

VALORACIÓN DE ALIMENTOS PARA RUMIANTES EN CEBO: EL SISTEMA AMERICANO NRC

R.D. Sainz, C. Fernández y R.L. Baldwin
Department of Animal Science
Universidad de California, Davis, USA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos de los sistemas de valoración

Varios sistemas han sido desarrollados en diversos países para la valoración de alimentos y estimación de las necesidades nutricionales del animal. Cada sistema tiene sus ventajas y desventajas, y debe ser evaluado de acuerdo a los objetivos del mismo y las condiciones en las cuales será aplicado. En general, los sistemas de alimentación tienen varios objetivos, incluyendo aquellos mencionados anteriormente. Es decir, un sistema de alimentación debe tener la capacidad de distinguir entre dietas e ingredientes, para poder asignar valores a los alimentos de acuerdo a su potencial productivo. Esto implica que el sistema también debe tener en cuenta las necesidades nutricionales del animal para mantener un nivel de producción dado.

Cualquier sistema que tenga estas características podrá entonces aplicarse apoyando las decisiones sobre el manejo del animal, tanto desde el punto de vista biológico como también económico. La producción de carne, por ejemplo, depende de la aplicación inteligente de conceptos biológicos de manera económicamente viable, o sea con un balance positivo entre los “inputs” y “outputs” de la explotación. Para que el sistema de alimentación sirva para este propósito, debe abarcar no solo las necesidades para alcanzar el máximo de producción, sino también las respuestas a diversos niveles de los nutrientes más importantes, ya que las respuestas biológicas siguen la ley de rendimientos decrecientes. Este objetivo requiere que el sistema de alimentación incorpore funciones no-lineales. Otro objetivo que debe considerarse es el de evaluar sistemas de manejo desde un punto de vista más amplio que solamente la formulación de dietas. Por ejemplo, el manejo del ternero hasta que llegue al cebadero puede ser muy diferente, con variaciones en la edad al destete, la alimentación antes y después del destete, la cantidad y calidad del pasto, etc. Estos factores, y otros

muchos, pueden influir en el “performance” del novillo en cebo, y el sistema de alimentación debería servir para evaluar todo el manejo del animal.

1.2. Limitaciones del artículo: energía

El sistema de alimentación NRC abarca los nutrientes más importantes, tanto desde el punto de vista de la valoración de alimentos, como también de las necesidades del animal. Las necesidades más importantes para ruminantes son la energía y la proteína, aunque desde luego estos nutrientes no serían capaces de sostener la producción si hubiese un desequilibrio, por ejemplo, en los minerales. Ya que otros participantes en esta jornada se dedicarán a la proteína, y también porque los aspectos energéticos del sistema NRC difieren más en comparación a los sistemas elaborados en países europeos, para este artículo nos hemos limitado a la energía.

1.3. Desarrollo del sistema NRC (historial)

Desde el tiempo de Lavoisier, se ha reconocido que la energía ingerida por el animal no se transforma totalmente a tejidos corporales. Sin embargo, los fundamentos de los actuales sistemas de alimentación se encuentran en los trabajos, de principio de este siglo, de varios investigadores, incluyendo von Voit, Armsby, Atwater, Kellner y Rubner (Lusk, 1926). Durante ese tiempo se elaboraron las definiciones de los términos básicos de la energética, por ejemplo la energía bruta (EB), energía digestible (ED), energía metabolizable (EM), energía neta (EN) e incremento de calor (IC).

Aunque estos términos se entienden universalmente, su uso ha sido muy controvertido, muchas veces porque se han inventado términos sin una buena comprensión de su significado. Por ejemplo, la acción dinámico-específica, el trabajo de digestión, y la termogénesis inducida por la dieta tienen implicaciones confusas o incorrectas sobre los mecanismos que controlan la utilización de energía por el animal. Estas controversias se han resuelto en parte debido a los simposios que celebra la Asociación Europea de Producción Animal sobre energía cada tres años. El NRC intentó clarificar la terminología energética, con la publicación de su glosario en 1981 (NRC, 1981). Esa publicación define, de manera sistemática, los términos energéticos usados en los Estados Unidos y en la Europa occidental, los cuales fueron diseñados con capacidad de ampliación para el futuro. Estas definiciones básicas se encuentran también en este artículo, en una sección más adelante.

