

## IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL PESO CORPORAL EN EL VACUNO LECHERO DEL PAÍS VASCO Y NAVARRA

**R. González Santillana\***, **M.A. Pérez-Cabal\*\***, **R. Alenda Jiménez\*\***

\* Departamento de Mejora Genética Animal, Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria, Apdo. 8111, 28080 Madrid, España

\*\* Departamento de Producción Animal, ETSIA, UPM, 28040 Madrid, España

### RESUMEN

Se desarrolló un modelo económico que permite estudiar la rentabilidad obtenida por vaca y año, a nivel de explotación, en las explotaciones lecheras del País Vasco y Navarra. Dicho modelo sirve para calcular los pesos económicos (PE) de tres caracteres productivos (volumen de leche, grasa y proteína en leche) y dos funcionales (peso adulto de las vacas y longevidad) que intervienen en el mismo.

Para la realización del trabajo se utilizó la información de vacas de rebaños del País Vasco y Navarra que estaban en control lechero desde 1979 hasta 2000, y que además tenían datos de calificación morfológica. Para el cálculo de los PE se tomaron los datos relativos al año 1995, y el peso adulto (PA) de las vacas se calculó a partir de la calificación morfológica de Tamaño.

Las necesidades energéticas de los animales se estimaron siguiendo dos normas diferentes de evaluación, que condujeron a resultados similares en la obtención de los PE de los caracteres estudiados.

El PE obtenido para el peso adulto fue de  $-76.54$  pts./kg-vaca-año ( $-0,46$  eur./kg-vaca-año). Este valor representó, en términos relativos, un 13 por ciento del obtenido para la proteína, y quedó próximo al del volumen de leche, que fue un 16 por ciento del de la proteína.

Parece evidente, por tanto, que la inclusión del PA en un índice económico de selección permitiría mejorar la rentabilidad de las explotaciones lecheras, controlando el aumento del peso vivo de las vacas que se ha producido en la población durante el período analizado, al tiempo que aumentaba su producción de leche.

**Palabras clave:** Vacuno lechero, Peso corporal, Peso económico, Índice de selección.

### SUMMARY

#### ECONOMIC WEIGHT OF BODY WEIGHT IN THE DAIRY CATTLE OF THE BASQUE COUNTRY AND NAVARRE

An economic model, to farm level, was developed to study the annual profitability per cow in the dairy farms of the Basque Country and Navarre. The model allows the calculation of the economic weights (PE) of three productive traits (milk volume, milk fat and milk protein) and two functional traits (cow's mature body weight and longevity) which appear in the model.

Information from cows in herds of the Basque Country and Navarre, who were in the Dairy Recording Scheme from 1979 to 2000, and having notes of conformation traits were used in the study. Records relative to the year 1995 were taken to calculate the economic weights, and the cow's mature body weight (PA) was calculated from the note of the Size conformation trait.

Energy intake requirements of animals were estimated following two different evaluation norms, which produced similar results for the PE of the traits studied.

The PE obtained for mature body weight was  $-76.54$  pts./kg-cow-year ( $-0.46$  eur./kg-cow-year). This value was, in relative terms, the 13 per cent of that for milk protein, and resulted fearly close to that of milk volume, who was the 16 per cent of that for protein.

It seems evident that the inclusion of mature body weight in an economic selection index would improve the dairy farm profitability, by means of a control of the increase in the cow's body weight seen to be produced in the population during the analyzed period, and linked to its increase in milk production.

**Key words:** Dairy cattle, Body weight, Economic weight, Selection index.

## Introducción

La mejora genética del ganado vacuno lechero debe ir dirigida hacia la selección de los animales que produzcan el máximo beneficio económico de la explotación. Esto se consigue mejorando no sólo los caracteres productivos (leche, grasa, proteína), sino también los llamados caracteres funcionales, que se caracterizan por mejorar la eficiencia productiva mediante una reducción de los costes de producción (GROEN *et al.*, 1997). Entre estos caracteres cabría citar aquellos que afectan a la salud, la fertilidad, la facilidad de parto, la eficiencia de utilización de alimento y la facilidad de ordeño.

Entre los caracteres que intervienen en la eficiencia de utilización de alimento, quizás el más destacado es el peso corporal o peso vivo (PV) de los animales, ya que influye directamente en los costes de alimentación a través de las necesidades de mantenimiento, y por otra parte también influye en los ingresos, mediante la venta de animales de desecho.

En cualquier sistema de producción de leche los costes de alimentación suponen más de la mitad de los costes totales. Así por ejemplo, en España, en la Cooperativa Alta Moraña (Ávila) durante 1997, y en explotaciones del País Vasco durante 1995, los costes totales de alimentación representaron el 70 y el 63 por ciento, respectivamente, del total de los gastos (PÉREZ *et al.*, 1999).

Generalmente la selección se dirige hacia niveles productivos altos, y dado que se han encontrado correlaciones genéticas positivas entre los caracteres productivos y el peso vivo (AHLBORN y DEMPFE, 1992; VEERKAMP y BROTHERSTONE, 1997), seleccionar hacia animales más productivos da lugar a animales más grandes, lo cual contribuye a generar mayores costes de alimentación para cubrir las mayores necesidades de mantenimiento y de crecimiento. Sin embargo, al correlacionar el peso vivo con la eficiencia lechera (producción de leche por unidad de energía ingerida con el alimento) se han encontrado correlaciones genéticas negativas entre ambos caracteres

(MORRIS y WILTON, 1977; PERSAUD *et al.*, 1991; LEE *et al.*, 1992). Por tanto, el incremento en peso vivo (o tamaño) viene acompañado de unas características contradictorias, unas favorables y otras desfavorables, lo cual hace interesante la inclusión de dicho carácter en un objetivo de selección.

La incorporación de caracteres funcionales como el peso vivo, junto con caracteres productivos, en el proceso de selección se realiza mediante la elaboración de índices económicos de selección o de mérito económico global, que buscan los animales más eficientes económicamente, dentro de un determinado sistema de producción (GROEN *et al.*, 1997). La utilización de un índice económico de selección se justifica con la aplicación, a partir de 1984, de la cuota lechera en la Unión Europea (UE). En una situación de producción limitada por rebaño, como ocurre actualmente en la UE, interesa especialmente realizar la selección basándose en criterios económicos, buscando la máxima eficiencia económica por unidad de producción, que es la vaca adulta.

La mayoría de los programas de mejora genética del vacuno de leche existentes en la actualidad no incluyen al PV en el objetivo de mejora. Uno de los motivos radica en la dificultad para conseguir medidas del PV en los animales de una forma sistemática. Sin embargo se han encontrado correlaciones genéticas altas entre el PV y ciertos caracteres de tipo, que se estiman visualmente al hacer la calificación morfológica de los animales inscritos en los registros genealógicos. Así se ha encontrado una correlación genética de 0,92 entre el PV y la estatura en ganado Holstein-Friesian (AHLBORN y DEMPFELE, 1992), y también correlaciones genéticas altas, en la misma raza, entre el PV y la estatura, la anchura de pecho, la profundidad corporal y la anchura de grupa (VEERKAMP y BROTHERSTON, 1997). Además estas caracte-

rísticas de tipo presentan heredabilidades moderadamente altas (entre 0,23 y 0,50) (VEERKAMP y BROTHERSTONE, 1997), por lo cual podrían utilizarse como predictoras del PV para ser incluidas en un índice de selección.

En Nueva Zelanda se incluyó el PV en un objetivo de mejora (o genotipo agregado) junto a los caracteres de producción de leche, grasa y proteína, utilizando un índice de selección que contenía siempre los tres caracteres productivos, y en ocasiones también el PV (SPELMAN y GARRICK, 1997). Estos autores demostraron que cuando se incluía el PV en el índice de selección la respuesta económica obtenida en el proceso de selección era un 3,8 por ciento más alta que cuando no se incluía.

La importancia de incluir un carácter en el objetivo de mejora viene señalada por la magnitud de su "peso económico" (PE) o "valor económico", bien en valor absoluto o en valor relativo al de otro de los caracteres incluidos en el objetivo de mejora.

El PE de un carácter expresa el cambio en el beneficio económico de la explotación, por vaca lechera presente y año, al incrementarse una unidad el mérito genético de dicho carácter, manteniéndose constantes los demás caracteres que intervienen en el objetivo de mejora (GROEN, 1989a).

Una vez conocidos los PE de los caracteres que se considera deben ser incluidos en el objetivo de mejora, se puede elaborar el genotipo agregado (H), que consiste en una combinación lineal de dichos caracteres, en la cual el coeficiente de cada carácter es su peso económico. Resultaría, por tanto:

$$H = w_1 \cdot g_1 + w_2 \cdot g_2 + \dots + w_n \cdot g_n,$$

siendo:

$$w_i = \text{peso económico del carácter } i.$$

$g_i$  = mérito genético o valor aditivo del carácter  $i$ .

$n$  = número de caracteres incluidos en el objetivo de mejora.

El genotipo agregado ( $H$ ) es una medida simplificada del beneficio económico esperado por animal, en función de los valores genéticos o aditivos del animal (MELTON *et al.*, 1979; GODDARD, 1998).

Se han hecho diversos trabajos para estimar el PE del PV. (Ver KOENEN *et al.*, 2000, para una revisión sobre ellos). En la mayoría de ellos el PV tiene un PE negativo, ya que los costes marginales asociados al incremento de energía para criar novillas y al incremento en las necesidades de mantenimiento de las vacas exceden a los ingresos marginales procedentes de las vacas de desecho (GROEN, 1989a). Sin embargo, los PE encontrados han oscilado dentro de un intervalo muy amplio: de  $-1,28$  a  $0,02$  eur./kg·vaca·año, (de  $-213,00$  a  $3,30$  pts./kg·vaca·año). Esta amplia variación es debida, en gran parte, a que el PE del PV es muy dependiente de los precios supuestos para los alimentos y para la carne de vacuno, y también depende de la existencia de limitaciones a la producción por exigencias medio-ambientales que limitan el exceso de abonado, o por limitaciones en la cantidad de forraje disponible (GROEN *et al.*, 1997). Por tanto, el PE del PV del vacuno lechero, como el de otros caracteres de este ganado, es sensible a las circunstancias del sistema de producción, que pueden diferir bastante entre naciones, regiones o incluso explotaciones dentro de la misma región (GROEN, 1989a,b).

Actualmente en España no se tiene en cuenta el PV en la selección por rentabilidad. En el índice económico MEG (Mérito económico global) (CHARFEDDINE, 1998) sólo se incluyen caracteres de producción y tipo para seleccionar por productividad

y longevidad funcional, incluyendo la Calificación Final, Miembros y Aplomos (relacionados con la movilidad del animal) y un Compuesto de Ubre (relacionado con la morfología de la ubre). Sin embargo, CHARFEDDINE (1998), en un estudio realizado con los datos de explotaciones lecheras del País Vasco, tuvo en cuenta la influencia del PV en la ecuación de beneficio para el cálculo de la rentabilidad por vaca, y calculó un PE para el mismo, aunque no lo incluyó en el índice de selección.

En el presente trabajo se pretende desarrollar una ecuación (o función) de beneficio que refleje con la mayor exactitud posible la rentabilidad obtenida en un conjunto de explotaciones lecheras del País Vasco y Navarra, de las cuales se poseen suficientes datos económicos y productivos. Dicha ecuación se utilizará para la obtención de los PE de los caracteres productivos y funcionales que intervienen en la misma, entre ellos el del peso vivo adulto (PA) de las vacas.

## Material y métodos

### Datos utilizados

Para la realización de este trabajo se utilizó la información histórica de las vacas pertenecientes a los rebaños de Navarra y País Vasco en control lechero desde 1979 hasta mayo de 2000. A partir de los datos oficiales del Control Lechero se obtuvieron las producciones de leche ( $Y$ ), grasa ( $G$ ) y proteína ( $P$ ) por vaca y año, la edad al primer parto (EPP), el intervalo entre partos (IP), la duración de la lactación (DL), y la longevidad (L) o vida productiva (VP) de cada vaca, entendida como el período de tiempo transcurrido entre el primer parto y el último

secado. De los datos de Calificación Morfológica obtenidos por la Confederación Nacional de Frisona Española (CONAFE), siguiendo el Manual de Calificación Lineal (CONAFE, 1998), para esas vacas, se obtuvo el dato correspondiente a Tamaño, así como los de fecha de nacimiento y fecha de calificación.

Para considerar a una vaca válida para el estudio se tuvieron en cuenta varios requisitos: cada animal tenía que tener, al menos, la oportunidad de haber estado en producción durante cuatro años, y cada rebaño debió permanecer, al menos, cuatro años seguidos en control lechero. La EPP debía estar comprendida entre los 18 y los 40 meses, el IP debía estar entre los 300 y 550 días, y la DL debía ser igual o menor a 425 días. Se consideró un número máximo de 10 lactaciones por vaca. El archivo base de datos (FB) estuvo formado por 46.316 vacas con datos productivos y morfológicos completos.

