

CONCEPTOS ECONÓMICOS EN UN PROGRAMA DE MEJORA GENÉTICA EN VACUNO DE LECHE

N. Charffeddine

R. Alenda*

Dpto. Producción Animal

E.T.S.I. Agrónomos

Madrid

España

RESUMEN

En una primera parte de este trabajo se hizo una revisión bibliográfica de los conceptos económicos más relevantes y de los estudios económicos más recientes en vacuno de leche. Las etapas que componen un estudio económico dentro de un programa de mejora genética son: la definición de un genotipo agregado representativo del objetivo del programa, el establecimiento de una función de beneficio apropiada de los aspectos productivos, económicos y sociales del sistema de producción, la estimación de los pesos económicos de cada uno de los caracteres que forman parte del agregado y el cálculo de la expresión acumulativa de descuento correspondiente a cada uno.

En la segunda parte, se desarrolló un ejemplo práctico poniendo en manifiesto dichas etapas, haciendo uso de datos económicos y productivos procedentes de ganaderías de la Comunidad Autónoma del País Vasco y de la Cooperativa de Alta Moraña en Ávila. Los resultados muestran que los pesos económicos de los caracteres productivos y de la longevidad varían según las perspectivas de producción (libre mercado o existencia de cuota de producción), los niveles de producción y los precios a nivel del mercado. La introducción del sistema de cuota reduce la importancia económica de los caracteres de producción de leche, sobre todo los caracteres bajo restricción, producción de grasa y volumen de leche. Los niveles productivos así como el sistema de pago de la leche afectan también a los pesos económicos de los caracteres productivos. La importancia económica de la longevidad varía especialmente en función de las tasas de desecho y los gastos de cría.

Dadas dichas variaciones, el ajuste del genotipo agregado de un programa de mejora a los niveles de producción y las circunstancias de mercado de cada zona es necesario.

Palabras Clave: Función de Beneficio, Pesos Económicos, Vacuno de leche.

SUMMARY

ECONOMIC CONCEPTS IN A DAIRY CATTLE IMPROVEMENT PROGRAMME

A literature review of the high relevant and recent economic concepts related with selection in Dairy Cattle was carried out in the first part of the paper. The steps of

* Email: ralenda@pan.etsia.upm.es

an economic study of an animal breeding programme are the definition of an aggregated genotype related with the selection objectives, development of a profit equation that include incomes and cost of the production system, estimation of economic values of each trait included in the aggregated genotype and derivation of discount rate of each trait.

An example by using economic and yield data of dairy cattle herds from the Basque Country Autonomous Community and Alta Moraña Co-operative of Avila has been developed in the second part of the paper. Results show that the economic values on yield traits and longevity depend on the quota on production, level of production, milk prices and production cost. Quota on production reduce the weight on yield traits, mainly kg. of fat and kg of volume. Level of production and milk prices affect the economic value on yield traits. Economic value on longevity depends on percentage of culled cows and on the cost of rearing heifer.

It is concluded that the derivation of a selection index in dairy cattle should be done on specific production area.

Key words: Profit equation, Economic values, Dairy cattle.

Introducción

Un programa de mejora genética busca contribuir a lograr lo que parece lógico en toda empresa: maximizar sus beneficios mediante el incremento de la eficiencia productiva de los animales que la componen. Los animales de la siguiente generación han de producir de forma más eficiente y, por lo tanto, más rentable que la generación actual, bajo condiciones económicas y sociales futuras (PIETERS *et al.*, 1997). Llevar a la práctica este objetivo está cada vez más influenciado por conceptos económicos que por consideraciones puramente empíricas.

En general, los programas de mejora realizados hasta la actualidad han buscado una simplificación tanto en la organización como en los caracteres a seleccionar. En porcino, avicultura y cunicultura, por ejemplo, los programas de mejora explotan la heterosis y/o la complementariedad de los caracteres y seleccionan las líneas paternas por crecimiento y las maternas por caracte-

res reproductivos y maternos. En vacuno de carne, la mejora genética se basa casi en exclusiva en la selección por el peso al destete, tanto por las influencias directas como maternas. Las especies que se seleccionan en pureza, como son el vacuno y el ovino de leche, suelen basar su mejora, principalmente, en la selección de los caracteres de producción de leche.