El primer Sub-comité para Nutrición de Ganado Vacuno del Comité de Nutrición Animal del Consejo Nacional de Investigación (National Research Council, NRC) fue convocado en 1943 con el propósito de elaborar normas nutricionales. Este trabajo dió lugar a la primera publicación de estas normas en 1945. En esa publicación, la valoración energética de las raciones venían expresadas en unidades de TDN (Nutrientes Digestibles Totales), algunas veces estimados a partir de la energía metabolizable (EM), considerando que una libra de TDN es equivalente a 1616 kcal de EM). Estas normas se revisaron en 1950, pero el sistema y las raciones cambiaron muy poco. La siguiente revisión se publicó en 1958, y esta vez hubo algunos cambios importantes. En vez de raciones, las normas fueron

expresadas en forma de necesidades actuales, sin consideración de márgenes de seguridad. La revisión de 1958 también incluyó valores de energía digestible (ED). Las necesidades fueron revisadas, asumiendo que el novillo en cebo recibiría una hormona anabólica (estilbestrol) y recomendando que las estimaciones de ganancia de peso fueran descontadas de un 10 a un 20% en ganado que no recibiera la hormona. La siguiente revisión se publicó en 1963, y las necesidades continuaron expresadas en unidades de ED y TDN, aunque se recomendó el uso de calorías en vez de TDN. Las unidades de ED, EM y EN se introdujeron, con una recomendación a los investigadores para estimar las necesidades en estas unidades. Durante la revisión de 1970 los cambios fueron más significativos, y resultaron en el sistema que se usa, con modificaciones, hasta ahora. El Sistema Internacional de unidades métricas fué adoptado (que son las unidades que siguen siendo usadas en la actualidad), y las necesidades se expresaron en forma de EM y EN, con la continuación del TDN. Esta revisión aprovechó el trabajo de Lofgren y Garrett (1968), y pudo por primera vez expresar las necesidades de EN para mantenimiento y ganancia separadamente. Estos cambios resultaron en una mejor comprensión entre el valor energético de la dieta y las necesidades energéticas del animal. Por ejemplo, aunque la energía metabolizable se define en parte como la energía disponible para el animal, las necesidades de EM pueden variar de acuerdo a las proporciones de forraje y concentrados en la dieta. En comparación, las necesidades de EN no varían cuando cambia el tipo de dieta. La revisión de 1976 incluyó algunos cambios de menor importancia, añadiendo categorías de animales de acuerdo a su peso y velocidad de crecimiento. Lo mismo sucedió en la revisión de 1984, la cual también incluyó por primera vez las ecuaciones para estimar el consumo de alimento, necesidades de varios nutrientes, y velocidad de crecimiento. Esta última revisión también fue la ocasión para publicar los factores que ajustan las estimaciones según el tipo de animal (peso adulto, sexo, crecimiento compensatorio, etc.), el procesamiento de granos, y el medio ambiente, muchos de los cuales fueron elaborados por Fox y Black (1984).

1.4. Aplicaciones prácticas

Como hemos dicho, cada sistema de alimentación ha evolucionado dentro de un cierto ambiente industrial, así que no debe sorprender a nadie que estos sistemas sirvan específicamente para la industria ganadera de su país. El sistema NRC no es excepcional en este sentido. Las ecuaciones que estiman el consumo, transformación y crecimiento se obtuvieron bajo condiciones parecidas a las que ocurren en los cebaderos norteamericanos, y funcionan razonablemente bien en estas situaciones. Por esto merece la pena revisar brevemente las condiciones en que se aplica el sistema.

En los Estados Unidos, las vacas de cría se encuentran en condiciones generalmente extensivas, y el becerro se cría con la madre a base de pasto hasta los 6 o 7 meses de edad, pesando unos 230 kg. Típicamente, el becerro se vende al destete, y puede seguir uno de varios caminos. Algunos entran directamente al cebadero, donde se engordan hasta alcanzar unos 500-550 kg, a los 14 meses de edad. Mayoritariamente, los becerros destetados entran una segunda fase de pastoreo, la cual continua hasta alcanzar unos 340 kg a los 10 o 11 meses de edad, antes de entrar a la fase de cebo. Estos animales suelen exhibir crecimiento compensatorio en el cebadero, y producen canales de más alta calidad (bajo nuestro sistema