Del archivo base (FB) se seleccionaron aquellas vacas que estuvieron en lactación en el año 1995, y este archivo (F95), formado por 17.719 vacas, se utilizó para el cálculo de los pesos económicos de los caracteres considerados en el objetivo de selección. Se eligió el año 1995, para el cálculo de los PE de los caracteres considerados, porque la mayoría de las vacas en producción en ese año habían tenido ocasión de alcanzar su potencial máximo de vida productiva (VP) en el momento en que se cerró el archivo base de datos (en mayo de 2000), mientras que para años posteriores a 1995 el número de vacas en lactación que no habrían alcanzado su potencial de VP sería mayor, y por tanto el valor de dicho carácter sería menos exacto.

Así mismo, del archivo base (FB) se crearon otros dos archivos parciales (F85) y

(F90) con las vacas en lactación en 1985 y 1990, respectivamente, para comparar los datos productivos y de tamaño de vaca con los del año 1995, y tener así una perspectiva histórica de su evolución.

### Descripción del modelo de análisis

Se estableció un modelo que fuera representativo del sistema de producción de leche en las explotaciones del País Vasco y Navarra, y que reflejara el beneficio económico a nivel de explotación. Este modelo es semejante al desarrollado por GROEN (1988, 1989a,b), GIBSON (1989), BEKMAN y VAN ARENDONK (1993), PIETERS *et al.* (1997), CHARFEDDINE (1998) y CHARFEDDINE y ALENDA (1998), y se utiliza para el cálculo de los PE de los caracteres que formarán parte del objetivo de selección, siguiendo el procedimiento detallado, entre otros, por CHARFEDDINE y ALENDA (1998).

La ecuación general del beneficio anual (o función de beneficio), a nivel de explotación, es:

$$B = N \cdot (I_a - C_a) - CFE \quad (1),$$

siendo:

B = Beneficio anual por explotación.

N = Número de vacas lecheras en la explotación.

$I_a$  = Ingresos por vaca y año.

$C_a$  = Costes por vaca y año.

CFE = Costes fijos de la explotación por año.

(Aunque las abreviaturas utilizadas en el texto se explican detrás de la fórmula en la que aparecen, en el Apéndice 2 figura un listado de todas ellas para una mejor comprensión).

Los costes fijos (CFE) de la explotación incluyen todos aquellos que son independientes del número de vacas, y por tanto no pueden relacionarse directamente con ellas: amortizaciones, contribuciones, conservación de edificios, reparación de maquinaria, arrendamientos de tierras, intereses de créditos pendientes, etc. La cuantía de estos costes, aunque importantes para el beneficio de la explotación, no influye en el cálculo de los PE de los caracteres animales incluidos en la función de beneficio, ya que son independientes de ellos. El resto de los costes puede relacionarse con el número de vacas, y por tanto entran en  $C_a$ . Entre estos costes algunos de ellos son variables, como los costes de alimentación, que dependen del volumen de leche producido, y otros son fijos por vaca, como el coste de reposición (relacionado con el peso adulto de las vacas), o como otros costes que se consideran iguales para todas las vacas: inseminación, medicinas y veterinario, mano de obra, cama, ordeño, etcétera.

La ecuación (1) puede expresarse en forma de beneficio por vaca y año ( $B_a$ ), en la forma:

$$B_a = \frac{1}{N} \cdot (B + CFI) = I_a - C_a,$$

Como en  $C_a$  no entran todos los costes fijos,  $B_a$  no puede considerarse como un auténtico beneficio por vaca, pero está más próximo a dicho beneficio que al margen bruto por vaca, ya que en  $C_a$  se incluyen todos los costes variables y gran parte de los fijos. Por eso, y para simplificar, lo denominaremos beneficio por vaca y año a lo largo del artículo.

Los caracteres productivos y funcionales, incluidos en la función de beneficio,

siguiendo el trabajo de CHARFEDDINE (1998), fueron:

- Volumen de leche anual (V), en kg. (Volumen de leche = Producción de leche anual (Y), en kg – kg de Grasa – kg de Proteína).
- Grasa producida por año (G), en kg.
- Proteína producida por año (P), en kg.
- Longitud de vida productiva o longevidad (L), en años.
- Peso vivo adulto de la vaca (PA), en kg.

Se asume que el cambio en el mérito genético de un carácter determinado no genera cambios en los ingresos y gastos asociados a los demás caracteres, ni tampoco en los parámetros técnicos y económicos iniciales. El único cambio posible, asociado a un aumento (o disminución) en la producción, afectaría al número de animales (N), como consecuencia de la existencia de una cuota a la producción de leche y grasa por explotación, de forma que un aumento en la producción implicaría una reducción del efectivo de cada rebaño (GIBSON, 1989).

En el presente trabajo se calculó, en primer lugar, el beneficio por vaca y año para el conjunto de las vacas en lactación en 1995 en el País Vasco y Navarra, es decir, las incluidas en el archivo parcial (F95). Esto representa una medida de la rentabilidad media por vaca y año de las explotaciones lecheras de ambas regiones en dicho año 1995. Para el cálculo de este beneficio se tomaron los datos de mercado correspondientes a la media de 239 explotaciones del País Vasco en 1995, así como algunos parámetros productivos de las mismas. Estos datos fueron suministrados por el Centro de Investigación Agraria del País Vasco (NEIKER), y figuran en el cuadro I.

Cuadro I. Datos económicos y de mortalidad medios de 239 explotaciones del País Vasco, correspondientes al año 1995

*Table I. Mean economic and mortality data from 239 farms of the Basque Country, corresponding to the year 1995*

Precio base de leche (pts./kg)	41,13
Grasa de referencia (%)	3,7
Proteína de referencia (%)	3,1
Prima/penalización por grasa (pts./g·kg, respecto a grasa de referencia)	0,41
Prima/penalización por proteína (pts./g·kg, respecto a proteína de referencia)	0,54
Coste UFL <sup>1</sup> en ración de vacas (pts./UFL)	27,40
Coste UFL <sup>1</sup> en ración de novillas (pts./UFL)	27,30
Precio vaca de desecho (pts./kg peso vivo)	194,0
Precio ternero (pts./cabeza)	33,746
Gastos de inseminación (pts./vaca y año)	4,231
Gastos de medicinas y veterinario en vacas (pts./vaca y año)	7,151
Gastos de mano de obra en vacas (pts./vaca y año)	65,255
Otros gastos en vacas (cama, ordeño, etc.) (pts./vaca y año)	11,601
Gastos de medicinas y veterinario en novillas (pts./novilla)	4,170
Gastos de mano de obra en novillas (pts./novilla)	25,506
Otros gastos en novillas (cama, etc.) (pts./novilla)	13,981
Mortalidad de terneros (próxima al parto) (%)	7,0
Mortalidad de novillas en recría (%)	4,6
Mortalidad anual de vacas (%)	3,4

(1) Unidad Forrajera Leche (según INRA,1981).

### Cálculo del beneficio medio por vaca y año

Para el cálculo de la producción anual de leche de cada vaca, cuando la duración de la lactación (DL) en 1995 fue superior a 365 días, se usó la fórmula:

$$Y_c = \frac{Y \cdot DLT}{DL \cdot NTL \cdot IP} \cdot 365, \text{ siendo:}$$

$Y_c$  = Producción total de leche corregida a 365 días, en kg.

Y = Producción total de leche sin corregir, en kg.

DL = Días de lactación en 1995.

DLT = Días de lactación en el total de la vida productiva.

NTL = Número total de lactaciones.

IP = Intervalo medio entre partos.

Análogamente, para corregir las producciones de grasa y proteína, cuando la DL fue superior a 365 días, se usaron las fórmulas:

$$G_c = \frac{G \cdot DLT}{DL \cdot NTL \cdot IP} \cdot 365,$$

$$P_c = \frac{P \cdot DLT}{DL \cdot NTL \cdot IP} \cdot 365, \text{ siendo:}$$

$G_c$  y  $P_c$  las producciones de grasa y proteína corregidas a 365 días.

Cuando la duración de la lactación en 1995 fue igual o inferior a 365 días, se tomaron las producciones Y, G y P sin corregir.

La longitud de la vida productiva (L), en años, se calculó a partir de la vida productiva en días (VP):  $L = \frac{VP}{365}$ .

El peso vivo adulto (PA) de cada vaca (peso vivo máximo que alcanzaría al final de su vida) se calculó mediante la ecuación de Von Bertalanffy (KORVER *et al.*, 1985). Esta ecuación da el peso vivo del animal (PVt) (en kg) para la edad t (en días), en función de su peso adulto (PA) y del peso al nacimiento (PN):

$$PV_t = PA \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \sqrt[3]{\frac{PN}{PA}} \right) \cdot e^{-kt} \right]^3,$$

siendo: k = tasa de maduración. Los valores PN/PA y k son constantes para una determinada población de vacas. Para el presente estudio se consideraron los valores: PN = 36,0 kg (peso medio de las terneras al nacimiento), PA = 600,0 kg,

$$PN/PA = 0,06, \text{ y } k = 0,0029.$$

El valor de k se obtuvo de la ecuación de Von Bertalanffy, teniendo en cuenta que para una edad t = 730 días (2 años), a la cual se produce el primer parto en muchas novillas de la raza Holstein-Friesian, es aconsejable que el PV sea el 80 por ciento del PA (GROEN, 1988; TROCCON, 1993). Es decir, para t = 730 días ha de ser:  $PV_t = 0,80 \cdot PA$ .

Por tanto la ecuación de Von Bertalanffy, para la población de vacas estudiada resultó ser:

$$PV_t = PA \cdot \left[ 1 - \left( 1 - \sqrt[3]{0,06} \right) \cdot e^{-0,0029t} \right]^3 = PA \cdot h(t) \quad (2)$$

llamando h(t) al factor que multiplica a PA, y que es función únicamente de la edad t, en días.

De la ecuación (2) se deduce que:  $PA = PV_t / h(t)$ . Esta ecuación permite calcular el

PA del animal, conociendo su peso vivo (PVt) a la edad t.

Con los datos del carácter morfológico Tamaño (CONAFE, 1998) se obtuvo el PV correspondiente a la edad ( $t_c$ ) en que se calificó al animal.

La escala de conversión utilizada fue:

Código de tamaño	Peso vivo (kg)
1	470
2	500
3	530
4	560
5	590
6	620
7	650
8	680
9	710

Por tanto, para cada animal se calculó:  $PA = PV_c / h(t_c)$ , siendo  $PV_c$  el peso vivo a la edad de calificación  $t_c$ .

### Ingresos por vaca

Los ingresos por vaca ( $I_a$ ) son de dos tipos: ingresos por venta de leche ( $I_{\text{leche}}$ ) e ingresos por venta de carne ( $I_{\text{carne}}$ ).

$$I_a = I_{\text{leche}} + I_{\text{carne}}$$

### Ingresos por venta de leche

Los ingresos por venta de leche anuales son:

$$I_{\text{leche}} = Y \cdot \left[ p_L + p_G \cdot (c_G - c_{G_r}) + p_P \cdot (c_P - c_{P_r}) \right], \quad (3) \text{ siendo:}$$

Y = Producción media de leche por vaca y año (kg), corregida a 365 días.

$p_L$  = precio base de la leche (pts./kg),

$p_G$  = prima por calidad de grasa (por encima del contenido de referencia) (pts./kg grasa),

$p_p$  = prima por calidad proteica (por encima del contenido de referencia) (pts./kg proteína),

$cg$  = contenido graso de la leche (kg graso/kg leche),

$cp$  = contenido proteico de la leche (kg proteína/kg leche),

$cg_r$  = contenido graso de referencia = 0,037 kg graso/kg leche,

$cp_r$  = contenido proteico de referencia = 0,031 kg proteína/kg leche.

Teniendo en cuenta que  $Y = V + G + P$ , siendo  $V$ ,  $G$  y  $P$  las cantidades medias de volumen de leche (sin grasa y proteína), grasa y proteína (en kg), por vaca y año, corregidas a 365 días, respectivamente, y que  $Y \cdot cg = G$ , e  $Y \cdot cp = P$ , la ecuación (3) puede escribirse así:

$$I_{leche} = (p_l - p_g \cdot cg_r - p_p \cdot cp_r) \cdot V + [p_l + p_g \cdot (1 - cg_r) - p_p \cdot cp_r] \cdot G + [p_l - p_g \cdot cg_r + p_p \cdot (1 - cp_r)] \cdot P,$$

### *Ingresos por venta de carne*

Los ingresos por venta de carne proceden de la venta de vacas de desecho y de los terneros a los pocos días del nacimiento (7 días aproximadamente). Resulta:

$$I_{carne} = p_{vd} \cdot PV_{vd} \cdot \left( \frac{1}{L} - Mor_v \right) + p_{ter} \cdot \frac{365}{IP} \cdot (1 - Mor_t),$$

siendo:

$p_{vd}$  = precio vaca de desecho = 194 pts./kg peso vivo.

