

## Desarrollos recientes y nuevas perspectivas en la valoración de alimentos para ganado porcino (I)



J. Noblet

INRA. France - XXVI Curso de Especialización FEDNA



### » Introducción

Los cerdos han sido seleccionados intensivamente durante los últimos 40-50 años y su potencial para producir carne magra o leche ha llegado a ser muy elevado, acompañado por una marcada reducción del nivel de engrasamiento corporal tanto en animales reproductores como en animales en crecimiento. Estos cambios genéticos afectan a las necesidades energéticas y proteicas de los cerdos. En paralelo, la alimentación continúa siendo una parte importante (>50%) de los costes en la mayoría de los sistemas de producción, por lo que la definición precisa del valor nutritivo de los alimentos se ha convertido en un aspecto cada vez más importante. La mayor parte de la atención se ha dedicado a aminoácidos y energía y, más recientemente, a algunos minerales (P, Cu, Zn); nuevos ingredientes, tales como los granos de destilería, han sido también estudiados en detalle. Se han propuesto nuevos criterios para mejorar la precisión de la evaluación, tales como aminoácidos digestibles o disponibles, o la energía neta; igualmente nuevos métodos y programas informáticos han sido diseñados. Finalmente, el interés de estudiar el papel de los alimentos en la mejora de la salud o el bienestar de los cerdos o en la reducción de su impacto ambiental, se ha incrementado progresivamente. Esta revisión tiene por objeto actualizar estos aspectos y analizar brevemente nuevas perspectivas.

### » Valor energético de los alimentos para ganado porcino

La valoración de la concentración energética de los alimentos para ganado porcino está basada inicialmente y de forma general en su valor de energía digestible (ED) o metabolizable (EM). Sin embargo, la estimación más próxima del valor energético verdadero de un alimento es su contenido en energía neta (EN), ya que tiene en cuenta diferencias en el grado de utilización metabólica entre nutrientes. Además, la EN es el único sistema en el que las necesidades energéticas y los valores energéticos del pienso se expresan sobre la misma base, que debería teóricamente ser independiente de las características de los ingredientes utilizados. Los aspectos metodológicos de la valoración energética de los alimentos para ganado porcino, así como algunos temas complementarios, han sido considerados en revisiones previas (Noblet y van Milgen, 2004; Noblet, 2006).

### Utilización energética

Para la mayoría de los piensos de ganado porcino, el coeficiente de digestibilidad de la energía (dE) varía entre un 70 y un 90%, pero la variación es más amplia en el caso de ingredientes individuales (10-100%). La mayor parte de la variación de la dE está relacionada con la presencia de fibra dietética (FD), que resulta menos

digestible que los otros nutrientes (<50% vs 80-100% para almidón, azúcares, grasa y proteína) y además reduce la digestibilidad fecal aparente de otros nutrientes, tales como la grasa y la proteína. Como consecuencia, la dE está relacionada lineal e inversamente con el contenido en FD del alimento (Le Goff y Noblet, 2001; cuadro 1). Los coeficientes que relacionan dE con FD son tales que la FD esencialmente diluye la dieta, al menos en cerdos en crecimiento. En otros términos, incluso aunque la FD es digerida parcialmente por el cerdo joven en crecimiento, proporciona poca ED al animal (Noblet y van Milgen, 2004).

