indirectos no ha progresado mucho. La validación de los métodos *in-vitro* se tiene que basar en el grado de relación entre los resultados obtenidos *in-vitro* e *in-vivo* sobre ingredientes o raciones idénticas. En aves, los métodos indirectos o *in-vitro* se han orientado hacia la simulación de los procesos de digestión, al establecimiento de ecuaciones de predicción y a la aplicación de la técnica NIR (Espectroscopia en el infrarrojo cercano).

Sistemas de Digestión *in-vitro* para la Medida de la EM

Los primeros trabajos se orientaron a la obtención *in-vitro* de métodos capaces de determinar con precisión la digestibilidad de la proteína en aves (Johnston y Coon, 1978) y de la materia seca (Sakamoto *et al.*, 1980; Clunies y Leeson, 1984). Obtuvieron coeficientes de correlación altos en-

tre las medidas *in-vitro* e *in-vivo*, de 0.99 y 0.93 para la digestibilidad de la materia seca y la proteína, respectivamente. Valdes y Leeson (1992b) establecieron un método *in-vitro* para la medida de la EM en aves, partiendo de los métodos utilizados en rumiantes y simulando la digestión *in-vivo* en dos fases: una primera digestión con pepsina y una segunda digestión con pancreatina, ácidos biliares y enterokinasa. Centrifugaron el producto de la digestión y midieron la energía bruta del residuo y del alimento original en 70 alimentos completos de pollos de muy distinta composición. La repetitibilidad del método *in-vitro* era muy parecida a la del método *in-vivo* (67 kcal/kg). El error estándar residual (RSD) global fue de 152 kcal/kg, pero tan sólo con un 42% de las dietas la RSD era aceptable y menor de 100 kcal/kg; para el resto las varianzas eran demasiado grandes. En general, el sistema *in-vitro* sobrestimaba la EMAn

Ecuaciones de Predicción de la EM de Alimentos e Ingredientes

Considerables esfuerzos se han dirigido al establecimiento de ecuaciones de predicción de la EM, tanto de alimentos completos como de ingredientes particulares. En la Cuadro 2 se presentan algunas de ellas para alimentos completos. Las primeras ecuaciones de predicción están basadas en los componentes digestibles de los alimentos (proteína bruta, materia grasa, almidón y azúcares), actuando todos ellos como factores positivos y teniendo un coeficiente de multiplicación constante, independiente de las condiciones de alimentación y digestibilidad de los nutrientes. Más tarde, se introdujeron factores considerados antinutricionales o diluyentes de la energía: celulosa bruta y cenizas (Sibbald *et al.*, 1980) y pared celular y cenizas (Carré y Brioulet, 1990). Los errores estándar de las predicciones son menores en este segundo tipo de ecuaciones. Otro tipo de ecuaciones está basado en los coeficientes de digestibilidad de la proteína, grasa y extracto libre de nitrógeno, como las ecuaciones holandesas (CVB, 1998), aplicando diferentes coeficientes de digestibilidad de la grasa en función de la edad del animal. La precisión de estas ecuaciones depende del número de valores que se han tomado para su elaboración, del rango y de la variabilidad de los valores, de la precisión del análisis del parámetro que interviene en la ecuación. Finalmente, la validez de las mismas es limitada y está ligada a las condiciones experimentales de su establecimiento.

También se han propuesto numerosas ecuaciones de predicción para ingredientes o grupo de ingredientes, pero la eficiencia de predicción de estas ecuaciones es menor que las destinadas a alimentos completos. Las dificultades son debidas, entre otros causas, a las variaciones del valor energético del ingrediente en función de su nivel de inclusión, a las variaciones inducidas por la variabilidad en la digestión de sus nutrientes, al poco margen de variación en los parámetros analíticos que intervienen en la ecuación (Carré y Roza, 1990). A pesar de todos estos problemas se debe des-

Cuadro 2. Ecuaciones de predicción de la EMA (kcal/kg) aplicables a mezclas de materias primas.