En la última década, los programas de mejora en vacuno de leche de varios países del mundo han incorporado otros criterios, algo más complejos, combinando la calidad y la cantidad de leche con caracteres funcionales en índices de selección llamados índices combinados o índices de mérito total, para buscar animales de alta producción y a su vez más longevos. La elaboración de estos índices de selección ha sido posible con métodos objetivos y métodos no objetivos (GROEN, 1992). Los métodos no objetivos definen la ponderación de cada carácter según unas respuestas genéticas deseadas y/o unas restricciones sobre la mejora de algunos caracteres (KEMPTHORNE,

y NORDSKOG, 1959; BRASCAMP, 1984, CHARFFEDDINE *et al.*, 1995). Los métodos objetivos calculan los valores económicos modelizando el beneficio en función del mérito genético de los caracteres elegidos (GROEN, 1988; VAN ARENDONK, 1985, BEKMAN, y VAN ARENDONK, 1993, CHARFFEDDINE, 1998).

En cuanto a los métodos objetivos, la integración de los caracteres elegidos en el genotipo agregado depende de la contribución de cada uno de ellos al aumento del beneficio global (HAZEL, 1943). La metodología utilizada para valorar y estimar tal contribución económica es bastante variada y distinta (GROEN, 1992). Según GROEN *et al.*, (1997b) es difícil dar con la metodología ideal para realizar un estudio económico, debido a que ésta dependerá, en cada caso, de los caracteres considerados y de las circunstancias de producción y de mercado asumidas. No obstante, el método más apropiado es aquel que refleja fielmente los aspectos productivos y socioeconómicos del beneficio, tratando la mejora genética como cualquier desarrollo tecnológico. GROEN y RUYTER (1990) distinguen dos perspectivas o puntos de vista para evaluar esa importancia económica: el punto de vista positivo (Positive Approach) y el punto de vista normativo (Normative Approach) (JAMES y ELLIS, 1979). El punto de vista positivo llamado también "Data evaluation" consiste en utilizar datos económicos y técnicos reales para hacer balances económicos, de los cuales se deduce la importancia económica de cada uno de los caracteres estudiados (ANDRUS y MCGILLIARD, 1975; DIJKHUIZEN, 1983, FRANCE y THORNLEY, 1984). El punto de vista normativo, llamado también "Data Simulation", consiste en desarrollar un modelo de simulación con parámetros técnicos, económicos y niveles de producción representati-

vos de la población estudiada (TESS *et al.*, 1983; VAN ARENDONK, 1985; GROEN, 1988).

Según GROEN (1992), el modelo desarrollado desde el punto de vista normativo requiere el establecimiento de una función de beneficio (Profit function). Aunque una función de eficiencia sería la terminología más adecuada.

Los modelos normativos ofrecen más ventajas que los modelos positivos a la hora de considerar un gran número de elementos y factores del sistema de producción y sus relaciones y reacciones ante un cambio en el mérito genético de los animales. GROEN *et al.* (1997b) afirman que el mayor inconveniente de los modelos positivos consiste en el uso de precios históricos cuando la mejora genética es una orientación hacia el futuro, mientras que, con los modelos normativos, hay mas posibilidades de usar distintos precios, distintos niveles de producción y distintos parámetros técnicos. La mayoría de los estudios económicos hoy en día están basados en una función de beneficios establecida desde el punto de vista normativo (BEKMAN y VAN ARENDONK, 1993; COLLEAU *et al.*, 1994; VISSCHER *et al.*, 1994; PIETERS *et al.*, 1997, CHARFFEDDINE, 1998).

El objetivo de este trabajo es hacer una pequeña revisión sobre los conceptos claves de los estudios económicos en mejora genética y desarrollar un ejemplo de una función de beneficio desde una perspectiva normativa que describa de forma cuantitativa las relaciones que existen entre el nivel genético, las rentas (Output) y los gastos (Input) de una ganadería de vacuno de leche.