La dE también se ve afectada por factores propios del animal. En cerdos en crecimiento, la dE aumenta cuando aumenta el peso vivo del animal (Noblet, 2006) y el efecto mayor del peso vivo se observa cuando se comparan cerdas adultas, tanto gestantes como lactantes, con cerdos en crecimiento alimentados ad libitum (Le Goff y Noblet, 2001; Le Goff et al., 2002). La diferencia debida al aumento de peso vivo es más importante para piensos o ingredientes con alto contenido en fibra (ver cuadro 1). En el caso de cerdas adultas y cerdos en crecimiento de 60 kg de peso, el valor ED es un 1,8; 4,2; 6,0; 10,3 y 16,6% más alto en cerdas en el caso del trigo, maíz, harina de soja, salvado de trigo y gluten feed de maíz, respectivamente (Sauvant et al., 2004; Noblet, 2006). Este incremento de la dE con el peso del animal está relacionado principalmente con una mayor eficacia digestiva de la FD (a través de un tránsito digestivo más lento; Le Goff et al., 2002). La diferencia en ED entre cerdas adultas y cerdos en crecimiento es proporcional a la cantidad de materia orgánica indigestible medida en cerdos en crecimiento (Noblet, 2006). El efecto del nivel de alimentación sobre la dE es despreciable, incluso en cerdas adultas cuando se comparan cerdas lactantes y gestantes para niveles de aportes energéticos muy diferentes. Existe poca información disponible con respecto a la digestibilidad comparada entre lechones y cerdos en crecimiento. Sin embargo, teniendo en cuenta que los lechones generalmente son alimentados con piensos de bajo contenido en fibra para los que la influencia del peso es escasa, los lechones pueden, desde un punto de vista práctico, ser considerados como cerdos en crecimiento a efectos de utilización digestiva de la energía.

El contenido en EM de un alimento es la diferencia entre la ED y las pérdidas de energía en forma de orina y gases (metano). En cerdos en crecimiento, la media de las pérdidas energéticas en forma de meta-

no representa un 0,4% de la ingestión de ED, siendo aproximadamente el doble en cerdas adultas. Las pérdidas energéticas en la orina representan una proporción variable de la ED, ya que la energía de la orina depende en gran medida de la excreción de nitrógeno urinario. A un nivel dado de producción, la excreción de nitrógeno urinario está relacionada principalmente con el contenido en proteína (digestible) de la dieta. Como promedio, representa un 4% del valor ED. Sin embargo, este valor medio no puede aplicarse a los ingredientes simples. La solución más apropiada es estimar la energía de la orina (kJ/kg MS ingerida) a partir del nitrógeno urinario (g/kg MS) de acuerdo con la siguiente ecuación (para cerdos en crecimiento):

#### Energía en orina=192+31x Nitrógeno urinario

Con el nitrógeno urinario representando un 50% del nitrógeno digestible o un 40% del nitrógeno total (Noblet et al., 2004).

La EN se define como la EM menos el incremento de calor asociado con la utilización metabólica de la EM y el coste energético de la ingestión, digestión, y la actividad física. Generalmente se calcula como la suma de la producción de calor en ayunas y la energía retenida (Noblet et al., 1994). El contenido en EN como porcentaje de la EM (k) corresponde a la eficacia de utilización de la EM en EN. Las variaciones de k (cuadro 1) son debidas a diferencias en las eficacias de utilización de la EM entre nutrientes, correspondiendo los valores más altos a la grasa (~90%) y al almidón (~82%) y los más bajos (~60%) a la FD y la PB. Determinaciones realizadas en cerdos que diferían en su peso vivo y en la composición de su ganancia de peso sugieren que la eficacia de conversión de EM en EN se ve poco afectada por la composición del aumento de peso, al menos en la mayoría de las circunstancias prácticas (Noblet et al., 1994). De forma similar, el ranking entre nutrientes por sus eficacias es similar en

cerdas adultas a nivel de mantenimiento y cerdos en crecimiento (Noblet et al., 1993; Noblet et al., 1994). Estos resultados han sido confirmados en ensayos recientes (Noblet, 2006). Finalmente, el incremento de calor asociado con la utilización de la proteína, tanto la retenida como la catabolizada, es constante (van Milgen et al., 2001). Esto significa que el valor EN de la proteína de la dieta no depende de su uso final.

## Contribución de la tecnología a los cambios en valor energético

Generalmente se presta poca atención al impacto de los tratamientos tecnológicos sobre la dE y el valor energético de los alimentos para ganado porcino. Ninguna de las tablas de alimentación para ganado porcino proporciona valores energéticos que tengan en cuenta el procesado tecnológico y la forma de presentación del alimento. Sin embargo, la mayoría de los tratamientos tecnológicos implementados mientras se preparan los ingredientes (ver por ejemplo sección relativa a los DGS) o en la elaboración de los piensos compuestos (molienda, granulación, extrusión, etc.) afectan en un grado variable a la digestibilidad de la energía y de los nutrientes. Así, una disminución del tamaño de partícula está generalmente asociada a una mejora de la dE; a partir de una revisión bibliográfica, Guillou y Landeau (2000) sugirieron que la dE disminuía en 0,6 unidades cuando el tamaño de las partículas aumentaba en 100 mm. Sin embargo, en la práctica el tamaño óptimo de la partícula depende poco de criterios nutricionales y más de aspectos técnicos, tales como el coste de energía para la molienda, el manejo de los alimentos en harina, la acumulación de polvo en las instalaciones o la salud de los animales. Por otro lado, la granulación (es decir, el tratamiento mecánico y térmico) es ampliamente utilizada y se asocia con un incremento de la dE. En piensos compuestos, la mejora media es de 1 punto porcentual. No obstante, para algunos tipos de