Ecuación	R ² (1)	RSD ⁽²⁾	Autor
EMA (kcal/kg) = 59 + (38.0 PB + 85.5 EE + 41.8 A + 38.0 Az)		190	1
EMAn (kcal/kg MS) = (35.2 PB + 78.5 EE + 41.0 A + 35.5 Az) / MS	0.87	154	2
EMA=36.2 PB + 76.9 EE + 40.6 A + 26.1 Az		104	3
EMAn (kcal/kg MS)= 3951 + 54.4 EE -88.7 CB - 40.8 Ce		139	4
EMA = 39.9 PB + 81.9 EE + 42.7 A + 44.2 Az		69	5
EMA = 40.4 PB + 85.7 EE + 38.5 A + 30.6 Az		53	6
EMAn (kcal/kg MS) = 37.1 PB + 82.0 EE + 40.0 A + 31.1 Az	0.98	74	7
EMAn (kcal/kg MS) = 0.9362 EB - 15.38 PB -25.16 PAR ^{1,2}		53	8
EMAn = 3985 + 47.02 EE - 53.07 Ce - 44.62 PAR		61	8
EMAn = 18.03 PB _{digestible} + 44.65 EE _{digestible} + 17.32 ELN _{digestible}			9(a)
EMAn = 18.03 PB _{digestible} + 38.83 EE _{digestible} + 17.32 ELN _{digestible}			9(b)
EMAn = 15.56 PB _{digestible} + 38.83 EE _{digestible} + 17.32 ELN _{digestible}			9(c)

EE= extracto etéreo. PB= proteína bruta (Nx6.25). A= almidón. AZ= azúcares. Ce= Cenizas. PAR= Pared Celular. ELN=extracto libre de nitrógeno. EB=Energía bruta.

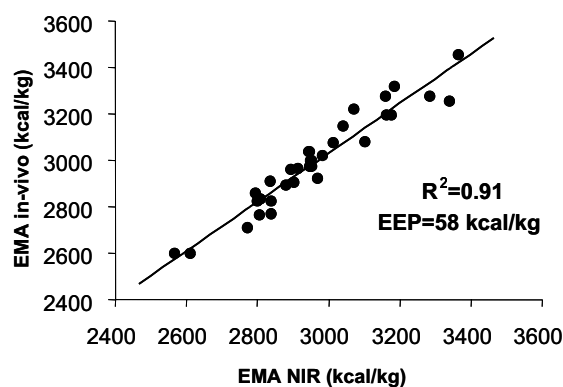
1. Carpenter y Clegg, 1956. 2. Sibbald *et al.*, 1963. 3. Härtel, 1977. 4. Sibbald *et al.*, 1980. 5. Fisher, 1982. 6. Leclercq, 1985. 7. Fisher y McNab, 1987. 8. Carré y Brioullet, 1989. 9. CVB, 1998, (a) ponedoras; (b) pollos adultos; (c) broilers.

taar el esfuerzo realizado por la rama europea de la Asociación Mundial de Avicultura al publicar, una primera edición en 1986, una tabla de valores de energía para ingredientes (WPSA, 1989). Los aciertos de estas tablas son varios. Primero, los ingredientes están identificados por su código internacional (INFIC) y por los nombres locales. Segundo, los valores de EMAN se obtuvieron a partir de balances *in-vivo* en distintos laboratorios. Tercero, cada valor energético va acompañado por su composición proximal. Finalmente, para cada ingrediente se proporciona una ecuación de predicción para determinar su valor energético para una composición distinta, a partir del contenido en proteína, grasa y extracto libre de nitrógeno. Uno de los inconvenientes es que los valores de EMAN se derivan de medidas en animales adultos. Su aplicación a la formulación de raciones para pollos de engorde, sobre todo en las primeras edades, pueden tender a sobrevalorar el contenido energético de la ración.