de calificación). Antes de 1970, casi todos los animales eran de origen inglés, con el Hereford y el Angus como dominantes. Durante los últimos 20 años, la inclusión de razas europeas y la práctica o aceptación del cruzamiento ha dado como resultado amplias variaciones en la conformación del ganado vacuno de carne, necesitando cambios en el sistema de alimentación para abarcar diferentes tipos de animales. El aumento reciente en el engorde de novillos de raza lechera (Holstein) deberá tener el mismo efecto. Los ingredientes usados en dietas de cebo varían regionalmente. En la zona central del país, donde se engorda la mayoría del ganado, se usa mucho maíz (en grano y silo) y soja. En comparación, en California se cosecha poco maíz, pero hay más diversidad en la agricultura, con plantaciones extensivas de algodón, nueces y almendras, cítricos y muchas hortalizas. Todos estos productos son acompañados por subproductos, los cuales se usan extensivamente en dietas para el cebo y también para ganado lechero. Otro factor que varía regionalmente y durante el año es el medio ambiente. Por ejemplo, el valle Imperial de California es cálido y seco todo el año, pero el ganado engordado en Nebraska está expuesto a temperaturas por debajo de cero grados centígrados en el invierno. Generalmente no es rentable construir naves para el engorde. Toda esta variación en el tipo de animal, dieta y medio ambiente, implican que nuestro sistema de alimentación debe abarcar diversas fuentes de variación.

2. EL SISTEMA NRC

2.1. Descripción general

Quizás el primer paso antes de hablar del sistema NRC de valoración de los alimentos, sería dar algunas definiciones referentes a la terminología utilizada por dicho sistema para describir las transformaciones de energía que tienen lugar en los animales. El clásico término ingestión de energía bruta (EB) ha sido reemplazado (NRC, 1981) por el de ingestión total de energía o energía ingerida (EI), y se define como la cantidad de alimento consumido multiplicado por el calor de combustión del alimento. Las convencionales definiciones de energía digestible aparente y energía metabolizable se mantienen:

$$ED = EI - EH$$

y

$$EM = ED - EG - EO$$

siendo EH, energía excretada en heces; EG, energía en forma de gases; y EO, energía de la orina. La energía excretada en forma de heces y orina puede proceder de la energía no aprovechada del alimento, o bien tener un origen endógeno o metabólico. Con estas puntualizaciones, la energía digestible verdadera (EDV) será igual a:

$$EDV = EI - EH + EHe + EHm$$

siendo EHe, energía de las heces de origen endógeno; y EHm, energía de las heces de origen metabólico. El término ENg es equivalente a la energía recuperada o retenida (ER), evitando la confusión creada entre los valores de EN asignados a cada alimento y la energía procedente de las transformaciones del animal.

Esta división del calor total de producción en los principales componentes fisiológicos y metabólicos es el aspecto más complejo y controvertido de todo el sistema de nomenclatura. En rumiantes, la estimación del valor energético de un alimento por su contenido en ED es menos apropiado que en animales monogástricos debido a las variables pérdidas energéticas asociadas con la fermentación ruminal (principalmente calor y metano). La principal debilidad en utilizar un sistema basado en ED para rumiantes es que sobrestima los alimentos de alto contenido en fibra respecto a los alimentos concentrados (NRC, 1984). La eficiencia con la que es utilizada la EM de un alimento, tanto para mantenimiento como para ganancia de peso, es menor para dietas cuya relación forraje:concentrado es alta. Por tanto, la valoración en base a EM, que corrige las pérdidas urinarias y en forma de gas por el rumen, comparte el mismo defecto que el sistema basado en ED. Por estas razones, el sistema basado en energía neta (EN) ha llegado a ser el más ampliamente utilizado para ganado vacuno de carne.

El uso de un sistema basado en EN es complicado por el hecho de que la energía es utilizada con diferentes eficiencias para mantenimiento y producción. Para cuantificar estas diferencias el sistema EN asigna dos valores calóricos a cada alimento; uno para mantenimiento (EN_m) y otro para crecimiento (EN_g). Los valores de EN de la mayoría de los alimentos comúnmente empleados durante el cebo, han sido determinados por la técnica de los sacrificios comparativos. Con esta técnica, la fracción utilizable de la EB se determina midiendo la ganancia de energía de los tejidos, es decir, la EN es la cantidad de energía que es recuperada en las producciones del animal (energía retenida). El contenido en energía de la canal es determinada mediante la molienda y perfecta homogeneización de ésta, y quemando la muestra en una bomba calorimétrica. Para evitar el alto coste de destruir grandes números de canales, el contenido en energía de la canal se ha estimado en base a su gravedad específica, la cual está negativamente relacionada con el contenido en grasa. Una vez que la relación entre el contenido energético de la canal y la gravedad específica ha sido experimentalmente determinada, el valor en EN de un alimento se mide alimentando a un grupo de terneros en el cebadero, sacrificando algunos al comienzo y el resto cuando alcancen el peso al sacrificio, midiendo la gravedad específica de las canales, y calculando la ganancia total de energía durante el período durante el cual estuvieron consumiendo el alimento. El valor para EN_g se calcula a partir de la EB total ingerida y de la ganancia energética de la canal. Esta técnica, y su uso para determinar el valor en EN de los alimentos en ganado vacuno de carne fué desarrollada en la Universidad de California por Lofgren y Garrett (1968).