**Cuadro 1.** Efecto de la composición del pienso (g/kg MS) sobre la digestibilidad de la energía (dE, %), el coeficiente EM/ED (%) y la eficacia de utilización de la EM en EN de piensos compuestos para animales en crecimiento (kg, %)<sup>a</sup>

|   | Ecuación  | DRS | Fuente <sup>b</sup> |
|---|---|-----|---------------------|
| 1 | dE = 98,3 - 0,090 x FND   | 2,0 | 1                   |
| 2 | dE = 96,7 - 0,064 x FND   | 2,2 | 1                   |
| 3 | EM/ED = 100,3 - 0,021 x PB                                      | 0,5 | 1                   |
| 4 | Kg = 74,7 + 0,036 x EE + 0,009 x ALM - 0,023 x PB - 0,026 x FAD | 1,2 | 2                   |

<sup>a</sup>PB: proteína bruta, FND: fibra neutro detergente, EE: extracto etéreo, ALM: almidón, FAD: fibra ácido detergente, DRS: desviación residual estándar.

<sup>b</sup>1: Le Goff y Noblet (2001) (n = 77 dietas; ecuaciones 1 y 3 en cerdos en crecimiento de 60 kg y ecuación 2 en cerdas adultas); 2: Noblet et al. (1994) (n = 61 dietas; cerdos de 45 kg).

Cuadro 2. Efecto de la granulación sobre la digestibilidad de la energía de piensos para cerdos.

| Tecnología                          | Harina |    | Gránulo | Referencia <sup>a</sup> |
|-------------------------------------|--------|----|---------|-------------------------|
| Dietas trigo-soja (n=2)             | 88,6   | *  | 89,2    | 3                       |
| Dietas trigo-maíz-cebada-soja (n=4) | 75,8   | ** | 77,3    | 1                       |
| Dietas maíz-soja (n=3)              | 88,4   | ** | 90,3    | 2                       |
| Maíz (n=5)                          | 87     | ** | 90      | 3                       |
| Semilla de colza                    | 35     | ** | 83      | 4                       |
| Semilla de lino (extrusión)         | 51     | ** | 84      | 5                       |

<sup>a</sup>1: Le Gall et al., 2009; 2: Noblet y Champion, 2003; 3: Noblet y Jaguelin-Peyraud, 2008; 4: Skiba et al., 2002; 5: Noblet et al., 2008.

alimentos la mejora puede ser mucho más importante. Así por ejemplo, la mejora es más alta para los piensos basados en maíz que para los basados en trigo (cuadro 2), lo que se relaciona principalmente con la mayor digestibilidad de la fracción grasa (79 vs 57%, datos no publicados). Este aumento de digestibilidad de la grasa es particularmente notable en la semilla de colza, cuya grasa es casi indigestible con simple molienda y altamente digestible después de la granulación (89 vs 21%, Skiba et al., 2002). La misma conclusión se obtiene para la semilla de lino procesada por extrusión (Noblet et al., 2008; cuadro 2). Desgraciadamente, tal información no está disponible para la mayor parte de los ingredientes utilizados en alimentación de cerdos. Además, la mejora depende probablemente de las características (temperatura, presión, etc.) de la tecnología utilizada, que nos están en absoluto documentadas.