Espectroscopía en el Infrarrojo Cercano (NIR)

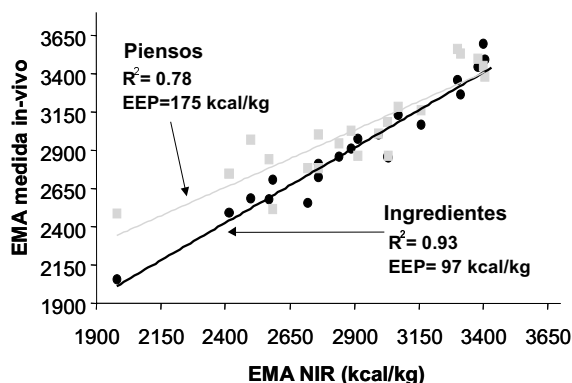
Durante los últimos 15 años la técnica NIR se ha consolidado como un método rápido y preciso de análisis cuantitativo de la mayor parte de constituyentes en productos orgánicos. Es una técnica rápida, de bajo costo, segura y precisa. El principio de la técnica se basa en que los compuestos con parecidos grupos químicos absorben radiación en el infrarrojo cercano en una longitud de onda característica. El problema de la técnica radica en la necesidad de disponer de calibraciones (relación matemática entre los valores de referencia de una propiedad determinada y las medidas de re-

flectancia realizadas por la técnica NIR). El establecimiento de calibraciones es largo y no son universalmente aplicables. Su aplicación a la determinación directa de la EMA de dietas completas ha dado mejores resultados que su aplicación a la de ingredientes. Valdes y Leeson (1992a) establecieron calibraciones de NIR para dos tipos de espectrofotómetros (escáner y de filtro) a partir de 80 muestras de alimentos completos de composición muy distinta. Utilizando el log 1/R del espectro obtuvieron errores estándar de las estimaciones (EEE) de 58 kcal/kg para el NIR tipo escáner y de 60 kcal/kg para el de filtro (Figura 5). Mucho menos precisión mostró la técnica al ser aplicada a ingredientes (Val-



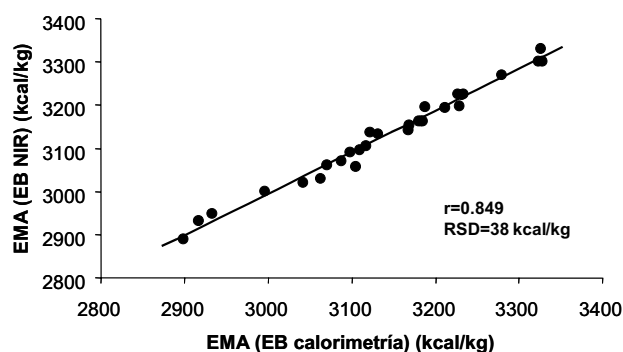
Valdes y Lesson, 1992a

Figura 5. Relación entre la EMA de piensos predicha por NIR o medida *in-vivo*.



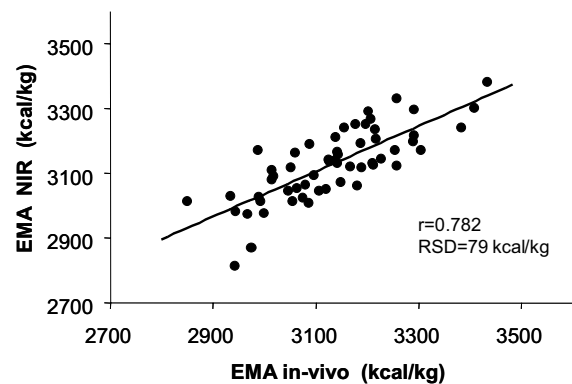
Valdes y Lesson, 1992c

Figura 6. Predicción de la EMA por NIR usando calibraciones obtenidas para ingredientes o una calibración desarrollada para dietas completas.



Pérez-Vendrell *et al.*, 1992

Figura 7. Relación entre la EMA calculada a partir de la EB de las excretas por calorimetría o por NIR.