2.2. Consumo de alimento

En un programa de nutrición para vacuno de carne deben tenerse en consideración los diversos factores que alteran el consumo voluntario. La capacidad del rumen, baja digestibilidad y velocidad de tránsito, limitan la ingestión de forraje. La capacidad de ingestión también está afectada por la disponibilidad de forraje, el tipo y nivel de suplementación y las condiciones climáticas. Otros factores incluyen el tamaño del animal, la producción de leche y su estatus reproductivo.

La ingestión de forraje en ganado vacuno en pastoreo decrecerá si la cantidad o calidad de pasto no es adecuada. Las principales diferencias están asociadas con el contenido en proteína del forraje y la cantidad de alimento suplementado. Un forraje deficiente en proteína verá incrementado su consumo cuando es suplementado con una pequeña cantidad de concentrado rico en proteína, pero suplementaciones por encima de un kg reducirán la ingestión de forraje por desplazamiento. El consumo de forraje también disminuirá durante períodos de tiempo frío. Se recomienda suplementar con concentrado para evitar pérdidas de peso pues las necesidades de mantenimiento se incrementan durante este tiempo (NRC, 1984). En términos generales, el consumo de alimento en ganado vacuno para producción de carne es difícil de predecir por la cantidad de variables a la que está sometido, como tipo de animal, la dieta, y el medio ambiente.

La ingestión diaria de alimento (IA) según el tipo de animal viene dada por las siguientes ecuaciones (ENm, Mcal/kg alimento):

- *Crecimiento y acabado:*

$$IA \text{ (kg MS)} = \text{kg}^{0,75} (0,1493 \text{ ENm} - 0,0460 \text{ ENm}^2 - 0,0196)$$

- *Ajuste según formato y sexo:*

- No: novillos castrados de formato medio
- novillas de formato grande
- toros de formato medio
- +10%: novillos castrados de formato grande
- añojos de formato medio
- +5%: toros de formato grande
- 10%: novillas de formato medio

2.3. Mantenimiento

Los requerimientos energéticos para el mantenimiento son definidos como la cantidad de energía del alimento que resulta de una condición corporal en la que ni se pierde ni se gana energía. Para aquellos animales que están próximos a su tamaño adulto, el mantenimiento sería su usual estado fisiológico. Para el resto el mantenimiento es más bien una condición teórica, pero en todos los casos es más apropiado considerar los requerimientos energéticos para el mantenimiento separados de los de producción.

La ENm es por definición la cantidad de energía equivalente al calor producido por un animal en ayunas situado en la zona termoneutra de temperatura. Los requerimientos de ENm para el ganado vacuno de carne están estimados en 77 kcal/kg^{0,75} (Lofgren y Garrett, 1968; Garrett, 1980). Esta estimación es aplicable a animales estabulados, no estresados por el ambiente y en reposo. Lógicamente existirán variaciones en las necesidades de mantenimiento entre un 3 y un 14 % según el sexo, la raza y la edad (Webster, 1983).

2.4. Crecimiento

Los requerimientos en ENg varían en función del tipo de tejido que está siendo sintetizado por el animal. El crecimiento es producto principalmente de proteína (músculo) y grasa. El valor calórico (kcal/g materia seca) de la grasa es 9,4 y para tejido libre de grasa (mayoritariamente proteína) aproximadamente 5,6. Las proporciones de proteína y grasa que sintetiza el organismo son función del nivel de energía ingerido por encima de las necesidades de mantenimiento, y de la etapa del crecimiento en la que se encuentra el animal. La grasa se deposita en animales en crecimiento exclusivamente cuando la energía ingerida sobrepasa a las necesidades del mantenimiento. Se puede generalizar que el contenido en energía de una unidad de ganancia de peso está entre 1,2 y 8,0 Mcal/kg. Estas cifras son los contenidos en energía para un cuerpo libre de grasa (73% de agua, 22% proteína, 5% minerales; Garrett y Hinman, 1969) y un contenido energético medio para el tejido adiposo, que será variable entre depósitos y con el grado de engrasamiento del animal. La relación entre la ER y la ganancia de peso observada está también influenciada por el contenido del tracto digestivo, el cual puede variar desde menos de un 5% a un 21% del peso después de 18 horas de ayuno (ARC, 1980; NRC, 1984).