El artículo ha sido estructurado de la siguiente manera:

En la primera parte, se presenta una revisión bibliográfica de los conceptos claves en los cuales se basa la obtención de los pesos económicos desde un punto de vista normativo, así como los resultados de los estudios económicos más recientes en vacuno de leche.

En la segunda parte, se desarrolla un ejemplo práctico en lo cual se establece una función de beneficio desde una perspectiva normativa que describe de forma cuantitativa las relaciones que existen entre el nivel genético, los ingresos y los gastos a partir de datos reales de dos regiones, una en el centro y la otra en el norte de España. Se calculan los pesos económicos de los caracteres de producción, kg de leche, grasa y proteína a 305 días en situación de cuota y de libre mercado y la duración de la vida productiva en cada zona. El fin de calcular los pesos económicos usando datos económicos y productivos de distintas zonas es estudiar la sensibilidad de estos parámetros a las variaciones en los niveles de producción y las condiciones de mercado.

Conceptos claves en un estudio económico dentro de un programa de mejora genética

Para definir la importancia económica de los caracteres a seleccionar en un programa de mejora genética se requiere:

- La definición de un genotipo agregado.
- El establecimiento de una función de beneficio.
- La estimación de los pesos económicos.
- El cálculo de las expresiones acumulativas de descuento.

Genotipo agregado

Un programa de mejora genética definido desde una perspectiva económica se inicia con la definición de un genotipo agregado (traducción de la terminología inglesa "Aggregate genotype") llamado también valor aditivo económico o valor genético económico (BLASCO y MUÑOZ, 1994). El genotipo agregado define el objetivo del programa de mejora, expresando la eficiencia económica del mérito genético global del animal en función de caracteres que controlan o determinan dicha eficiencia (GROEN y VAN ARENDONK, 1997). Es importante distinguir, en la teoría de los índices de selección, entre el genotipo agregado y el índice que combina las distintas fuentes de información para predecir el valor genético total del animal, llamado comúnmente índice de selección. El genotipo agregado involucra a todos los caracteres que afectan o controlan la eficiencia económica del sistema de producción, mientras que el índice de selección combina todos los caracteres que han sido elegidos como criterio de selección, caracteres cuya información es disponible a nivel de cada animal y cuyos parámetros genéticos permiten alcanzar un progreso genético razonable (GIBSON, 1992).

El genotipo agregado (frecuentemente indicado en la bibliografía con la notación H) se define como una ecuación que combina los valores genéticos verdaderos de los caracteres de interés ponderados según su importancia económica relativa (HAZEL, 1943) y se escribe como:

$$H = \sum_{i=1}^n a_i \cdot g_i$$

Donde :

g_i : Valor genético aditivo verdadero para el carácter i .

a_i : Valor económico de descuento del carácter i .

El valor económico de descuento del carácter i es el peso económico de dicho carácter multiplicado por su expresión acumulativa de descuento (GROEN *et al.*, 1997b). El peso económico o valor económico de un carácter i es, sencillamente, el incremento generado en el beneficio global, debido a un incremento genético de una unidad en el carácter elegido. Se define, generalmente, en la unidad monetaria en la cual ha sido expresado el beneficio por unidad de variación del carácter, por año y por animal (GROEN *et al.*, 1997b). La expresión acumulativa de descuento es un coeficiente que refleja el tiempo y la frecuencia con los cuales se manifiesta en el futuro la superioridad genética de cada carácter en la población seleccionada (GROEN, 1990).

El índice de selección (frecuentemente indicado en la bibliografía con la notación I) trata de predecir H a partir de m caracteres medibles y se escribe como:

$$I = \sum_{i=1}^m b_i \cdot x_i$$

Donde,

x_i : Observación o valor genético predicho para el carácter i .

b_i : Coeficiente de ponderación del carácter i a nivel del índice de selección.

m y n pueden ser iguales o no. No todos los caracteres incluidos en el índice de selección son necesariamente incluidos en el genotipo agregado y viceversa.