$L$  = Longevidad o vida productiva media (en años),

$p_{ter}$  = precio del ternero a los 7 días = 33.746 pts./cabeza,

$IP$  = Intervalo entre partos medio (en días),

$Mor_v$  = Mortalidad anual de vacas (en tanto por uno) = 0,034,

$Mor_t$  = Mortalidad anual de terneros (en tanto por uno) = 0,07.

El PV medio de la vaca de desecho ( $PV_{vd}$ ) se obtuvo mediante la ecuación (2), de Von Bertalanffy:  $PV_{vd} = PA \cdot h(t_D)$ , en la que se tomó como  $PA$  el peso adulto medio de todas las vacas del archivo F95, y como edad:  $t_D$  (edad media de desecho) =  $EPP + VP$ , siendo:

$EPP$  = edad media al primer parto (en días),

$VP$  = vida productiva media (en días).

Para  $L$  e  $IP$  se tomaron, así mismo, los valores medios de todas las vacas del archivo F95.

### *Costes por vaca*

Los costes por vaca ( $C_a$ ) se componen de tres apartados:

$C_a$  = Costes de alimentación de vacas (Calimentación vacas) + Costes de reposición (Creposición) + Otros costes por vaca (OCV).

### *Costes de alimentación de vacas*

Los costes de alimentación se han definido en términos de necesidades energéticas, expresándolos en energía neta (EN) de leche, y tomando como unidad la unidad forrajera leche (UFL), siguiendo las indicaciones del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA, 1981). Posteriormente el gasto energético, en UFL, se multiplicó

por el coste de la UFL de la ración utilizada por las vacas. Para este coste ( $p_{UFLV}$ ) se tomó el valor medio que figura en el cuadro 1:  $p_{UFLV} = 27,40$  pts./UFL.

Las necesidades energéticas pueden descomponerse en energía para la producción de leche (volumen de leche, grasa y proteína), energía para el mantenimiento ( $EM_v$ ), energía para el crecimiento ( $EC_v$ ) y energía para la gestación ( $EG_v$ ).

$$\begin{aligned} \text{Caliment. vacas} &= \text{EN total} \cdot p_{UFLV} = \\ &= (e_v \cdot V + e_g \cdot G + e_p \cdot P + EM_v + EC_v + EG_v) \cdot p_{UFLV}, \end{aligned} \quad (4) \text{ siendo:}$$

$e_v$  = energía para producir 1 kg de volumen de leche = 0,123 UFL,

$e_g$  = energía para producir 1 kg de grasa = 5,600 UFL,

$e_p$  = energía para producir 1 kg de proteína = 3,353 UFL.

Los valores anteriores ( $e_v$ ,  $e_g$  y  $e_p$ ) se han calculado partiendo de que 1 kg de leche estándar, con una composición de 40 g de grasa, 34 g de proteína y 48 g de lactosa, requiere para su producción un aporte energético de 9,52 kcal, 5,70 kcal y 4,02 kcal de EN por gramo de grasa, proteína y lactosa, respectivamente (DOMMERHOLT y WILMINK, 1986), y asignando la energía requerida por la lactosa al volumen de leche.

La energía neta necesaria para el mantenimiento se ha considerado, según INRA (1981), igual a 70 kcal de EN por kg de PV metabólico ( $PV^{0,75}$ ) por día, incrementada en un 10 por ciento, para tener en cuenta la actividad ocasionada por la estabulación libre. Es decir, la EN para mantenimiento durante un año fue:

$$\begin{aligned} EM_v &= 77 \cdot PV_t^{0,75} \cdot 365 \text{ (kcal de EN)} = \\ &= 0,0453 \cdot PV_t^{0,75} \cdot 365 \text{ (UFL), siendo:} \end{aligned}$$

$t_1$  = edad media de vacas en lactación en 1995.

Para el cálculo de la edad media de las vacas en lactación en 1995 se estudió la distribución de vacas, según su número de lactación, y se calculó el número de lactación media ( $L_m$ ) en dicho año. La edad media ( $t_1$ ) quedó definida en función de  $L_m$ :

$$t_1 = EPP + (L_m - 0,5) \cdot IP.$$

El PV medio de las vacas en lactación en 1995 fue, de acuerdo con la ecuación (2):

$PV_{t_1} = PA \cdot h(t_1)$ , y la energía para el mantenimiento:

$$EM_v = 0,0453 \cdot 365 \cdot PA^{0,75} \cdot [h(t_1)]^{0,75} \text{ (UFL)}.$$

Para el cálculo de la energía neta para el crecimiento ( $EC_v$ ) se consideraron las necesidades de una vaca en la lactación media ( $L_m$ ):

$EC_v = 6,70 \cdot (PV_{t_1} - PV_{t_{1-1}})$  (Mcal de EN) =  $3,94 \cdot (PV_{t_1} - PV_{t_{1-1}})$  (UFL), tomando para 1 kg de ganancia de PV el valor de 6.700 kcal de EN (INRA, 1981), y siendo  $PV_{t_1}$  y  $PV_{t_{1-1}}$  los PV medios en la lactación media ( $L_m$ ) y en la lactación anterior, respectivamente.

Expresando los pesos  $PV_{t_1}$  y  $PV_{t_{1-1}}$  de acuerdo con la ecuación (2) resulta:

$$EC_v = 3,94 \cdot PA \cdot [h(t_1) - h(t_1 - 365)] \text{ (UFL)}.$$

Las necesidades de energía para la gestación ( $EG_v$ ) requieren, según INRA (1981), un suplemento sobre las de mantenimiento de 0,9, 1,6 y 2,6 UFL/día en los meses 7º, 8º y 9º de gestación, respectivamente. Por tanto, resulta:

$$EG_v = (0,9 + 1,6 + 2,6) \cdot 30,5 = 155,55 \text{ UFL}.$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación (4), se obtiene para los costes de alimentación de vacas:

$$\text{Calimen. vacas} = \{0,123 \cdot V + 5,600 \cdot G + 3,353 \cdot P + 0,0453 \cdot 365 \cdot PA^{0,75} \cdot [h(t_i)]^{0,75} + 3,94 \cdot PA \cdot [h(t_i) - h(t_i - 365)] + 155,55\} \cdot p_{UFL,v}$$

### Costes de reposición

Los costes de reposición tienen en cuenta, por una parte, los costes de recría de una novilla (Crecreía) desde el nacimiento hasta la fecha de parto, y por otra parte la tasa de reposición anual (1/L), que depende de la longevidad:

$$\text{Creposición} = \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{1 - \text{Mor}_n} \cdot \text{Crecreía}, \text{ siendo:}$$

$\text{Mor}_n$  = mortalidad de novillas de reposición (en tanto por uno) = 0,046.

Los costes de recría (Crecreía) se pueden desglosar en costes de alimentación y otros costes por novilla (OCN):

$$\text{Crecreía} = \text{Energía Neta recría} \cdot p_{UFL,n} + \text{OCN}, \text{ siendo:}$$

$p_{UFL,n}$  el coste de la UFL en la ración utilizada para las novillas. Para este coste se tomó el valor medio que figura en el cuadro 1:  $p_{UFL,n} = 27,30$  pts./UFL.

En el apartado de otros costes por novilla (OCN) se incluyeron los siguientes:

Precio de la ternera (a los 7 días de edad) = 33.746 pts./cabeza.

Costes de inseminación = 4.231 pts./cabeza.

Costes en medicinas y veterinario = 4.170 pts./cabeza.

Costes en mano de obra = 25.506 pts./cabeza.

Otros costes (cama, etc.) = 13.981 pts./cabeza.

El total de OCN fue, por tanto, de 81.634 pts./novilla.

Los costes de alimentación en recría se calcularon, como los de las vacas, en función de las necesidades en EN:

Energía Neta recría = EN mantenimiento y crecimiento ( $\text{EMC}_n$ ) + EN para gestación ( $\text{EG}_n$ )

Las necesidades para mantenimiento y crecimiento ( $\text{EMC}_n$ ) se calcularon dividiendo el período de recría en cuatro períodos: nacimiento-6 meses, 6-12 meses, 12-18 meses y 18 meses-1º parto, debido a la gran variación de peso en el período total.

$$\text{EMC}_n = \sum_{i=1}^4 \text{EN}_i \cdot d_i, \text{ siendo:}$$

$\text{EN}_i$  = EN mantenimiento y crecimiento diario en el período  $i$ ,

$d_i$  = duración del período  $i$  (en días).

La energía  $\text{EN}_i$ , en cada período, se calculó siguiendo la metodología del INRA, expuesta por TROCCON (1987):

$$\text{EN}_i = [a_i + b_i \cdot \text{GPV}_i^{1,4}] \cdot \text{PV}_i^{0,75}, \text{ siendo:}$$

$\text{PV}_i$  = PV medio en el período  $i$ ,

$\text{GPV}_i$  = ganancia diaria de PV en el período  $i$ .

$a_i$  y  $b_i$  son parámetros que toman los siguientes valores:

$a_i = 0,042, b_i = 0,0435$ , cuando  $\text{PV}_i < 200$  kg,

$a_i = 0,040, b_i = 0,0415$ , cuando  $\text{PV}_i > 200$  kg.

En el presente caso es:  $a_1 = 0,042, b_1 = 0,0435$ , ya que es  $\text{PV}_1 < 200$  kg, y  $a_2 = a_3 = a_4 = 0,040, b_2 = b_3 = b_4 = 0,0415$ , ya que es:  $\text{PV}_4 > \text{PV}_3 > \text{PV}_2 > 200$  kg.

Teniendo en cuenta que  $t_i$  = edad media (en días) en el período  $i$ , toma los valores:

$$t_1 = 91, t_2 = 274, t_3 = 457, t_4 = \frac{183 \cdot 3 + \text{EPP}}{2},$$

y  $d_1 = d_2 = d_3 = 183$  días,  $d_4 = \text{EPP} - 549$ ,

las variables  $PV_i$  y  $GPV_i$  pueden expresarse mediante la ecuación (2) en función del PA:

$$PV_i = PA \cdot h(t_i),$$

$$GPV_1 = \frac{PA \cdot h(183) - PN}{183} = PA \cdot \frac{h(183) - 0.06}{183},$$

$$GPV_2 = PA \cdot \frac{h(366) - h(183)}{183},$$

$$GPV_3 = PA \cdot \frac{h(549) - h(366)}{183},$$

$$GPV_4 = PA \cdot \frac{h(EPP) - h(549)}{EPP - 549}.$$

La EN para gestación en las novillas ( $EG_n$ ), como en el caso de las vacas, se consideró:

$$EG_n = (0,9 + 1,6 + 2,5) \cdot 30,5 = 155,55 \text{ UFL}.$$

#### Otros costes por vaca

Hay una serie de costes por vaca que no dependen de los caracteres productivos o funcionales incluidos en el objetivo de selección (o cuya relación con dichos caracteres no es conocida), por lo cual se consideran iguales para todas las vacas. En estos costes se incluyen:

Costes de inseminación = 4.231 pts./vaca·año.

Costes de medicinas y veterinario = 7.151 pts./vaca·año.

Costes en mano de obra = 65.255 pts./vaca·año.

Otros costes (cama, ordeño, etc.) = 11.601 pts./vaca·año.

Los valores anteriores corresponden a la media de 239 explotaciones del País Vasco, en 1995, que se consideraron representativas del total de las mismas.

El total de otros costes por vaca fue, por tanto:

$$OCV = 88.238 \text{ pts./vaca·año}.$$

#### Sistema alternativo de cálculo de las necesidades energéticas

Aparte del sistema INRA de cálculo de las necesidades energéticas de mantenimiento, crecimiento y gestación para vacas y novillas, expuesto en los apartados anteriores, se utilizó otro método alternativo para dicho cálculo. Se quería comprobar con ello si el uso de fórmulas diferentes para evaluar las necesidades energéticas conducía a la obtención de resultados diferentes en el beneficio medio por vaca y año, y en los PE de los caracteres productivos y funcionales estudiados.

El sistema de evaluación energética alternativo se basó en las recomendaciones del National Research Council de Estados Unidos (NRC, 1978), y en una fórmula expuesta por GROEN (1988) para el cálculo de las necesidades de crecimiento de novillas. Las fórmulas utilizadas en este método, al que denominaremos "sistema NRC", fueron las siguientes:

Energía neta de mantenimiento para vacas y novillas (EM):

$$EM = 80 \cdot PV^{0.75} \text{ (kcal de EN/día)} = 0,047 \cdot PV^{0.75} \text{ (UFL/día)}.$$

Energía neta de crecimiento para vacas ( $EC_v$ ):

$$EC_v = 5,12 \text{ Mcal de EN/ kg de ganancia de PV} = 3,01 \text{ UFL/ kg de ganancia de PV}.$$

Energía neta extra para gestación en vacas ( $EG_v$ ) (4 últimos meses):

$$EG_v = 24 \cdot PV^{0.75} \text{ (kcal de EN/día)} = 0,0141 \cdot PV^{0.75} \text{ (UFL/día)}.$$

Energía neta de crecimiento para novillas ( $EC_n$ ), según Groen (1988):

$EC_n = 17,26$  MJ de EN/ kg de ganancia de PV = 2,43 UFL/kg de ganancia de PV.