2.5. Composición corporal

La etapa del crecimiento en la que se encuentra el animal será diferente, a mismo peso corporal, entre diferentes razas de vacuno dependiendo del tamaño corporal alcanzado en la madurez, pequeño o gran formato, y sexo. Por esta razón, el NRC (1984) considera requerimientos separados para novillos castrados de medio y gran formato, y para novillas y toros de varios pesos corporales. La velocidad de la ganancia de peso corporal (GP) estimada en función de la ENg (Mcal/d), equivalente a ER, viene dada por las siguientes ecuaciones que han sido ajustadas según la distinta composición corporal relacionadas con el peso y la edad:

- *Novillos castrados de formato medio*

$$GP = 13,91 \text{ ENg}^{0,9116} \text{ kg}^{-0,6837}$$

- *Novillos castrados de gran formato, añojos de formato medio en crecimiento compensatorio, y toros de formato medio:*

$$GP = 15,54 \text{ ENg}^{0,9116} \text{ kg}^{-0,6837}$$

- *Toros de gran formato y añojos de gran formato en crecimiento compensatorio:*

$$GP = 17,35 \text{ ENg}^{0,9116} \text{ kg}^{-0,6837}$$

- *Novillas de formato medio:*

$$GP = 10,96 \text{ ENg}^{0,8936} \text{ kg}^{-0,6702}$$

- *Novillas de gran formato y novillas de un año en crecimiento compensatorio:*

$$GP = 12,21 \text{ ENg}^{0,8936} \text{ kg}^{-0,6702}$$

Con estas ecuaciones se subestima la GP para alimentos ricos en fibra, y se sobrestima con alimentos muy concentrados, pues las relaciones originales (ER y ganancia de peso corporal vacío) fueron establecidas bajo condiciones experimentales específicas.

2.6. Otros ajustes

El ganado vacuno de carne está particularmente expuesto a condiciones de ambiente extremo, fuera de la zona termoneutra. Los requerimientos energéticos dados por este sistema asumen que los animales no están estresados por las condiciones ambientales. En una situación de estrés provocado por frío, el animal requiere energía adicional para el mantenimiento, mientras que en un animal estresado por el calor, el apetito y la producción decrecen. Como las condiciones ambientales a las que está expuesto el ganado vacuno de carne son muy diversas (temperatura del aire, velocidad del viento, precipitaciones, exposición al sol), así como multitud de factores relacionados con el animal (edad, raza, recubrimiento de pelo, período de adaptación y dieta), los ajustes en los requerimientos son calculados sobre una base empírica (NRC 1984).

3. EVALUACION DEL SISTEMA NRC

3.1. Asunciones

La ecuación final para estimar la velocidad de crecimiento del novillo depende positivamente de la cantidad de ENg disponible y negativamente del peso vivo del animal. Además, la cantidad de ENg disponible depende del consumo de alimento, la concentración de energía en la dieta, y las necesidades para mantenimiento. Para algunos ingredientes, la EN ha sido determinada empíricamente como se ha explicado. Muchos otros se estiman en base a su EM, suponiendo que existe una relación cúbica entre estas dos variables. La ecuación para estimar el consumo depende del peso metabólico y la ENm de la dieta, de tal forma que el consumo decrece cuando la dieta tiene un contenido bajo de ENm. Esto supone una fermentación más lenta y un aumento en el llenado del rumen que se observan con dietas de baja calidad. Las necesidades para mantenimiento se calculan sencillamente en base al peso metabólico del animal, como si éste fuese el único factor que influye en la ENm. Finalmente, la ecuación para ganancia de peso, estimada en base a ENg y peso, asume que el animal crece en proporción a la energía disponible para este propósito (es decir, que no hay otras necesidades limitantes). Además, la ganancia de peso decrece conforme aumenta el peso vivo del animal, ya que el novillo crece a una velocidad decreciente conforme va alcanzando su peso adulto.

3.2. Resultados

En los Estados Unidos se engordan unos 30 millones de novillos, novillas, vacas y toros anualmente. Esto representa una amplia reserva de experiencia e información sobre el "performance" del ganado de carne en respuesta a condiciones ambientales y nutricionales. Frente a toda esa experiencia, la supervivencia del sistema NRC y su continuada utilización en la industria ganadera es testimonio veraz de su utilidad. Sin embargo, las asunciones fundamentales del sistema y las condiciones en las cuales fue elaborado dejan abierta la posibilidad de que los adelantos en sistemas de manejo y en los genotipos puedan crear problemas que el sistema no logre abarcar. En esta sección damos un ejemplo usando nuestros datos, en el cual el sistema NRC funciona muy bien para animales criados y engordados bajo condiciones normales, pero encuentra dificultades con nuevos sistemas de manejo. Una explicación más detallada de ese experimento se encuentra en las memorias de la Asociación Europea de Producción Animal (Sainz y Oltjen, 1994). Para simplificar, examinaremos tres de los nueve grupos experimentales.