Otras tecnologías han pasado a ser ampliamente utilizadas, como es el caso por ejemplo de la adición de componentes (enzimas, ácidos, etc.) en el pienso como alternativas a la medicación o para mejorar la salud y los rendimientos de los cerdos. Simultáneamente, a veces se observa una mejora de la digestibilidad de algunos nutrientes. Si bien estos efectos sobre la digestibilidad están claramente establecidos en especies de aves, la magnitud de la mejora es más variable y menos importante para piensos de porcino, donde está más relacionada con el reparto de la digestión entre el intestino delgado y el intestino grueso que con la digestibilidad fecal.

## Sistemas energéticos

Tal como se ha ilustrado en las secciones anteriores, la digestibilidad de la energía está influida por el peso vivo de los animales y por la tecnología de fabricación de los piensos. Con respecto al efecto del peso vivo, sería entonces apropiado utilizar valores de ED y EM adaptados a cada categoría de pesos. Sin embargo, desde el punto de vista práctico se ha sugerido utilizar solo dos valores, uno para cerdos "60 kg"

que puede aplicarse a lechones y a cerdos en crecimiento y cebo, y otro para cerdos adultos aplicable tanto a cerdas gestantes como lactantes.

Todos los sistemas publicados de EN para porcino combinan la utilización de la EN para mantenimiento y para crecimiento o cebo. El sistema propuesto por Noblet et al. (1994), y aplicado en las tablas del INRA y de la AFZ (Noblet et al., 2003; Sauvart et al., 2004), está basado en una amplia serie de determinaciones (61 piensos). Las ecuaciones de predicción de la EN son aplicables a ingredientes y piensos compuestos en cualquier periodo de la producción porcina (Noblet, 2006), pero con valores de ED o contenidos en nutrientes digestibles diferentes para cerdos en crecimiento y cebo, y cerdas adultas. De forma similar, si la tecnología afecta a la digestibilidad de la energía y de los nutrientes, esto debería tenerse en cuenta en el cálculo de la EN. Se necesita, por lo tanto, información fiable sobre la digestibilidad de la energía o de los nutrientes para la predicción del contenido en EN de los piensos de ganado porcino. De hecho, esta información representa el factor más limitante para predecir los valores energéticos de los piensos.

A partir de estas observaciones sobre la utilización de la energía en cerdos, es obvio que la jerarquía entre alimentos obtenidos en los sistemas ED y EM será diferente que en el sistema EN, en función de su composición química. Puesto que la EN representa el mejor compromiso entre el valor energético del alimento y las necesidades energéticas de los animales, el valor energético de la proteína o de los alimentos fibrosos estará sobreestimado cuando se exprese sobre la base de ED o EM. Por otra parte, las fuentes de grasa o de almidón están subestimadas en el sistema ED (Noblet et al., 2001; Sauvart et al., 2004; Noblet, 2006; cuadro 3).

Con respecto a la estimación de la EN para cerdos se han propuesto varios sistemas en los últimos 40-50 años. La propuesta del INRA (Noblet et al., 1994; 2004) es probablemente la más avanzada y ha sido

validada tanto en ensayos calorimétricos como en ensayos de crecimiento. Este último se ilustra en el cuadro 4 a partir de pruebas de crecimientos realizadas con niveles variables de grasa o proteína en el pienso. Los resultados muestran que el coste energético es independiente de la composición de la dieta cuando se expresa sobre la base de EN. Por otro lado, utilizando como unidad la ED o la EM el coste energético aumenta cuando el contenido en proteína aumenta o el de grasa disminuye.

## Valor nutritivo de la proteína y digestibilidad ileal de aminoácidos para ganado porcino

Actualmente está ampliamente aceptado que el contenido total en aminoácidos (AA) de los alimentos es un mal predictor del valor proteico para porcino; la disponibilidad nutricional de los AA es claramente preferida, siendo estimada rutinariamente a partir de la digestibilidad al final del intestino delgado. Efectivamente los AA son absorbidos en el intestino delgado mientras que en el intestino grueso los microorganismos pueden metabolizar algunos de los AA no digeridos, lo que previene su aparición en las heces; la digestibilidad fecal de los AA es, por tanto, un criterio impreciso para estimar su disponibilidad en el punto de absorción. Consecuentemente, se usa digestibilidad ileal aunque existe alguna controversia en cuanto a su expresión e incluso definición.