Pérez-Vendrell *et al.*, 1992

Figura 8. Relación entre la EMA de cebadas españolas predicha por NIR o medida *in-vivo*.

des y Leeson, 1992c). Los errores estándar de las estimaciones fueron de 97 kcal/kg, pero la calibración no fue capaz de predecir la EMA de cuatro ingredientes, entre ellos el trigo y la soja. Al intentar aplicar la calibración desarrollada para los alimentos completos, el EEP se incrementó a 175 kcal/kg (Figura 6). En los dos casos las medidas *in-vivo* se realizaron con gallos de 6 meses a un año de vida, con lo que su aplicación en la formulación de raciones para engorde de broilers es dudosa.

Pérez-Vendrell *et al.* (1992) establecieron calibraciones de NIR para la determinación de la EMA de cebadas españolas a partir de la medida de la EB de las excretas por NIR o bien directamente. Para el caso de la EB de las excretas la mejor ecuación de calibración fue desarrollada con cuatro longitudes de onda en la segunda derivada del espectro. Al aplicar esta ecuación al conjunto de muestras de validación se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.849 y un error estándar residual de 38 kcal/kg (Figura 7). Al medir directamente la EMA de las cebadas, la predicción fue mucho menos precisa, con un coeficiente de correlación entre los valores predichos y medidos del 0.782 y con un error estándar residual de 79 kcal/kg (Figura 8).

Literatura citada

Boldaji, F., Goeger, M.P., Nakaue, H.S., Arscott, G.H. and Savage, T.F. 1986. Apparent, true and nitrogen-corrected metabolizable energy values of different varieties of triticale, wheat and barley in poultry. *Nutrition Reports International*, 33, 499-503.

Bourdillon, A., Carré, B., Conan, L., Duperray, J., Huyghebaert, G., Leclercq, B., Lessire, M., MacNab, J. and Wiseman, J. 1990a. European reference method for the *in vivo* determination of metabolizable energy with adult cockerels: reproducibility, effect of food intake and comparison with individual laboratory methods. *British Poultry Science*, 31, 557-565.

Bourdillon, A., Carré, B., Conan, L., Francesch, M., Fuentes, M., Huyghebaert, G., Janssen, W.M.M.A., Leclercq, B., Lessire, M., McNab, J., Rigoni, M. and Wiseman, J. 1990b. European reference method of *in vivo* determination of metabolizable energy in poultry: reproducibility, effect of age, comparison with predicted values. *British Poultry Science*, 31, 567-576.

Carré, B. and Brillouet, J.M. 1990. Determination of water-insoluble cell walls in feed: interlaboratory study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemist*, 72, 463-572.

Carré, B. and Rozo, E. 1990. La prédiction de la valeur énergétique des matières premières destinées a l'aviculture. *INRA Productions Animales*, 3, 163-169.

Clunies, M. and Leeson, S. 1984. *In vitro* estimation of dry matter and crude protein digestibility. *Poultry Science*, 63, 89-96.

CVB, Dutch Bureau of Livestock Feeding. 1998: Lelystad, The Netherlands.

Farrell, D.J. 1978. Rapid determination of metabolizable energy of foods using cockerels. *British Poultry Science*, 19, 303-308.

Farrell, D.J. 1981. An assessment of quick bioassays for determining the true metabolizable energy and apparent metabolizable energy of poultry feedstuffs. *World's Poultry Science Journal*, 37, 72-83.

Francesch, M., Bernard, K. and McNab, J. 1999. Differences between true and apparent metabolizable energy of high-fiber diets. *Poultry Science*, 77 (Supp. 1), 12.

Hill, F.W., Anderson, D.L., Renner, R. and Carew, L.B. 1960. Studies of the metabolizable energy of grain and grain products for chickens. *Poultry Science*, 39, 573-579.