En este experimento, 45 novillos castrados de raza inglesa (mayoritariamente Hereford) entraron al cebadero a los 236 kg peso vivo medio. Fueron divididos en tres grupos, y manejados en dos fases distintas. Desde los 236 kg hasta llegar a 332 kg, los terneros fueron alimentados *ad libitum* con una dieta baja en energía (grupo FA: 1,03 kcal ENm/kg MS) o con una dieta alta en energía (2,08 kcal ENm/kg MS) a dos niveles: *ad libitum* (grupo CA) y con el consumo limitado para que crecieran parejos con el grupo FA (grupo CL). A partir de los 332 kg, todos los novillos fueron acabados *ad libitum* con la dieta alta en energía hasta los 490 kg.

El cuadro 1 muestra los resultados de estos tratamientos. Ahí se ve que los novillos castrados en crecimiento compensatorio (FA y CL, segunda fase) consumieron más alimento, y lograron ganancias de peso más aceleradas y eficientes que aquellos engordados normalmente (CA). Esta respuesta se debe a varias adaptaciones al régimen nutricional anterior, incluyendo (en relación al grupo CA) aumentos en el consumo (FA, +30%; CL, +22%); aumentos en el contenido del aparato digestivo (FA, +17%; CL, +26%); y cambios en las necesidades de mantenimiento (FA, +28%; CL, -7%).

En el cuadro 2 se demuestra la eficacia del sistema NRC para estimar las respuestas observadas, en su forma original y después de incluir las adaptaciones ya mencionadas. El sistema NRC sin modificaciones fué capaz de estimar el consumo de alimento y las ganancias de peso del grupo CA. Por otro lado, el sistema no pudo abarcar las respuestas de los grupos FA y CL. Después de incluir las adaptaciones en consumo, mantenimiento, y el llenado del aparato digestivo, las respuestas estimadas se aproximaron mucho más a las observadas, dando fe de su importancia.

Cuadro 1. Producción de novillos castrados alimentados en dos fases

	CA	CL	FA	Desviación estándar	P ¹
Primera fase:					
Consumo de alimento, kg/día	8,41 ^a	4,55 ^b	8,41 ^a	0,72	***
Ganancia de peso, kg/día	1,99 ^a	0,73 ^b	0,76 ^b	0,17	***
Índice de conversión, kg/kg	4,26 ^c	6,45 ^b	11,3 ^a	1,48	***
Segunda fase:					
Consumo de alimento, kg/día	9,04 ^b	10,98 ^a	11,73 ^a	1,28	***
Ganancia de peso, kg/día	1,26 ^c	1,94 ^a	1,60 ^b	0,18	***
Índice de conversión, kg/kg	7,27 ^a	5,69 ^b	7,33 ^a	0,88	***

¹ Probabilidad de un error Tipo I: ***, $P < 0,001$

^{abcd} Medias dentro de una fila sin compartir una letra son significativamente diferentes ($P < 0,05$)

Cuadro 2. Estimaciones de producción de novillos castrados en la segunda fase -- NRC, 1984

Modificaciones al sistema NRC	CA	CL	FA
1. Ninguna --forma original:			
Consumo de alimento, kg/día	9,06	9,06	9,06
Ganancia de peso, kg/día	1,26	1,26	1,26
2. Consumo actual:			
Consumo de alimento, kg/día	9,04	10,98	11,73
Ganancia de peso, kg/día	1,26	1,66	1,81
3. + Cambios en el mantenimiento:			
Ganancia de peso, kg/día	1,26	1,71	1,61
4. + Aumento en peso de la digesta:			
Ganancia de peso, kg/día	1,26	2,08	2,12
5. 2 + 3 + 4			
Ganancia de peso, kg/día	1,26	2,13	1,89
Resultados experimentales:			
Ganancia de peso, kg/día	1,26	1,94	1,60