La digestibilidad ileal aparente ignora el origen –endógeno o exógeno– del nitrógeno (N) o AA no digeridos que aparecen al final del intestino delgado. Además la digestibilidad aparente aumenta de forma curvilínea con el nivel de inclusión de los AA en el pienso, con valores pequeños e incluso negativos a niveles de inclusión muy bajos y con un

Cuadro 3. Valores relativos ED, EM, y EN de ingredientes para cerdos en crecimiento<sup>a</sup>.

|                     | ED  | EM  | EN  | EN/EM, % |
|---------------------|-----|-----|-----|----------|
| Grasa animal        | 243 | 252 | 300 | 90       |
| Maíz                | 103 | 105 | 112 | 80       |
| Trigo               | 101 | 102 | 106 | 78       |
| Dieta de referencia | 100 | 100 | 100 | 75       |
| Guisantes           | 101 | 100 | 98  | 73       |
| Salvado de trigo    | 68  | 67  | 63  | 71       |
| Harina de soja      | 107 | 102 | 82  | 60       |

<sup>a</sup>Según Sauvart et al., (2004<sup>b</sup>). Dentro de cada sistema, los valores se expresan como porcentajes del valor energético de una dieta conteniendo un 68% de trigo, un 16% de harina de soja, 2,5% de grasa, 5% salvado de trigo, 5% guisante y 4% minerales y vitaminas.



**Cuadro 4.** Rendimientos de cerdos en crecimiento-cebo de acuerdo con el sistema energético y las características de la dieta<sup>a</sup>.

| Sistema energético                           | ED  | EM  | EN  |
|--|-----|-----|-----|
| <b>Ensayo 1: Grasa añadida (5)</b>           |     |     |     |
| 0  | 100 | 100 | 100 |
| 2  | 100 | 100 | 100 |
| 4  | 99  | 99  | 100 |
| 6  | 98  | 98  | 100 |
| <b>Ensayo 2: Contenido en PB (30-100 kg)</b> |     |     |     |
| Normal                                       | 100 | 100 | 100 |
| Bajo   | 96  | 97  | 100 |
| <b>Ensayo 3: Contenido en PB (90-120 kg)</b> |     |     |     |
| Normal                                       | 100 | 100 | 100 |
| Bajo   | 97  | 98  | 100 |

<sup>a</sup>Necesidades energéticas (o coste energético por kg de ganancia de peso) para similares ganancias de peso y composición de la ganancia (modelos de covarianza); los valores son relativos a las necesidades energéticas (o al coste energético de la ganancia de peso) en el tratamiento control (considerado como base 100); según Noblet (2006) y datos no publicados.

valor constante a niveles altos (Noblet et al., 2004). De hecho, se ha demostrado que las pérdidas de N o AA a nivel ileal incluyen: a) una pérdida basal que es independiente del contenido en proteína de la dieta y que está más relacionada con el consumo de materia seca, y b) la fracción digestible de N o de AA suministrada por el alimento. Es por tanto preferible sustraer esta pérdida basal del flujo total ileal de N y AA, al objeto de considerar solo la parte relacionada con la fracción proteica del alimento. La digestibilidad "verdadera" o "estandarizada" se calcula de esta forma resultando un valor independiente del nivel de inclusión de N o AA en el pienso. Además, las digestibilidades estandarizadas de los AA son aditivas. Los valores para digestibilidad estandarizada son superiores a los de digestibilidad aparente. Este concepto está ampliamente aceptado (Stein et al., 2008) y ha sido utilizado, por ejemplo, en las tablas INRA-AFZ (Sauvant et al., 2004).