La fórmula anterior incluye también la energía neta necesaria para la gestación en las novillas.

La energía neta necesaria para la producción de leche se calculó, tanto en uno como en otro sistema, utilizando los valores  $e_v$ ,  $e_g$  y  $e_p$ , expuestos anteriormente, y calculados por DOMMERHOLT y WILMINK (1986).

### Cálculo de los pesos económicos

Para calcular los PE de los caracteres animales que intervienen en el beneficio económico (o función de beneficio) se derivó la ecuación (1), tomando como variable independiente el carácter a considerar, y dejando los demás caracteres constantes e iguales al valor medio en la población estudiada.

Así, por ejemplo, para el carácter  $x$  sería:

$$\frac{\partial B}{\partial x} = N \cdot \left( \frac{\partial I_a}{\partial x} - \frac{\partial C_a}{\partial x} \right) + \frac{\partial N}{\partial x} \cdot (I_a - C_a),$$

y para el peso económico de  $x$  resultaría:

$$\begin{aligned} \text{PE de } x &= \text{PE}_x = \\ &= \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial B}{\partial x} = \frac{\partial I_a}{\partial x} - \frac{\partial C_a}{\partial x} + \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial N}{\partial x} \cdot (I_a - C_a), \end{aligned} \quad (5)$$

El producto  $\frac{1}{N} \cdot \frac{\partial N}{\partial x} \cdot (I_a - C_a)$ , que aparece en la fórmula (5) es una consecuencia de la existencia de una cuota ( $Q$ ) de producción de leche por explotación, que hace que  $N$  dependa de  $x$ , en el caso de que dicha variable esté afectada por la cuota.

Actualmente, en la UE existe una limitación a la producción de leche por explotación, que tiene en cuenta no sólo el volumen de

leche producido, sino también el contenido graso de la misma, con relación a un nivel de referencia. Concretamente, se aplica la fórmula siguiente:

$$Q = N \cdot Y \cdot [1 + k_g \cdot (cg - cg_r)], \quad (6)$$

siendo  $k_g$  un factor de conversión de décimas de contenido graso en kg de leche, con un valor igual a 18. Para el estado español, el contenido graso de referencia, según se mencionó anteriormente, es:  $cg_r = 0,037$  kg graso/ kg leche. Un incremento genético en la producción de leche por vaca ( $Y$ ) debe ir, por tanto, acompañado por una reducción en el número de vacas, de forma que la cuota por explotación ( $Q$ ) permanezca constante. Esta relación entre  $Y$  y  $N$  afecta a todos los caracteres productivos: volumen de leche, grasa y proteína.

Para los caracteres funcionales (longevidad y peso adulto), que no están afectados por la cuota, resulta  $\frac{\partial N}{\partial x} = 0$ , y la fórmula (5) queda reducida a:

$$\text{PE de } x = \text{PE}_x = \frac{\partial I_a}{\partial x} - \frac{\partial C_a}{\partial x}.$$

Los cálculos realizados para obtener los PE se detallan en el Apéndice 1. En ellos se utilizaron las ecuaciones del sistema INRA para evaluar las necesidades energéticas de los animales. También se calcularon los PE de los caracteres, usando las ecuaciones del sistema NRC de evaluación de necesidades energéticas, aunque no se detallan los cálculos, ya que el proceso es igual al realizado con las ecuaciones INRA.

### Sensibilidad de los pesos económicos a cambios en las condiciones de producción

Utilizando el modelo de producción anteriormente descrito, y las fórmulas para la

obtención de los PE de los caracteres estudiados, que se detallan en el Apéndice 1, se hizo un estudio de sensibilidad de dichos PE frente a diversos cambios en las condiciones del sistema de producción.

En primer lugar se consideró la situación de no existencia de cuota lechera por explotación. En ese caso el número de vacas lecheras en la explotación dejará de estar condicionado a la producción de leche por vaca (Y), que indica la fórmula (6), y lo mismo cabe decir de los demás caracteres productivos: V, G y P. Por tanto, para estos caracteres ocurrirá que es:  $\frac{\partial N}{\partial x} = 0$ , siendo x el carácter considerado, y la fórmula (5), que da el PE del carácter, se reduce a:

$$PE \text{ de } x = PE_x = \frac{\partial I_a}{\partial x} - \frac{\partial C_a}{\partial x}.$$

En segundo lugar, considerando la situación actual de existencia de cuota lechera, se estudió la variación de los PE de los caracteres al variar algunas de las condicio-

nes de producción. En concreto, se consideraron reducciones e incrementos de un 20 por ciento en los valores de la producción de leche, longevidad, peso adulto, precio base de la leche, precio de la vaca de desecho y coste de la UFL de la ración, sobre los valores medios de la situación base encontrados para la población de vacas estudiada, en el año 1995.

## Resultados

### Análisis fenotípico de la población de vacas en estudio a lo largo del tiempo

En el cuadro 2 aparecen los valores de las variables productivas, de la longevidad y del peso adulto de las vacas del País Vasco y Navarra, que estaban en producción en los años 1985, 1990 y 1995, para comparar su evolución en el transcurso del tiempo.

Cuadro 2. Evolución de las variables productivas, de la longevidad y del peso adulto en la población de vacas estudiada a lo largo del tiempo

Table 2. Evolution on time of the productive variables, longevity and mature body weight in the cow population studied

	Año		
	1985	1990	1995
Producción de leche (kg/vaca-año) <sup>1</sup>	4.980	6.284	7.774
Producción de grasa (kg/vaca-año) <sup>1</sup>	179	241	293
Producción de proteína (kg/vaca-año) <sup>1</sup>	153	190	242
Longevidad (años) <sup>2</sup>	6,04	5,01	4,74
Peso adulto (kg)	607,5	642,1	648,0
Edad al primer parto (días)	851,2	852,8	854,1
Intervalo entre partos medio (días) <sup>2</sup>	403,9	398,1	400,8
Duración media de la lactación (días) <sup>2</sup>	304,7	306,1	315,9

(1) Producciones por lactación, en el año correspondiente.

(2) Datos relativos al total de la vida productiva.

Se aprecia un continuado aumento de las producciones de leche, grasa y proteína, y también se aprecia un aumento en la duración media de la lactación, desde los 305 hasta los 316 días, a pesar de que el intervalo entre partos se ha mantenido prácticamente invariable, alrededor de los 400 días. Esto quiere decir que el período de secado, improductivo, se ha ido reduciendo paulatinamente.

La edad al primer parto se ha mantenido casi invariable, en torno a los 850 días (28 meses), y en cuanto a la longevidad o vida productiva se aprecia un claro descenso desde los 6 a los 4,7 años.

El peso adulto de las vacas ha aumentado desde los 607 hasta los 648 kg. Sin embargo el aumento del peso adulto ha sido bastante

más reducido en el período 1990-95 (6 kg) que en el período 1985-90 (35 kg).

### Niveles productivos en la situación base

En el cuadro 3 se exponen los valores medios de las variables productivas y funcionales introducidas en el modelo, en el año 1995, para la población de vacas estudiada.

Las producciones medias de leche, grasa y proteína (corregidas a 365 días) resultaron ser de 7.350, 277 y 228 kg/vaca-año, respectivamente, la longevidad media de 4,74 años, y el peso vivo adulto medio de las vacas de 647,98 kg.

Cuadro 3. Niveles medios de las variables productivas, longevidad y peso adulto en la población de vacas estudiada, referidos al año 1995 (situación base)

Table 3. Mean levels of the productive variables, longevity and mature weight in the cow population studied, relatives to the year 1995 (base situation)

	Media	Desv. típica
<b>Caracteres estudiados</b>		
Producción de leche <sup>1</sup> (kg/vaca-año)	7.350	2.157,10
Producción de volumen de leche <sup>1</sup> (kg/vaca-año)	6.845	2.014,30
Producción de grasa en leche <sup>1</sup> (kg/vaca-año)	277	83,90
Producción de proteína en leche <sup>1</sup> (kg/vaca-año)	228	68,80
Longevidad <sup>2</sup> (años)	4,74	2,02
Peso adulto (kg)	647,98	53,83
<b>Otras variables productivas</b>		
Intervalo entre partos medio <sup>2</sup> (días)	400,81	44,10
Edad al primer parto (días)	854,07	109,05
Número lactación medio en 1995	3,01	1,87
Duración de lactación en 1995 (días)	310,91	64,08
Número total de lactaciones <sup>2</sup>	4,61	1,91
Total de días en lactación <sup>2</sup>	1.443,37	598,42

(1) Producciones corregidas a 365 días, en el año 1995.

(2) Datos relativos al total de la vida productiva.

### Resultados económicos

En el cuadro 4 se señalan las necesidades de energía neta alimentarias, deducidas mediante dos sistemas diferentes de evaluación. Utilizando el sistema INRA, dichas necesidades fueron de 5.463,03 UFL/año para las vacas, y de 3.997,34 UFL/Ud. de recría para las novillas (del nacimiento al primer parto). Utilizando el sistema NRC, las necesidades respectivas fueron de 5.597,33 UFL/año para las vacas, y de 4.330,47 UFL para las novillas. Es decir, con el sistema NRC las necesidades energéticas resultaron ligeramente más altas que con el sistema INRA, y esto se reflejó en los gastos de alimentación de vacas y de reposición, que resultaron más altos con el sistema NRC.

En el cuadro 5 se reflejan los resultados económicos obtenidos con el modelo de análisis, en la situación base (año 1995).

Como consecuencia de lo señalado anteriormente los costes de alimentación de vacas y de reposición fueron ligeramente más bajos con el sistema de evaluación INRA que con el sistema NRC, y por tanto el beneficio obtenido por vaca y año fue mayor con el primer sistema. Dicho beneficio fue de 75.150,22 pts./vaca-año y de 69.459,22 pts./vaca-año, para los sistemas INRA y NRC, respectivamente.

Los ingresos por venta de leche representaron el 86 por ciento del total, mientras que los ingresos por venta de carne (terneros y vacas de desecho) representaron solamente el 14 por ciento.

Cuadro 4. Necesidades de energía neta de vacas y novillas, según dos sistemas de evaluación energética

Table 4. Net energy requirements for cows and heifers, according to two systems of energy feeding norms

	Sistema de evaluación energética	
	Sistema INRA	Sistema NRC
Vacas (UFL/vaca-año)		
Producción de leche	3.157,62	3.157,62
Mantenimiento	2.110,32	2.189,52
Crecimiento	39,54	30,21
Gestación	155,55	219,98
Total energía neta para vacas	5.463,03	5.597,33
Novillas (UFL/novilla)		
Mantenimiento y crecimiento	3.841,79	4.330,47
Gestación	155,55	(1)
Total energía neta para novillas	3.997,34	4.330,47

(1) En el sistema NRC las necesidades de gestación de las novillas van incluidas en las de mantenimiento y crecimiento.

Cuadro 5. Resultados económicos en la situación base (pts./vaca-año), según dos sistemas de evaluación energética

Table 5. Economic results in the base situation (pts./cow-year), according to two systems of energy feeding norms

	Sistema de evaluación energética	
	Sistema INRA	Sistema NRC
<b>Ingresos</b>		
Leche	304.457,00	304.457,00
Carne	50.803,78	50.803,78
Ingresos totales	355.260,78	355.260,78
<b>Costes</b>		
Alimentación de vacas	149.687,02	153.366,84
Reposición	42.185,54	44.196,72
Otros costes por vaca	88.238,00	88.238,00
Total costes por vaca	280.110,56	285.801,56
Beneficio por vaca	75.150,22	69.459,22

En el capítulo de costes, los de alimentación de vacas representaron el 53 por ciento del total de costes por vaca, mientras que los de reposición (gran parte de los cuales eran alimentarios) supusieron el 15 por ciento del total de dichos costes. Añadiendo los costes alimentarios de la reposición a los de alimentación de vacas, el total de costes alimentarios representó el 62 o el 63 por ciento del total de costes por vaca, según los sistemas de evaluación INRA o NRC, respectivamente.

### Pesos económicos de los caracteres estudiados

En el cuadro 6 se presentan los PE de los caracteres productivos y funcionales incluidos en el modelo de análisis.

El sistema de evaluación utilizado para calcular las necesidades de EN en alimento influyó poco en los PE obtenidos, que fueron, en general, ligeramente más altos para el sistema NRC. La mayor diferencia se encontró para el PE de la grasa (un 17 por ciento más alto con el sistema NRC). Los PE obtenidos para la proteína y el PA fueron prácticamente iguales con ambos sistemas de evaluación: 454 y -76,50 pts./kg.vaca-año, respectivamente.

En el cuadro 6 se muestran además los PE relativos de cada carácter, obtenidos multiplicando el PE absoluto por la desviación típica correspondiente, y dividiendo el producto por el valor correspondiente a la proteína. Estos PE relativos dan una idea de la importancia económica de cada carácter, con vista a su inclusión en un índice de selección por mérito económico.