La conclusión primaria de este análisis es que el sistema NRC funciona bien bajo condiciones normales, pero falla cuando el sistema de manejo difiere de lo usual. Estos fallos pueden ser parcialmente corregidos si ajustamos las estimaciones de ganancia de acuerdo a las adaptaciones observadas experimentalmente. Los ajustes que más mejoraron las estimaciones de la ganancia fueron los cambios en consumo, en las necesidades de mantenimiento, y en el llenado del aparato digestivo (cuadro 2). Sin embargo, está claro que estos ajustes no funcionan de manera aditiva. El sistema NRC ya contiene varios ajustes para ciertas condiciones. Hasta ahora la estrategia para mejorar el sistema ha sido la expansión de ajustes para abarcar nuevas situaciones. Sin embargo, siempre habrá nuevas situaciones para las cuales no existen ajustes, haciendo que nuevos experimentos sean necesarios para definir estos factores empíricamente. Este camino resulta muy costoso e ineficiente. En la siguiente sección proponemos una nueva alternativa, que nos ofrece la oportunidad de evitar muchos problemas que ocurren en los actuales sistemas de alimentación.

4. EL FUTURO DEL SISTEMA NRC (Y OTROS)

En el ejemplo que se dió en la sección anterior, las estimaciones del "performance" del sistema NRC fueron mejoradas por la inclusión de varios ajustes de las variables dadas por el sistema NRC, en base a las adaptaciones observadas en los grupos experimentales. Esto conlleva directamente a un cambio fundamental en la dirección en que vamos con los nuevos sistemas de alimentación. Los sistemas actuales tratan más de la valoración de alimentos, pero en el futuro tendremos que considerar también las diferencias entre animales. Por ejemplo, la ecuación para estimación del consumo no abarca cambios debidos al historial nutricional de cada animal, y la estimación del consumo es uno de los grandes problemas enfrentando al nutricionista en la práctica. Otro factor muy importante es la necesidad para el mantenimiento. En el sistema actual, se supone que estas necesidades son constantes en base al peso metabólico. Como hemos visto, las necesidades de mantenimiento no son constantes, sino que cambian de acuerdo a la condición del animal y su estado fisiológico. Los sistemas de alimentación del futuro tendrán que abarcar las variaciones o cambios que ocurren en la fisiología de animales diferentes, y en el mismo animal en función del tiempo.

Aparte de definir más ajustes, la única forma de abarcar estas variaciones sería la incorporación de aspectos dinámicos en los modelos que sirvan de base a los sistemas de alimentación. Es decir, el "performance" del animal sería calculado iterativamente durante todo el período de crianza y cebo, en vez de una sola estimación estática. Este sería un cambio fundamental, pero tendría ventajas importantes. Una gran ventaja sería la posibilidad de incorporar adaptaciones a las condiciones anteriores en las estimaciones actuales. Una posible desventaja (dependiendo del punto de vista) sería la necesidad de descubrir los mecanismos que controlan los cambios fisiológicos de acuerdo al historial del animal, y la formulación de ecuaciones para su descripción. Ciertamente, la conversión de un sistema estático a un sistema dinámico sin al mismo tiempo incorporar mecanismos fisiológicos no producirá los resultados esperados.

Otro cambio necesario, y relacionado con el que precede, tiene que ver con la aditividad del modelo. El sistema NRC (y otros sistemas actuales) considera que cada factor que influye en la producción del animal funciona independientemente, y en forma aditiva. Como hemos visto en el ejemplo (cuadros 1 y 2), los factores que más influyen en el "performance" del animal no tienen efectos aditivos. Esto implica que los nuevos modelos del funcionamiento animal deben incorporar elementos no-lineales. La inclusión de ecuaciones mecanísticas muchas veces resulta en modelos no-lineales, ya que la biología raramente funciona de forma lineal.

Hasta ahora hemos discutido algunos conceptos teóricos sobre la dirección en que tenemos que llevar a los sistemas prácticos de alimentación y valoración de alimentos. Algunos cambios importantes que debemos ver en el futuro será la evolución desde sistemas estáticos, empíricos y lineales a sistemas dinámicos, mecanísticos y no-lineales. En la actualidad sólo existe un sistema práctico (para cerdos) con estas características, sin embargo, varios modelos del funcionamiento animal a nivel investigativo han sido elaborados. Un ejemplo es el modelo de la vaca de leche desarrollada por Baldwin et al.