- Johnston, J. and Coon, C.N. 1978. A comparison of six protein quality assays using commercially available protein meals. *Poultry Science*, 58, 919-927.
- Kohler, G.O. and Kuzmicky, D.D. 1970. Problems concerned with determinations and interpretation of metabolizable energy values. *Feedstuffs*, 42, 18-19.
- Kussaibati, R., Guillaume, J. and Leclercq, B. 1982. The effects of age, dietary fat and bile salts, and feeding rate on apparent metabolizable energy values in chickens. *British Poultry Science*, 23, 393-403.
- Kussaibati, R., Prevotel, B. and Leclercq, B. 1983. Factors affecting endogenous energy losses in chickens- assessment of the methods of estimation. *Nutrition Reports International*, 27, 221-230.
- Lessire, M. 1990. Effect of feeding technique, ad libitum, dry or wet force feeding, on the metabolizable energy values of raw materials for poultry. *British Poultry Science*, 31, 785-793.
- McNab, J.M. and Blair, J.C. 1988. Modified assay for true and apparent metabolizable energy based on tube feeding. *British Poultry Science*, 29, 697-707.
- Miller, W.S. 1974. The determination of metabolizable energy. In *Energy Requirements of Poultry*, Morris, T.R. & Freeman, B.M. (eds) pp. 91-112. *British Poultry Science: Edinburgh*.
- Mollah, Y., Bryden, W.L., Wallis, I.R., Balnave, D. and E.F., A. 1983. Studies on low metabolizable energy for poultry using conventional and rapid assay procedures and the effects of processing. *British Poultry Science*, 24, 81-89.
- Pérez-Vendrell, A., Francesch, M., Caparó, E., Esteve-García, E. and Brufau, J. 1992. Estimation of Apparent Metabolizable energy of barley using Near-Infrared Reflectance Techniques. In *XIX World's Poultry Congress*, Vol. 3. pp. 540: Amsterdam, The Netherlands.
- Sakamoto, K., Asano, T., Furuya, S. and Takahashi, S. 1980. Estimation of in vivo digestibility with the laying hen by an in vitro method using the intestinal fluid of the pig. *British Journal of Nutrition*, 43, 389-391.
- Sibbald, I.R. 1976. A bioassay for true metabolizable energy in feedstuffs. *Poultry Science*, 55, 303-308.
- Sibbald, I.R. 1982. Measurement of bioavailable energy in poultry feedstuffs: a review. *Canadian Journal of Animal Science*, 62, 983-1048.
- Sibbald, I.R. 1986. The T.M.E. system of feed evaluation: methodology, feed composition data and bibliography. *Agriculture Canada Research Branch: Ottawa*.
- Sibbald, I.R., Price, K. & Barrete, J.P. 1980. True Metabolizable energy values for poultry of commercial diets measured by bioassay and predicted from chemical data. *Poultry Science*, 59, 808-811.
- Sibbald, I.R. and Slinger, S.J. 1962. Factors affecting the metabolizable energy in poultry feeds. 9. Sodium chloride. *Poultry Science*, 41, 573-578.
- Sibbald, I.R. and Slinger, S.J. 1963. A biological assay for metabolizable energy in poultry feed ingredients together with findings which demonstrate some of the problems associated with the evaluation of fats. *Poultry Science*, 42, 313-325.
- Valdes, E.V. and Leeson, S. 1992a. Near Infrared Reflectance analysis as a method to measure metabolizable energy in complete poultry feeds. *Poultry Science*, 71, 1179-1187.
- Valdes, E.V. and Leeson, S. 1992b. Measurement of metabolizable energy in poultry feeds by an in vitro system. *Poultry Science*, 71, 1493-1503.
- Valdes, E.V. and Leeson, S. 1992c. Research Note: The use of Near Infrared Reflectance Spectroscopy to measure metabolizable energy in poultry feed ingredients. *Poultry Science*, 71, 1559-1563.
- WPSA. 1989. European table of energy values for poultry feedstuffs. Subcommittee Energy of the Working Group nr. 2 Nutrition of the European Federation of Branches of the World's Poultry Science Association: Wageningen, Netherlands.