Los valores proporcionados por las tablas INRA-AFZ proceden de experimentos realizados en Francia a principios de los años 80 independientemente por Adisseo, Arvalis e INRA. Todos estos datos fueron recopilados entre 1996 y 1999, y publicados en primer lugar en un CD-ROM (AFZ et al., 2000). En todos los estudios, se utilizó una metodología común consistente en la determinación de la digestibilidad ileal en cerdos en crecimiento anastomizados entre el íleon terminal y el recto. Un total de 430 determinaciones fueron realizadas en los tres centros experimentales; fueron clarificados en 51 ingredientes alimenticios diferentes y se calcularon los valores medios correspondientes. La metodología incluía la recogida total de la digesta ileal en cerdos alimentados con piensos generalmente basados en ingredientes alimenticios libres de proteína (almidón, azúcar, ácido vegetal, aceite y vitaminas) a los que se les añadía el ingrediente que proporcionaba la proteína que se deseaba evaluar. Se usó el método por diferencia para determinar la digestibilidad aparente de la fuente proteica. La composición en AA de las pérdidas endógenas se determinó en cada centro de investigación y permitió el cálculo de la denominada digestibilidad ileal estandarizada de los AA, cuyos valores son aditivos y suponen un buen predictor del valor proteico de los alimentos para ganado porcino. La revisión de este tema realizada por Stein et al. (2008) confirma el consenso sobre este concepto a nivel internacional, aunque sería preferible determinar la digestibilidad verdadera de los AA. En la práctica se recomienda, por tanto, el uso de los valores de digestibilidad ileal estandarizada para estimar el valor proteico de un alimento y para cubrir las necesidades de los animales, estimadas a partir de la suma de las necesidades para mantenimiento (o pérdidas basales) y para la retención de pro-

teína. Al igual que para el caso de la energía, el cuadro 5 indica que la jerarquía entre ingredientes por su valor proteico es totalmente diferente cuando se compara el uso de niveles de AA brutos o digestibles. La influencia del método de expresión es más obvia para AA sintéticos, cuando se comparan con AA procedentes de proteínas.

Al igual que para la energía, se conoce todavía poco sobre el efecto de la tecnología en la disponibilidad de la proteína, no existiendo información bibliográfica que permita establecer correcciones para los efectos del tamaño de partícula, granulación, procesamiento térmico, etc., sobre la digestibilidad verdadera y/o las pérdidas endógenas (Lahaye et al., 2008). Por tanto, el INRA-AFZ y otras tablas de valoración de alimentos proponen valores que son aplicables a alimentos presentados en forma de harina; estos valores pueden extrapolarse a otras presentaciones, tanto si los tratamientos tecnológicos tienen un efecto negativo (ver sección sobre DDGS) o, de forma más general, efectos positivos sobre la digestibilidad de AA. A diferencia del valor energético, no hay evidencias que permitan comparar el uso de diferentes unidades de valoración proteica en lechones, cerdos en crecimiento y cebo, y cerdas reproductoras.

En conclusión, el cambio desde contenido total en AA a digestibilidad ileal estandarizada de AA ha permitido una mejor estimación del valor proteico verdadero de los alimentos para ganado porcino; este cambio ofrece posibilidades de reducción del margen de seguridad en la formulación de piensos. Continúan existiendo dudas acerca de los efectos de los tratamientos tecnológicos y de los factores antinutritivos sobre la digestibilidad ileal y/o el flujo ileal de AA. Se recomienda la realización de mejoras en la metodología de evaluación al objeto de reducir la mano de obra y los costes inherentes a las determinaciones in vivo y los análisis de AA. La metodología NIR es prometedora pero debe estar calibrada a partir de una importante base de datos de valores in vivo.

**Cuadro 5.** Valores proteicos de algunos ingredientes para cerdos expresados bien como AA fecales o bien como AA digestibles estandarizados (según Sauvant et al., 2004; tablas INRA-AFZ)<sup>a</sup>.

| Alimento               | Lisina |            | Treonina |            |
|------------------------|--------|------------|----------|------------|
|                        | Total  | Digestible | Total    | Digestible |
| Maíz                   | 29     | 26         | 49       | 47         |
| Trigo                  | 36     | 33         | 52       | 50         |
| Salvado trigo          | 68     | 53         | 75       | 57         |
| Harina de soja         | 340    | 353        | 294      | 304        |
| Mezcla AA <sup>b</sup> | 4580   | 5180       | 4015     | 4680       |

<sup>a</sup>Expresado como porcentaje del valor de lisina o treonina de un pienso que contiene trigo (67%), harina de soja (16%), grasa (2,5%), salvado de trigo (5%), guisante (5%), lisina HCL (0,1%), metionina (0,05%), treonina (0,05%), minerales y vitaminas.

<sup>b</sup>Mezcla de un 50% de lisina HCL, 25% de treonina y 25% de metionina.