(1987). En la producción de carne, los modelos actuales se han basado en el análisis de Baldwin y Black (1979), los cuales confirmaron la importancia de la capacidad celular (es decir, el contenido en ADN) y la hipertrofia (proporción proteína:ADN) en el crecimiento de cada órgano y el cuerpo entero. De esta forma, se han elaborado modelos dinámicos, mecanísticos y no-lineales del funcionamiento y crecimiento de corderos (Gill et al., 1984; Sainz y Wolff, 1990), novillos (France et al., 1987; DiMarco et al., 1989) y cerdos (Black et al., 1986). Estos modelos tienen varios propósitos en el programa de investigación, incluyendo la evaluación de conceptos, ecuaciones y parámetros para la eventual incorporación en sistemas prácticos. Por ejemplo, el modelo de Black et al. (1986) forma la base del actual sistema de alimentación de cerdos en Australia (SCA, 1987). Para novillos en cebo, los conceptos validados por Baldwin y Black (1979) fueron incorporados en una modificación del sistema NRC por Oltjen et al. (1986). Este sistema es dinámico y no-lineal, e incorpora una combinación de ecuaciones mecanísticas y empíricas, las cuales producen mejores resultados que el sistema NRC, especialmente en relación a los efectos del tamaño adulto y los cambios en la composición corporal.

En conclusión, el sistema actual del NRC (1984) es el resultado de un proceso de evolución, el cual lo ha mejorado de varias maneras. Estas incluyen la conversión desde TDN a EN, la separación de las necesidades (y valores nutritivos) para mantenimiento (ENm) y ganancia (ENG), y la incorporación de ajustes para el sexo, tamaño adulto, y medio ambiente. En su forma actual, el sistema funciona bastante bien bajo unas condiciones dadas, permitiendo su uso para los objetivos mencionados anteriormente, es decir, para la valoración de alimentos y para la evaluación económica de diversos sistemas de manejo. Sin embargo, el sistema NRC tiene sus limitaciones, y como cualquier sistema empírico no puede aplicarse en situaciones fuera de las que se consideraron en su desarrollo. Para que los sistemas de alimentación y valoración de alimentos del futuro tengan una aplicación más amplia, tendrán que incorporar ciertos aspectos muy diferentes a los de hoy. Estos incluyen la capacidad de simulación dinámica, elementos no-lineales, y la representación de mecanismos fisiológicos en las ecuaciones fundamentales del sistema. Esto significa que el énfasis de los nutricionistas debe cambiar, desde la sencilla valoración de alimentos, a una consideración más profunda de los aspectos biológicos del animal y su interacción con la dieta.

5. REFERENCIAS

- AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL (1980) *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. Commonwealth Agricultural Bureau, Slough, England.
- BALDWIN, R.L. y BLACK, J.L. (1979) *CSIRO Aust. Anim. Res. Lab. Tech. Pap.* 6, 1-35.
- BALDWIN, R.L., FRANCE, J.E., BEEVER, D.E., GILL, M. y THORNLEY, J.M. (1987) *J. Dairy Res.* 54, 133-145.
- BLACK, J.L., CAMPBELL, R.G., WILLIAMS, I.H., JAMES, K.J. y DAVIES, G.T. (1986) *Res. Dev. Agric.* 3, 121-145.
- DIMARCO, O.N., BALDWIN, R.L. y CALVERT, C.C. (1989) *Agric. Systems* 29, 21.
- FOX, D.G. y BLACK, J.R. (1984) *J. Anim. Sci.* 58, 725-739.
- FRANCE, J., GILL, M., THORNLEY, J.H.M., y ENGLAND, P. (1987) *Anim. Prod.* 44, 371.
- GARRETT, W.N. y HINMAN, N. (1969) *J. Anim. Sci.* 28, 1-5.
- GARRETT, W.N. (1980) *J. Anim. Sci.* 51, 1434.

- GILL, M., THORNLEY, J.H.M., BLACK, J.L., OLDHAM, J.D. y BEEVER, D.E. (1984) *Br. J. Nutr.* 52, 621-649.
- LOFGREN G.P. y GARRETT, W.N. (1968) *J. Anim. Sci.* 27, 793-806.
- LUSK (1926) *Endocrinology and Metabolism* 3, 3-78.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1981) *Nutritional Energetics of Domestic Animals and Glossary of Energy Terms*. National Academy Press, Washington, D.C.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1984) *Nutrient Requirements of Domestic Animals: Beef Cattle*. National Academy Press, Washington, D.C.
- OLTJEN, J.W., BYWATER, A.C., BALDWIN, R.L. y GARRETT, W.N. (1986) *J. Anim. Sci.* 62, 86-97.
- SAINZ, R.D. y WOLFF, J.E. (1990) *Anim. Prod.* 51, 535-549.
- STANDING COMMITTEE ON AGRICULTURE (1987) *Feeding Standards for Australian Livestock: Pigs*. CSIRO Australia, East Melbourne.
- WEBSTER, A.J.F. (1983) En: *Mammalian Thermogenesis*, (Eds: Girardier, L. y Stock, M.J.) pp.178-207. Chapman & Hall, London/ New York.