Cuadro 6. Pesos económicos (absolutos y relativos) de los caracteres productivos, de la longevidad y del peso adulto, según dos sistemas de evaluación energética  
 Table 6. Economic weights (absolute and relative) of the productive traits, longevity and mature weight, according to two systems of energy feeding norms

	Sistema de evaluación energética	
	Sistema INRA	Sistema NRC
Pesos económicos (pts./kg·vaca·año) (1)		
Producción de leche	19,44	20,21
Volumen de leche	2,48	2,73
Grasa	80,61	94,64
Proteína	453,98	454,23
Longevidad	9,07	10,23
Peso adulto	-76,54	-76,57
Pesos económicos relativos (2)		
Volumen de leche	0,16	0,18
Grasa	0,22	0,25
Proteína	1,00	1,00
Longevidad	0,21	0,24
Peso adulto	-0,13	-0,13

(1) Para la longevidad el resultado se expresa en pts./vaca·año·día de vida productiva.

(2) Pesos económicos de las desviaciones típicas, con relación al de la proteína.

Se aprecia que el PE de la proteína es claramente superior al de los demás caracteres, siendo 4,5 veces el de la grasa, que ocupa el segundo lugar. Se aprecia también la importancia económica de la longevidad, cuyo peso es casi tan importante como el de la grasa.

El PE relativo del peso adulto, aunque ocupa el último lugar, no deja de ser importante, con un valor (negativo) casi equiparable al del volumen de leche.

#### Sensibilidad de los pesos económicos a cambios en las condiciones de producción

En el cuadro 7 se refleja cómo varían los PE de los caracteres estudiados al cambiar

alguna de las condiciones del sistema de producción. Los valores expuestos se obtuvieron utilizando el sistema INRA para el cálculo de las necesidades energéticas de los animales.

En el supuesto de que no existiese limitación de cuota lechera, los PE del volumen de leche y de la grasa serían considerablemente más altos que los obtenidos en la situación base, con existencia de cuota. Sin embargo el PE de la proteína apenas se vería alterado. Los PE de los caracteres funcionales (longevidad y peso adulto) no son alterados por la existencia de cuota lechera, según se explicó anteriormente.

En la condición de existencia de cuota lechera los PE del volumen de leche y de la

Cuadro 7. Pesos económicos de los caracteres productivos, de la longevidad y del peso adulto, en la situación base, en el caso de no existencia de cuota, y sensibilidad de los mismos a cambios en los niveles de producción, en los precios de los productos y en el coste del alimento, en condiciones de existencia de cuota

*Table 7. Economic weights of the productive traits, longevity and mature weight, in the base situation, without milk quota limitation, and sensitivity of the economic weights to changes in production levels, product prices and feed cost, with milk quota limitation*

Alternativa	Carácter				
	Volumen <sup>1</sup>	Grasa <sup>1</sup>	Proteína <sup>1</sup>	Longevidad <sup>2</sup>	Peso adulto <sup>1</sup>
Sin cuota lechera	5,85	265,78	457,35	9,07	-76,54
Con cuota lechera					
Situación base	2,48	80,61	453,98	9,07	-76,54
Producción leche					
-20%	4,08	168,57	455,58	9,07	-76,54
+20%	1,41	21,98	452,91	9,07	-76,54
Longevidad					
-20%	2,69	92,16	454,19	14,23	-78,73
+20%	2,34	73,24	453,84	6,29	-76,03
Peso adulto					
-20%	2,04	56,61	453,54	9,21	-76,80
+20%	2,93	105,47	454,43	9,38	-78,85
Precio de la leche					
-20%	-3,04	221,30	448,46	9,07	-76,54
+20%	7,99	-60,33	459,49	9,07	-76,54
Precio vaca desecho					
-20%	2,68	91,57	454,18	12,13	-83,39
+20%	2,28	69,66	453,78	6,01	-69,68
Coste del alimento					
-20%	1,59	25,65	470,79	6,28	-54,37
+20%	3,36	135,58	437,16	11,86	-98,70

(1) Valores expresados en pts./kg-vaca-año.

(2) Valores expresados en pts./día de vida productiva-vaca-año.

grasa se ven afectados considerablemente por cambios en el nivel de producción de leche por vaca, y por cambios en el precio de la leche y del coste del alimento. Sin embargo el PE de la proteína sólo es afectado, de cierta consideración, por el coste del alimento.

Los PE de los caracteres funcionales (longevidad y peso adulto) se ven notablemente afectados por el precio de la vaca de

desecho y por el coste del alimento. Además el PE de la longevidad se ve afectado por el nivel de dicho carácter, aumentando cuando la longevidad disminuye, y viceversa. Sin embargo, el nivel de longevidad afecta poco al PE del peso adulto.

La variación en el peso adulto medio de las vacas afecta sólo ligeramente a los PE de la longevidad y del peso adulto.

## Discusión

### Evolución de las variables productivas y funcionales a lo largo del tiempo

La población de vacas estudiada mostró un aumento del 56 por ciento en la producción de leche entre los años 1985 y 1995 y un aumento equivalente, o incluso superior, en las producciones de grasa y proteína (cuadro 2). Al mismo tiempo se apreció un aumento del 7 por ciento en el PA de las vacas, desde 607 hasta 648 kg.

Se han observado correlaciones positivas entre el PV y los caracteres productivos en diversos trabajos, tanto a nivel fenotípico (MEYER *et al.*, 1987; SIEBER *et al.*, 1988), como genotípico (AHLBORN y DEMPFLÉ, 1992; VEERKAMP y BROTHERSTONE, 1997). Por ello no es de extrañar el aumento del PA ocurrido en la población estudiada, en la que el principal objetivo de selección ha sido el nivel de producción de leche.

El aumento del PA fue mayor en los 5 primeros años (35 kg) que en los 5 últimos (6 kg). Ese mayor aumento ocurrido en los 5 primeros años pudo ser debido a una mayor penetración de genes Holstein-Friesian en la población entre los años 1985-90 que entre los 1990-95. Sabido es que un aumento en el porcentaje de genes Holstein-Friesian trae consigo un aumento considerable en el PV de las vacas (GROEN y VOS, 1995).

El aumento en la producción de leche observado en los últimos 5 años fue de un 24 por ciento, mientras que el del PA (o su equivalente el PV) fue de sólo un 1 por ciento. Con la introducción del PA en el objetivo de selección, en el que vendrá acompañado de un PE negativo, se persigue reducir el aumento del PA, manteniendo al mismo tiempo un aumento en producción de leche. Si esto es posible, se conseguirá hacer máximo el bene-

ficio económico obtenido por vaca y año de vida productiva, que es el fin último de la selección genética en vacuno lechero.

En el cuadro 2 se observa también un claro descenso en la longevidad o vida productiva, desde los 6 a los 4,7 años. Teniendo en cuenta el alto PE de la longevidad, que resultó ser de 3.311 pts./vaca·año-año de vida productiva (cuadro 6), y que el PE de la producción de leche fue de 19,44 pts./kg·vaca·año, el descenso de 1,3 años de vida productiva resulta equivalente a la producción de 221,4 kg de leche por vaca y año. Habría que indagar en las causas que han incidido en ese descenso, estudiando los motivos de desecho de las vacas. Si ese desecho es debido fundamentalmente a causas involuntarias (no relacionadas con el nivel de producción), como son las enfermedades o la infertilidad, habría que intentar reducirlo en el proceso de selección.

### Influencia del sistema de evaluación de las necesidades energéticas

Las necesidades totales de EN para vacas fueron de 5.463,03 y 5.597,33 UFL/año, para los sistemas INRA y NRC, respectivamente, para una producción media de leche de 7.350 kg por vaca y año, y que correspondía a vacas cuyo número de lactación medio era 3,01. Esto representa una eficiencia biológica de 0,74 y 0,76 UFL/kg de leche para ambos sistemas, respectivamente. Las cifras anteriores concuerdan con la eficiencia biológica de 0,76 UFL/kg de leche obtenida por GROEN (1988), para una producción de leche de 6.754 kg por vaca y año, para una vaca en su tercera lactación. Groen obtuvo sus datos con un modelo de análisis económico aplicado a la población de vacuno lechero Frisón en Holanda.

La distribución de la EN total requerida, para los capítulos de lactación, mantenimiento, crecimiento y gestación, fue de un 57,8, 38,6, 0,7 y 2,9 por ciento, respectivamente, según el sistema INRA, y de un 56,4, 39,1, 0,6 y 3,9 por ciento, respectivamente, según el sistema NRC. (Ver cuadro 4). Estas cifras concuerdan con las obtenidas por GROEN (1988) para esos mismos capítulos, que fueron de un 57,1, 38,1, 0,7 y 4,1 por ciento, respectivamente.

Las necesidades totales de EN para criar una novilla, desde el nacimiento hasta el primer parto, fueron de 3.997,34 y 4.330,47 UFL, para los sistemas INRA y NRC, respectivamente. Teniendo en cuenta que la edad media al primer parto fue de 854 días (28 meses), las necesidades medias diarias resultaron ser de 4,68 y 5,07 UFL, para ambos sistemas, respectivamente. Estas cifras concuerdan con las obtenidas por GROEN (1988) con su modelo, que fueron de 3.483 UFL, para una edad al primer parto de 24 meses. lo cual equivale a 4,77 UFL/día.

Teniendo en cuenta que las necesidades energéticas obtenidas con ambos sistemas de evaluación fueron bastante semejantes, y que los PE de los caracteres productivos y funcionales estudiados resultaron también muy similares (ver cuadro 6), puede concluirse que los dos sistemas pueden aceptarse como válidos para el cálculo, en el modelo propuesto. Sin embargo, como el sistema de evaluación INRA está más difundido en España que el NRC parece más aconsejable dar preferencia a los PE obtenidos con aquel sistema, y a ellos se hará referencia en los apartados siguientes.

### **Peso económico del peso adulto**

El PE del peso adulto encontrado en el presente estudio fue de -76,54 pts./kg·vaca·año, equivalente a -0,46 eur./kg·vaca·año.

En una revisión de trabajos sobre el PE del PV realizada por KOENEN *et al.* (2000) se encontró una variación muy amplia para dicho valor: de -1,28 a 0,02 eur./kg·vaca·año (de -213,00 a 3,30 pts./kg·vaca·año). Esta variación es debida a que el PE del PV es muy dependiente de diversos factores, entre los que cabe citar: los precios supuestos para los alimentos y para la carne de vacuno, la existencia de exigencias medio-ambientales que limitan el exceso de abonado, encareciendo el coste marginal de alimentación, y también la existencia de limitaciones en la cantidad de forraje disponible (GROEN *et al.*, 1997).

En el presente trabajo se ve que los precios de la carne de la vaca de desecho y del coste del alimento afectan notablemente al PE del PA, que oscilaría entre -54,37 y -98,70 pts./kg·vaca·año (-0,33 y -0,59 eur./kg·vaca·año). (Ver cuadro 7). GROEN (1989a,b) también comprobó que los precios de la carne de vaca de desecho y del alimento afectaban notablemente al PE del PA.

Dentro de los trabajos citados en la revisión anterior se encuentra el de GROEN (1989b), que obtiene para el PE del PV la cifra de -0,42 eur./kg·vaca·año, refiriéndose a una situación de base de las explotaciones del vacuno Frisón en Holanda. Dicho valor es muy semejante al encontrado en el presente trabajo, y entraría dentro del intervalo de valores encontrado en el estudio de sensibilidad expuesto en el cuadro 7.

Entre los trabajos de la citada revisión destacan los altos valores (en valor absoluto; bajos teniendo en cuenta el signo negativo) encontrados por VEERKAMP (1996) para la población de vacuno Frisón en el Reino Unido: -0,54 y -0,68 eur./kg·vaca·año, para producciones medias de leche de 5.500 y 7.700 kg/vaca·año, respectivamente. La diferencia entre ambos valores es debida seguramente a diferencias en la dieta ali-

mentaria, que se encarece al aumentar el nivel de producción.

En el otro extremo de valores cabe citar el encontrado por HARRIS (1998):  $-0,20$  eur./kg.vaca-año, para las condiciones de producción de Nueva Zelanda, en las que la dieta alimentaria está basada en el pasto, alimento de bajo coste por unidad energética.

CHARFEDDINE (1998) en un trabajo realizado con datos de una parte de la población de vacas de este mismo estudio (las correspondientes al País Vasco, sin Navarra) encontró para el PE del PA el valor de  $-0,34$  eur./kg.vaca-año ( $-57,00$  pts./kg.vaca-año), algo inferior (en valor absoluto) al del presente trabajo. La causa de la discrepancia puede ser, aparte de la diferencia en la población de vacas estudiada, el distinto precio aplicado a la UFL en la alimentación de las novillas, que fue de  $25,90$  pts. en el trabajo de Charfeddine y de  $27,30$  pts. en el presente estudio. En el apartado del Apéndice I, donde se detalla el cálculo del PE del PA, puede verse que el precio de la UFL de la ración de las novillas influye en la variación de los costes de reposición al variar el PA, y por tanto en el PE del mismo.

La variación en el peso adulto medio de las vacas afectaría sólo ligeramente al PE del peso adulto, con un descenso del 3 por ciento (aumento en valor absoluto) al aumentar el PA un 20 por ciento, en las condiciones de producción del presente estudio.

GROEN (1989b) encontró que el PE del PA aumentaba un 5 por ciento (disminuía en valor absoluto) al aumentar un 20 por ciento el PA, y que disminuía un 10 por ciento (aumentaba en valor absoluto) al disminuir un 20 por ciento el PA. La discrepancia de estos resultados con los del presente estudio radica seguramente en que en el modelo utilizado por GROEN (1988) se tenía en cuenta las proporciones relativas de forraje y con-

centrado en la dieta de las vacas, según su producción de leche, y esto afectaba al coste de la alimentación.

Del estudio de sensibilidad de los PE a las condiciones de producción, cuyo resultado se refleja en el cuadro 7, parece deducirse que el PE del peso adulto es bastante estable a cambios en dichas condiciones, con la excepción del precio de la vaca de desecho y del coste del alimento. De estos dos factores seguramente es el coste del alimento el que puede presentar una mayor variación, al comparar unas explotaciones con otras, y por tanto eso requeriría usar diferentes PE del PA en el objetivo de selección (o genotipo agregado), según la explotación considerada. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mejora en el rendimiento económico que se busca con la mejora genética del ganado va dirigida a explotaciones que trabajan a un nivel próximo a la máxima eficiencia económica (SMITH *et al.*, 1986), y que por tanto están usando ya el alimento apropiado que tiene el menor coste. Si una explotación puede mejorar su rendimiento económico usando un alimento más barato, debería hacerlo, sin pretender usar la mejora genética, que es una herramienta de efecto a medio plazo, para subsanar su ineficiencia en la alimentación.

### **Importancia relativa del peso adulto frente a los caracteres productivos**

Un modo de valorar la importancia relativa de los caracteres que intervienen en el objetivo de selección (o genotipo agregado) es el de calcular el valor económico de las desviaciones genotípicas estándar de los respectivos caracteres, y después dividir dichos valores por el correspondiente a uno de ellos, por ejemplo: el de la producción de proteína en la leche. (Ver, por ejemplo VISSCHER *et al.*, 1994).

En el presente trabajo no se disponía de las desviaciones genotípicas estándar de los caracteres de interés para el objetivo de selección, ya que no se realizó el análisis de los datos para estimar los correspondientes parámetros genéticos. Sin embargo sí se disponía de las desviaciones típicas correspondientes a dichos caracteres (cuadro 3), por lo cual podía calcularse el valor económico de las mismas (multiplicándolas por su correspondiente PE), y ver así su valor económico relativo (cuadro 6). Estos pesos económicos relativos (PER), así determinados, no son tan indicativos, a efectos de la importancia económica en el proceso de selección, como los correspondientes a las desviaciones genotípicas estándar, pero están muy relacionados con ellos, ya que se verifica que:  $s_g = h^2 \cdot s_p$ , siendo  $s_g$  y  $s_p$  las desviaciones genotípica y fenotípica estándar, y  $h^2$  la heredabilidad correspondiente. Por tanto, si los caracteres estudiados tuvieran todos la misma heredabilidad ( $h^2$ ) los PE relativos determinados mediante las desviaciones fenotípicas coincidirían con los calculados con las desviaciones genotípicas estándar.

En el presente trabajo el PER del PA resultó ser el 13 por ciento del de la proteína, y algo inferior a los del volumen de leche y de la grasa (cuadro 6). Aunque estos PER se han calculado a partir de las desviaciones fenotípicas, seguramente no diferirán mucho de los calculados a partir de las desviaciones genotípicas estándar, ya que la heredabilidad del PA en la población de vacuno Frisón española será probablemente muy similar a las de la grasa y la proteína en dicha población. CHARFEDDINI (1998), en un análisis de datos de vacas del País Vasco, Navarra, Cantabria y Galicia, encontró para la grasa, la proteína y el carácter morfológico Tamaño heredabilidades de 0,26, 0,28 y 0,23, respectivamente. Por otra parte, en un estudio preliminar reali-

zado sobre la misma población de vacas aquí analizada, Pérez-Cabal (comunicación personal) ha encontrado para la producción de leche y para el PA de las vacas heredabilidades de 0,34 y 0,32, respectivamente.

En otros trabajos en los que se estudiaron los PE del PA y de los caracteres productivos se encontró que el PER del PA estaba entre el 16 y el 30 por ciento del PE de la proteína (con signo negativo), y era ligeramente inferior al de la grasa (GROEN, 1990; VEERKAMP, 1996; SPELMAN y GARRICK, 1997). Sin embargo, en el trabajo de VISSCHER *et al.* (1994), que trataba de reflejar las condiciones de las explotaciones lecheras australianas, en las que la producción total de pasto está limitada, el PA tuvo un PER más elevado, llegando a ser el 52 por ciento del de la proteína, y quedando por encima de los del volumen de leche y de la grasa, que fueron el 40 y el 41 por ciento del de la proteína, respectivamente.

### Método de determinación del peso adulto

Ya se ha visto en el apartado de material y métodos que el valor del PA es fundamental para poder determinar con cierta precisión las necesidades energéticas de las vacas, las necesidades energéticas de la recría, el valor de las vacas de desecho, el beneficio medio por vaca y año, y también el PE de dicho PA. Se ha visto también que es posible determinar con bastante precisión el PA de los animales a partir del PV de los mismos a una cierta edad, mediante la ecuación de Von Bertalanffy (BROWN *et al.*, 1976; KORVER *et al.*, 1985). El problema radica en la determinación del PV de los animales sin tener que recurrir al uso de básculas, que normalmente no existen en las explotaciones lecheras.

En este trabajo se calculó el PV de las vacas en el momento de su calificación mor-

fológica, partiendo de la nota de Tamaño aplicada por los técnicos de CONAFE, y transformando dicha nota en kilos de PV mediante una escala de conversión (CONAFE, 1998), en la que cada unidad equivale a 30 kg de PV. KOENEN y GROEN (1998) encontraron una correlación genética alta (0,59) entre el PV y el carácter morfológico Tamaño, determinado visualmente, pero utilizaron para éste una escala que iba de 65 a 100. En trabajos realizados en Nueva Zelanda, en ganado Holstein-Friesian (AHLBORN y DEMPFLÉ, 1992), se encontró una correlación genética muy alta (0,92) entre el PV y la altura a la cruz, siendo ambos caracteres valorados visualmente. Sin embargo, en la escala del PV, que también iba de 1 a 9, cada unidad equivalía a 50 kg de PV.

En el presente trabajo se encontró para el PA de la población de vacas estudiada el valor medio de 648 kg. En un trabajo realizado sobre el vacuno Frisón holandés, con novillas nacidas entre 1982 y 1990, y que parieron a los 24 meses de edad, GROEN y Vos (1995) encontraron un PV al parto (2 días después) de 508 kg y un efecto genético de unos 26 kg entre las novillas de tipo Frisón europeo y las que tenían un 80-100% de genes Holstein-Friesian. Es decir, el PV al primer parto para unas y otras sería de 495 y 521 kg, respectivamente. Teniendo en cuenta que el PV a los 24 meses de edad viene a ser un 80 por ciento del PA (GROEN, 1988; TROCCON, 1993), los PA respectivos para cada grupo genético serían de 619 y 651 kg. Por tanto el PA encontrado en el presente trabajo encaja bien con los valores encontrados para una población de vacas que ha tenido una evolución similar a la nuestra, y casi coincidiría con el del grupo genético de mayor porcentaje de genes Holstein-Friesian.

No obstante lo expuesto, sería de gran interés a nivel nacional, con vistas a la futu-

ra inclusión del PV en el objetivo de selección, la realización de experimentos que validaran la escala de conversión del Tamaño en PV, incluida en el Manual de Calificación Lineal de CONAFE (CONAFE, 1998), para la población Frisona española. Para ello habría que determinar en un amplio número de vacas Frisonas españolas su PV con precisión, bien directamente con básculas, o bien indirectamente mediante otras mediciones muy correlacionadas con el mismo, como son el perímetro torácico o la altura a la cruz (HEINRICHS *et al.*, 1992; HIE-TANEN y OJALA, 1995). Al mismo tiempo se haría la calificación morfológica de tipo habitualmente realizada por los técnicos de CONAFE, que incluye, aparte del Tamaño, otros caracteres que parecen estar muy correlacionados genéticamente con el PV, como son la estatura (altura de grupa), la anchura de pecho, la profundidad corporal y la anchura de grupa (VEERKAMP y BROTH-ERSTONE, 1997; KOENEN y GROEN, 1998).

## Conclusiones

- Se desarrolló un modelo económico que permite estudiar la rentabilidad obtenida por vaca y año, a nivel de explotación, en las explotaciones lecheras del País Vasco y Navarra. En dicho modelo intervienen tres caracteres productivos de los animales (volumen de leche, grasa y proteína) y dos caracteres funcionales (peso adulto de las vacas y longevidad). El modelo permite además, de forma sencilla, el cálculo de los pesos económicos de dichos caracteres.

- La utilización de dos sistemas diferentes de evaluación energética de las necesidades animales no varió apenas los pesos económicos obtenidos para los caracteres productivos y funcionales estudiados.

- El carácter con mayor peso económico relativo fue la producción de proteína en leche, cuyo PE relativo fue unas 4,5 veces el de la grasa, que ocupó el segundo lugar.

- El PE obtenido para el peso adulto fue de  $-76.54$  pts./kg·vaca-año ( $-0,46$  eur./kg·vaca-año). Este valor representa un 13 por ciento del obtenido para la proteína, y queda muy próximo en valor relativo al obtenido para el volumen de leche. Por tanto parece evidente que el PA de las vacas debería ser incluido en un índice económico de selección para mejorar la rentabilidad de las explotaciones lecheras.

- El PE del peso adulto parece bastante estable a cambios en los niveles de producción de leche, longevidad, peso adulto y precio de la leche, pero se ve afectado por cambios en el precio de la carne de la vaca de desecho, y sobre todo por el coste del alimento.

- Parece observarse en la población Frisona del País Vasco y Navarra una tendencia hacia la estabilización del PA de las vacas, sin que por ello deje de aumentar la producción de leche. Esta tendencia se acrecentaría, seguramente, si se introdujera en el índice de selección una estimación del PA de los animales, lo cual contribuiría a mejorar el rendimiento económico de las explotaciones lecheras.

### Agradecimientos

Los autores agradecen su colaboración al Centro de Investigación del País Vasco (NEIKER) por los datos económicos y productivos suministrados de explotaciones lecheras, así como al Dr. D. Javier González Cano, de la ETSI Agrónomos de Madrid por su información sobre los métodos de evaluación energética para alimentación del vacuno lechero.

### Bibliografía

- AHLBORN G., DEMPFI L., 1992. Genetic parameters for milk production and body size in New Zealand Holstein-Friesian and Jersey. *Lives. Prod. Sci.*, 31: 205-219.
- BECKMAN H., VAN ARENDONK J.A.M., 1993. Derivation of economic values for veal, beef and milk production traits using profit equations. *Lives. Prod. Sci.*, 34: 35-56.
- BROWN J.E., FITZHUGH H.A., CARTWRIGHT T.C., 1976. A comparison of non-linear models for describing weight-age relationships in cattle. *J. Anim. Sci.*, 42: 810-818.
- CHARFEDDINE N., 1998. Selección por mérito económico global en el ganado vacuno Frisón en España. Tesis doctoral. Dpto. Producción Animal. ETSI Agrónomos de Madrid.
- CHARFEDDINE N., ALENDA R., 1998. Conceptos económicos en un programa de mejora genética en vacuno de leche. *ITEA*, 94 A (3): 179-205.
- CONAFE., 1998. Manual de Calificación Lineal. 18 pp. Ed. Confederación de Asociaciones de Frisona Española. Valdemoro (Madrid).
- DOMMERHOIT J., WILMINK J.B.M., 1986. Optimal selection responses under varying milk prices and margins for milk production. *Lives. Prod. Sci.*, 14: 109-121.
- GIBSON J.P., 1989. Economic weights and index selection of milk production traits when multiple production quotas apply. *Anim. Prod.*, 49: 171-181.
- GODDARD M.E., 1998. Consensus and debate in the definition of breeding objectives. *J. Dairy Sci.*, 81: 6-18.
- GROEN A.F., 1988. Derivation of economic values of cattle breeding: A model at farm level. *Agricultural Systems*, 27: 195-213.
- GROEN A.F., 1989 a. Economic values in cattle breeding. I. Influences of production circumstances in situations without output limitations. *Lives. Prod. Sci.*, 22: 1-16.
- GROEN A.F., 1989 b. Economic values in cattle breeding. II. Influences of production circumstances in situations with output limitations. *Lives. Prod. Sci.*, 22: 17-30.

- GROEN A.F., 1990. Influences of production circumstances on the economic revenue of cattle breeding programmes. *Anim. Prod.*, 51: 469-480.
- GROEN A.F., STEINE T., COLLEAU J.J., PEDERSEN J., PRIBYL J., REINSCH N., 1997. Economic values in dairy cattle breeding, with special reference to functional traits. Report of an EAAP-working group. *Lives. Prod. Sci.*, 49: 1-21.
- GROEN A.F., VOS H., 1995. Genetic parameters for body weight and growth in Dutch Black and White replacement stock. *Lives. Prod. Sci.*, 41: 201-206.
- HARRIS B.L., 1998. Breeding dairy cattle for economic efficiency: A New Zealand pasture-based system. *Proc. 6<sup>th</sup> World Cong. Gen. App. Liv. Prod.*, vol. 25: 383-386. Adelaide. (Australia).
- HEINRICHS A.J., ROGERS G.W., COOPER J.B., 1992. Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. *J. Dairy Sci.*, 75: 3576-3581.
- HILTANEN H., OJALA M., 1995. Factors affecting body weight and its association with milk production traits in Finnish Ayrshire and Friesian cows. *Acta Agr. Scand., Sect. A, Animal Sci.* 45: 17-25.
- INRA., 1981. Alimentación de los rumiantes. Institut National de la Recherche Agronomique. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- KOENEN E.P.C., BERENTSEN P.B.M., GROEN A.F., 2000. Economic values of live weight and feed-intake capacity of dairy cattle under Dutch production circumstances. *Lives. Prod. Sci.*, 66: 235-250.
- KOENEN E.P.C., GROEN A.F., 1998. Genetic evaluation of body weight of lactating Holstein heifers using body measurements and conformation traits. *J. Dairy Sci.*, 81: 1709-1713.
- KORVER S., VAN ARENDONK J.A.M., KOOPS W.J., 1985. A function for live-weight change between two calvings in dairy cattle. *Anim. Prod.*, 40: 233-241.
- LEE A.J., BOICHARD D.A., MC ALLISTER A.J., LIN C.Y., NADARAJAH K., BATRAA T.R., ROY G.L., VESELY J.A., 1992. Genetics of growth, feed intake, and milk yield in Holstein cattle. *J. Dairy Sci.*, 75: 3145-3154.
- MELTON B.E., HEADY E.O., WILLHAM R.L., 1979. Estimation of economic values for selection indices. *Anim. Prod.*, 28: 279-286.
- MEYER K., BROTHERTSTONE S., HILL W.G., 1987. Inheritance of linear type traits in dairy cattle and correlations with milk production. *Anim. Prod.*, 44: 1-10.
- MORRIS C.A., WILTON J.W., 1977. The influence of body size on the economic efficiency of cows: A review. *Animal Breeding Abstracts*, 45: 139-153.
- NRC., 1978. Nutrients Requirements of Dairy Cattle. National Research Council. Ed. National Academy Press. Washington.
- PÉREZ M.A., CHARFEDDINE N., ALENDA R., 1999. Índices de selección obtenidos a partir de estudios económicos en vacuno de leche. *Bovis*, 90: 13-37.
- PERSAUD P., SIMM G., HILL W.G., 1991. Genetic and phenotypic parameters for yields, food intake and efficiency of dairy cows fed *ad libitum*. I. Estimates for total measures and their relationship with live weight traits. *Anim. Prod.*, 52: 435-444.
- PILITERS T., CANAVESI F., CASSANDRO M., DADATI E., VAN ARENDONK J.A.M., 1997. Consequences of differences in pricing systems between regions on economics values and revenues of a national dairy cattle breeding scheme in Italy. *Lives. Prod. Sci.*, 49: 23-32.
- SIEBER M., FRIELMAN A.E., KELLEY D.H., 1988. Relationships between body measurements, body weight, and productivity in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 71: 3437-3445.
- SPELMAN R.J., GARRICK D.J., 1997. Effect of live weight and differing economic values on responses to selection for milk fat, protein, volume, and live weight. *J. Dairy Sci.*, 80: 2557-2562.
- TROCCON J.L., 1987. Recommandations alimentaires pour les veaux et génisses d'élevage. *Bull. Tech. C.R.Z.V. Theix, INRA*, 70: 167-172.
- TROCCON J.L., 1993. Effects of winter feeding during the rearing period on performance and longevity in dairy cattle. *Lives. Prod. Sci.*, 36: 157-176.
- VEERKAMP R.F., 1996. Liveweight and feed intake in dairy cattle breeding. *Proc. Inter. Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle. Interbull Bulletin*, 12: 173-180.
- VEERKAMP R.F., BROTHERTSTONE S., 1997. Genetics correlations between linear type traits, food intake, live weight, and condition score in Holstein Friesian dairy cattle. *Anim. Sci.*, 64: 385-392.
- VISSCHER P.M., BOWMAN P.J., GODDARD M.E., 1994. Breeding objectives for pasture based dairy production systems. *Lives. Prod. Sci.*, 40: 123-137.

(Aceptado para publicación el 30 de junio de 2002).

Apéndice I: Cálculo de los pesos económicos de los caracteres productivos y funcionales en la población de vacuno lechero del País Vasco y Navarra

PE del peso adulto (PA).

La ecuación que da el beneficio anual a nivel de explotación es:

$$B = N \cdot (I_n - C_a) - CFE, \quad (A1)$$

Derivando esta ecuación (o función de beneficio) con respecto a PA, resulta:

$$\frac{\partial B}{\partial(PA)} = N \cdot \left[ \frac{\partial I_n}{\partial(PA)} - \frac{\partial C_a}{\partial(PA)} \right], \text{ y el PE del PA es:}$$

$$PE \text{ del PA} = PE_{PA} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial B}{\partial(PA)} = \frac{\partial I_n}{\partial(PA)} - \frac{\partial C_a}{\partial(PA)}, \quad (A2)$$

Los ingresos por venta de leche ( $I_{leche}$ ), no dependen del PA. Por tanto:

$$\frac{\partial I_n}{\partial(PA)} = \frac{\partial(I_{vacuo})}{\partial(PA)} = p_{vd} \cdot h(t_D) \cdot \left( \frac{1}{L} - Mor_v \right),$$

siendo:  $h(t_D) = [1 - (1 - \sqrt[3]{0,06}) \cdot e^{-0,0029t_D}]^3$ ,

$$\frac{\partial C_a}{\partial(PA)} = \frac{\partial(\text{Calimen.vacas})}{\partial(PA)} + \frac{\partial(\text{Creposición})}{\partial(PA)}, \quad (A3)$$

Los costes de alimentación de vacas (Calimen.vacas) vienen dados por la ecuación:

$$\text{Calimen} \cdot \text{vacas} = \{0,123 \cdot V + 5,600 \cdot G + 3,353 \cdot P + 0,0453 \cdot 365 \cdot PA^{0,75} \cdot [h(t_1)]^{0,75} + 3,94 \cdot PA \cdot [h(t_1) - h(t_1 - 365)] + 155,55\} \cdot P_{UFLV}, \quad (A4)$$

Por tanto:

$$\frac{\partial(\text{Calimen.vacas})}{\partial(PA)} = \{0,0453 \cdot 365 \cdot 0,75 \cdot PA^{-0,25} \cdot [h(t_1)]^{0,75} + 3,94 \cdot [h(t_1) - h(t_1 - 365)]\} \cdot P_{UFLV},$$

Los costes de reposición (Creposición) vienen dados por la ecuación:

$$\text{Creposición} = \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{1 - Mor_n} \cdot \text{Grecría} = \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{1 - Mor_n} \cdot (\text{Energía Neta recría} \cdot p_{UFLn} + \text{OCN}), \quad (A5)$$

siendo: Energía Neta recría = EN mantenim. y crecimiento ( $EMC_n$ ) + EN gestación ( $EG_n$ ).

Los otros costes por novilla (OCN) y la  $EG_n$  no dependen del PA. Por tanto, resulta:

$$\frac{\partial(\text{Creposición})}{\partial(PA)} = \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{1 - Mor_n} \cdot p_{UFLn} \cdot \frac{\partial(EMC_n)}{\partial(PA)}, \quad (A6)$$

La EN mantenimiento y crecimiento novillas ( $EMC_n$ ) viene dada por la fórmula:

$$EMC_n = \sum_{i=1}^4 EN_i \cdot d_i = \sum_{i=1}^4 [a_i + b_i \cdot GPV_i^{1,4}] PV_i^{0,75} \cdot d_i.$$

Al tomar  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $d_i$ ,  $PV_i$  y  $GPV_i$  los valores indicados en el apartado de costes de reposición de material y métodos, resulta:

$$EMC_n = PA^{0,75} \cdot \left\{ 183 \cdot [0,042 \cdot [h(91)]^{0,75} + 0,04 \cdot [h(274)]^{0,75} + 0,04 \cdot [h(457)]^{0,75}] + \right. \\ \left. + (EPP - 549) \cdot 0,04 \cdot 0,04 \cdot \left[ h\left(\frac{549 + EPP}{2}\right) \right]^{0,75} \right\} + PA^{2,15} \cdot \{ 183^{-0,4} \cdot [0,0435 \cdot [h(91)]^{0,75} \cdot [h(183) - 0,06]^{1,4} + \\ + 0,0415 \cdot [h(274)]^{0,75} [h(366) - h(183)]^{1,4} + 0,0415 \cdot [h(457)]^{0,75} [h(549) - h(366)]^{1,4} \} +$$

$$+ (EPP - 549)^{-0.4} \cdot 0.0415 \cdot \left[ h\left(\frac{549 + EPP}{2}\right) \right]^{0.75} \cdot [h(EPP) - h(549)]^{1.4}.$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(EMC_a)}{\partial(PA)} = & 0,75 \cdot PA^{-0,25} \cdot \left\{ 183 \cdot [0,042 \cdot [h(91)]^{0,75} + 0,04 \cdot [h(274)]^{0,75} + 0,04 \cdot [h(457)]^{0,75}] + \right. \\ & + (EPP - 549) \cdot 0,04 \cdot \left. \left[ h\left(\frac{549 + EPP}{2}\right) \right]^{0,75} \right\} + 2,15 \cdot PA^{1,15} \cdot \{ 183^{-0,4} \cdot [0,0435 \cdot [h(91)]^{0,75} \cdot [h(183) - 0,06]^{1,4} + \\ & + 0,0415 \cdot [h(274)]^{0,75} \cdot [h(366) - h(183)]^{1,4} + 0,0415 \cdot [h(457)]^{0,75} \cdot [h(549) - h(366)]^{1,4} \} + \\ & + 0,0415 \cdot (EPP - 549)^{-0,4} \cdot \left[ h\left(\frac{549 + EPP}{2}\right) \right]^{0,75} \cdot [h(EPP) - h(549)]^{1,4}, \end{aligned}$$

Finalmente, haciendo las sustituciones indicadas en las ecuaciones (A6), (A3) y (A2) se obtiene el PE del peso adulto (PA).

PE de la producción de leche (Y).

Derivando la ecuación (A1) respecto a Y se obtiene:

$$PE_{\text{leche}} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial B}{\partial Y} = \frac{\partial I_a}{\partial Y} - \frac{\partial C_a}{\partial Y} - \frac{1}{Y} \cdot (I_a - C_a), \quad (A7)$$

El último sumando que aparece en la ecuación (A7) resulta de la existencia de una cuota (Q) de producción de leche por explotación:

$Q = N \cdot Y \cdot [1 + k_g \cdot (cg - cg_r)]$ , siendo:

$k_g$  = factor de conversión de décimas de contenido graso en kg de leche = 18.

La exigencia de que sea:  $Q = \text{constante}$ , hace que  $N$  sea función de la producción de leche por vaca (Y). (Ver Charfedinne y Alenda, 1998, para una más detallada explicación).

Al ser los ingresos por venta de carne, independientes de Y, resulta:

$$\frac{\partial I_a}{\partial Y} = \frac{\partial(I_{\text{leche}})}{\partial Y} = p_L + p_G \cdot (cg - cg_r) + p_P \cdot (cp - cp_r).$$

Los únicos costes que dependen de Y son los de alimentación de vacas (Calimen.vacas):

$$\begin{aligned} \text{Calimen.vacas} = & \{ (0,123 \cdot cv + 5,600 \cdot cg + 3,353 \cdot cp) \cdot Y + 0,0453 \cdot 365 \cdot PA^{0,75} \cdot [h(t_1)]^{0,75} + \\ & + 3,94 \cdot PA \cdot [h(t_1) - h(t_1 - 365)] + 155,55 \} \cdot p_{UFLV}, \end{aligned}$$

siendo  $cv$ ,  $cg$  y  $cp$  los contenidos medios de volumen, grasa y proteína de 1 kg de leche del conjunto de vacas considerado.

Por tanto:

$$\frac{\partial C_a}{\partial Y} = \frac{\partial(\text{Calimen.vacas})}{\partial Y} = (0,123 \cdot cv + 5,600 \cdot cg + 3,353 \cdot cp) \cdot p_{UFLV}.$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación (A7) se obtiene:

$$PE_{\text{leche}} = p_L + p_G \cdot (cg - cg_r) + p_P \cdot (cp - cp_r) - (0,123 \cdot cv + 5,600 \cdot cg + 3,353 \cdot cp) \cdot p_{UFLV} - \frac{1}{Y} \cdot (I_a - C_a).$$

El valor:  $I_a - C_a = B_a$  es el beneficio medio por vaca y año para el conjunto de vacas considerado, que habrá que calcular previamente.

---

 PE del volumen de leche (V).
 

---

Derivando en (A1) respecto a V se obtiene:

$$PE_{\text{volum.}} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial B}{\partial V} = \frac{\partial I_a}{\partial V} - \frac{\partial C_a}{\partial V} - \sum q_i \cdot x_i \cdot (I_a - C_a), \quad (\text{A8}) \text{ siendo:}$$

$$q_v = 1 - k_g \cdot c_{g_r} = 1 - 18 \cdot 0.037 = 0.034, \text{ y}$$

$$\sum q_i \cdot x_i = (1 - k_g \cdot c_{g_r}) \cdot V + (1 - k_g \cdot c_{g_r} + k_g) \cdot G + (1 - k_g \cdot c_{g_r}) \cdot P =$$

$$= (1 - 18 \cdot 0.037) \cdot V + (1 - 18 \cdot 0.037 + 18) \cdot G + (1 - 18 \cdot 0.037) \cdot P = 0.334 \cdot V + 18.334 \cdot G + 0.334 \cdot P.$$

El tercer sumando de la ecuación (A8) resulta, como anteriormente, de la existencia de una cuota de producción de leche por explotación. (Ver Charfeddine y Alenda, 1998, para una más detallada explicación).

Derivando en la ecuación que da los ingresos por venta de leche para obtener  $\frac{\partial I_a}{\partial V}$ , y en la ecuación (A4),

que da los costes de alimentación de vacas, para obtener  $\frac{\partial C_a}{\partial V}$ , y sustituyendo en (A8), resulta:

$$PE_{\text{volum.}} = p_L - p_G \cdot c_{g_r} - p_P \cdot c_{p_r} - 0.123 \cdot p_{UFLV} - \frac{0.334}{0.334 \cdot V + 18.334 \cdot G + 0.334 \cdot P} \cdot (I_a - C_a).$$


---

 PE de la grasa (G).
 

---

Derivando en (A1) respecto a G se obtiene:

$$PE_{\text{grasa}} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial B}{\partial G} = \frac{\partial I_a}{\partial G} - \frac{C_a}{\partial G} - \sum q_i \cdot x_i \cdot (I_a - C_a), \quad (\text{A9}) \text{ siendo:}$$

$$q_g = 1 - k_g \cdot c_{g_r} + k_g = 1 - 18 \cdot 0.037 + 18 = 18.334, \text{ y } \sum q_i \cdot x_i = 0.334 \cdot V + 18.334 \cdot G + 0.334 \cdot P.$$

Como anteriormente, el tercer sumando de la ecuación (A9) resulta de la existencia de una cuota de producción de leche por explotación.

Derivando en la ecuación que da los ingresos por venta de leche para obtener  $\frac{\partial I_a}{\partial G}$ , y en la ecuación (A4) para obtener  $\frac{\partial C_a}{\partial G}$ , y sustituyendo en (A9), resulta:

$$PE_{\text{grasa}} = p_L - p_G \cdot (1 - c_{g_r}) - p_P \cdot c_{p_r} - 5.600 \cdot p_{UFLV} - \frac{18.334}{0.334 \cdot V + 18.334 \cdot G + 0.334 \cdot P} \cdot (I_a - C_a)$$


---

 PE de la proteína (P).
 

---

Derivando en (A1) respecto a P se obtiene:

$$PE_{\text{prot.}} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial B}{\partial P} = \frac{\partial I_a}{\partial P} - \frac{\partial C_a}{\partial P} - \sum q_i \cdot x_i \cdot (I_a - C_a), \quad (\text{A10}) \text{ siendo:}$$

$$q_p = 1 - k_g \cdot c_{g_r} = 1 - 18 \cdot 0.037 = 0.034, \text{ y } \sum q_i \cdot x_i = 0.334 \cdot V + 18.334 \cdot G + 0.334 \cdot P.$$

Como anteriormente, el tercer sumando de la ecuación (A10) resulta de la existencia de una cuota de producción de leche por explotación.

Derivando en la ecuación que da los ingresos por venta de leche para obtener  $\frac{\partial I_a}{\partial P}$ , y en la ecuación (A4) para obtener  $\frac{\partial C_a}{\partial P}$ , y sustituyendo en (A10), resulta:

$$PE_{\text{prot.}} = p_L - p_G \cdot c_{G_r} + p_P \cdot (1 - c_{P_r}) - 3,353 \cdot p_{\text{UFL.v}} - \frac{0,334}{0,334 \cdot V + 18,334 \cdot G + 0,334 \cdot P} \cdot (I_a - C_a)$$

PE de la longevidad (L).

Derivando en (A1) respecto a L se obtiene:

$$PE_{\text{longev.}} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial B}{\partial L} = \frac{\partial I_a}{\partial L} - \frac{\partial C_a}{\partial L}, \quad (\text{A11})$$

La longevidad solamente interviene en los ingresos por venta de carne ( $I_{\text{carne}}$ ) y en los costes de reposición (Creposición).

Derivando en la ecuación que da los ingresos por venta de carne para obtener  $\frac{\partial I_a}{\partial L}$ , y en la ecuación (A5) para obtener  $\frac{\partial C_a}{\partial L}$ , resulta:

$$\frac{\partial I_{\text{carne}}}{\partial L} = -\frac{p_{vd} \cdot PV_{vd}}{L^2},$$

$$\frac{\partial(\text{Creposición})}{\partial L} = -\frac{1}{1 - \text{Mor}_n} \cdot \frac{\text{Crección}}{L^2}.$$

Sustituyendo los valores anteriores en (A11), resulta:

$$PE_{\text{longev.}} = \frac{1}{1 - \text{Mor}_n} \cdot \frac{\text{Crección} - p_{vd} \cdot PV_{vd}}{L^2}.$$

El valor anterior vendrá expresado en pts./vaca-año-año de vida productiva. Si se quiere referir a pts./vaca-año-día de vida productiva, será:

$$PE_{\text{longev.}} = \frac{1}{1 - \text{Mor}_n} \cdot \frac{\text{Crección} - p_{vd} \cdot PV_{vd}}{L^2 \cdot 365}.$$

## Apéndice 2: Abreviaturas usadas en las fórmulas, junto con sus unidades de expresión

$a_i$	Parámetro para energía de crecimiento en novillas.	(UFL/kg peso metabólico)
B	Beneficio anual de la explotación.	(pts./año)
$B_a$	Beneficio de la explotación por vaca y año.	(pts./vaca-año)
$b_i$	Parámetro para energía de crecimiento en novillas.	(UFL/kg peso metabólico)
$C_a$	Costes por vaca y año.	(pts./vaca-año)
$C_{\text{alimentación}}$	Costes de alimentación.	(pts./vaca-año)
CFE	Costes fijos de la explotación por año.	(pts./año)
Crección	Coste de recría de una novilla.	(pts./novilla)
Creposición	Costes de reposición.	(pts./vaca-año)
cg	Contenido graso de la leche.	(kg grasa/kg leche)
$cg_r$	Contenido graso de referencia = 0,037 kg grasa/kg leche.	
cp	Contenido proteico de la leche.	(kg proteína/kg leche)
$cp_r$	Contenido proteico de referencia = 0,031 kg proteína/kg leche.	
DL	Duración de la lactación.	(días)
DLT	Días de lactación en el total de la vida productiva.	(días)
$d_i$	Duración del período de crecimiento $i$ en novillas.	(días)
$EC_n$	Energía neta para crecimiento en novillas.	(UFL/kg)
$EC_v$	Energía neta para el crecimiento en vacas.	(UFL/vaca-año)
$EG_n$	Energía neta para gestación en novillas.	(UFL/novilla-año)
$EG_v$	Energía neta para la gestación en vacas.	(UFL/vaca-año)
$EMC_n$	Energía neta para mantenimiento y crecimiento en novillas.	(UFL/novilla)
$EM_v$	Energía neta para el mantenimiento en vacas.	(UFL/vaca-año)
EN	Energía neta.	(UFL)
$EN_i$	Energía neta para mantenimiento y crecimiento en período $i$ .	(UFL/día)
EPP	Edad al primer parto.	(días)
$e_g$	Energía neta para producir 1 kg de grasa en la leche.	(UFL/kg)
$e_p$	Energía neta para producir 1 kg de proteína en la leche.	(UFL/kg)
$e_v$	Energía neta para producir 1 kg de volumen de leche.	(UFL/kg)
G	Producción de grasa en la leche.	(kg/vaca-año)
$G_c$	Producción de grasa en la leche, corregida a 365 días.	(kg/vaca-año)
$GPV_i$	Ganancia de peso vivo en el período $i$ en novillas.	(kg/día)
$g_i$	Mérito genético del carácter $i$ en el genotipo agregado.	(ud del carácter)
H	Genotipo agregado de un animal.	(pts./animal-año)
$I_a$	Ingresos por vaca y año.	(pts./vaca-año)
$I_{\text{carne}}$	Ingresos anuales por venta de carne y por vaca.	(pts./vaca-año)
$I_{\text{leche}}$	Ingresos anuales por venta de leche y por vaca.	(pts./vaca-año)
IP	Intervalo entre partos.	(días)
k	Tasa de maduración de la población de vacas estudiada.	(constante)
$k_g$	Factor de conversión de contenido graso en kg de leche.	(kg leche/kg grasa)
L	Longitud de vida productiva o longevidad.	(años)
$L_m$	Número de lactación medio de las vacas en 1995.	
$Mor_n$	Mortalidad de novillas de reposición hasta el parto.	(en tanto por uno)
$Mor_t$	Mortalidad anual de terneros próxima al nacimiento.	(en tanto por uno)
$Mor_v$	Mortalidad anual de vacas.	(en tanto por uno)
N	Número de vacas lecheras en la explotación.	
NTL	Número total de lactaciones de cada vaca.	

n	Número de caracteres en el genotipo agregado.	
OCV	Otros costes por vaca.	(pts./vaca-año)
OCN	Otros costes por novilla.	(pts./novilla)
P	Producción de proteína en la leche.	(kg/vaca-año)
$P_c$	Producción de proteína en leche corregida a 365.	(kg/vaca-año)
PA	Peso vivo adulto de las vacas.	(kg)
PE	Peso económico de un carácter animal.	(pts./vaca-año-ud)
PN	Peso vivo medio de las terneras al nacimiento.	(kg)
PV	Peso vivo de los animales.	(kg)
$PV_c$	Peso vivo del animal a la edad $t_c$ .	(kg)
$PV_i$	Peso vivo medio de novillas en el período i.	(kg)
PVt	Peso vivo del animal a la edad t.	(kg)
$PV_{t_1}$	Peso vivo medio de las vacas en lactación en 1995.	(kg)
$PV_{t_{1-1}}$	Peso vivo medio de las vacas en lactación en 1994.	(kg)
$PV_{vd}$	Peso vivo medio de la vaca de desecho.	(kg)
$p_G$	Prima por calidad de grasa (por encima del contenido de referencia).	(pts./kg grasa)
$p_L$	Precio base de la leche.	(pts./kg)
$p_p$	Prima por calidad proteica (por encima del contenido de referencia).	(pts./kg proteína)
$p_{ter}$	Precio medio del ternero a los 7 días.	(pts./cabeza)
$P_{UFLn}$	Coste de la UFL en la ración para novillas.	(pts./UFL)
$P_{UFLv}$	Coste de la UFL en la ración para vacas.	(pts./UFL)
$p_{vd}$	Precio medio de carne de vaca de desecho.	(pts./kg peso vivo)
Q	Cuota de leche de la explotación.	(kg/año)
$q_j$	Constantes usadas en el cálculo de los PE de los caracteres productivos.	
t	Edad del animal.	(días)
$t_c$	Edad en que se calificó morfológicamente al animal.	(días)
$t_D$	Edad media de desecho.	(días)
$t_i$	Edad media de novillas en el período de crecimiento i.	(días)
$t_1$	Edad media de vacas en lactación en 1995.	(días)
UFL	Unidad forrajera leche.	
V	Volumen de leche producida al año (descontada grasa y proteína).	(kg/vaca-año)
VP	Vida productiva.	(días)
$w_i$	Peso económico del carácter i en el genotipo agregado.	(pts./ud·vaca-año)
Y	Producción total de leche.	(kg/vaca-año)
$Y_c$	Producción total de leche, corregida a 365 días.	(kg/vaca-año)

---