Los coeficientes de ponderación b_i se calculan maximizando la correlación entre el genotipo agregado y el índice de selección (lo que resulta igual a maximizar el logaritmo de dicha correlación) o minimi-

zando la varianza del error de predicción (estadísticamente equivalente a la minimización de la suma de los cuadrados de las desviaciones entre H e I) (WELLER, 1994).

Función de beneficio

Una función de beneficio es una ecuación que describe los cambios en las rentas económicas netas en función de una serie de parámetros biológicos y económicos (GIBSON, 1992). El uso de la función de beneficio en mejora genética animal se limita, principalmente, a describir en un modelo el beneficio en función del mérito genético para los caracteres incluidos en el genotipo agregado, con el fin de calcular sus pesos económicos. Realmente, el beneficio es una función de un conjunto de caracteres x_i , un conjunto de precios de los productos p_j , un conjunto de costes variables cv_k y costes fijos cf_m :

$$\beta = f(x_1, x_2, \dots, x_p, p_1, p_2, \dots, p_j, cv_1, cv_2, \dots, cv_k, cf_1, cf_2, \dots, cf_m)$$

Sin embargo, para simplificar los procedimientos de cálculo de los pesos económicos, se considera habitualmente que los precios y los gastos (tanto fijos como variables) por unidad de producto son constantes, sea cual sea el nivel de producción (GIBSON, 1992). Por lo tanto, la función de beneficio se expresa solamente de los valores genéticos aditivos de los caracteres que forman parte del genotipo agregado.

$$\beta = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$$

La función de beneficio, para que sea apropiada, ha de reunir según GIBSON (1992) las siguientes tres condiciones:

– El cambio en el beneficio debe responder únicamente a una modificación en el mérito genético y no a otro cambio ambiental como podría ser la alimentación, la sanidad, etc.

– Las condiciones de manejo han de ser representativas al momento y el lugar donde se desarrolló el cambio genético.

– Los parámetros económicos han de reflejar la situación del mercado y el sistema de producción del momento y del lugar donde se desarrolla el cambio genético.

La importancia de definir bien la función de beneficio ha sido resaltada en varios trabajos (GROEN, 1989b,c; PIETERS *et al.*, 1997; GROEN *et al.*, 1997b). La función de beneficio es decisiva en dos de las fases más importantes de un programa de mejora genética: el cálculo de los pesos económicos y la elección de los criterios de selección. Cualquier error o simplificación inadecuada podría acarrear consecuencias negativas sobre las respuestas de un programa de mejora genética.

Habitualmente, en los estudios económicos de la mejora genética animal se asume que la relación entre el beneficio y los caracteres considerados es lineal, cuando es obvio que en muchas situaciones no es así (GIBSON, 1992). La mejora genética tiene un progreso relativamente lento, sobre todo en vacuno de leche, por lo que los términos de orden superior son, normalmente, despreciables. La aproximación lineal es razonable en el momento concreto en el que se aplica y en ausencia de una situación de saturación de mercado.

La función de beneficio, como se ha dicho anteriormente, se define atendiendo a la relación entre el beneficio y el cambio del nivel genético de los caracteres elegidos. Sin embargo, en la mayoría de los es-

tudios, este concepto básico se olvida y las ecuaciones de beneficio se establecen describiendo las relaciones entre las condiciones de manejo y alimentación, y los cambios ocasionados en los rendimientos de los animales. El ejemplo utilizado por GIBSON (1992) explica claramente esta situación. Éste ha considerado una función de beneficio que depende del valor genético para la producción de leche, donde la capacidad de ingestión determina los costes de alimentación, de forma que al aumentar la producción de leche por vaca aumentará su capacidad de ingestión. Para estimar los costes de alimentación asociados con el aumento en la producción de leche, se ha de saber la relación entre el incremento del nivel genético de producción y el incremento de la capacidad de ingestión. Sin embargo, lo que se suele utilizar en estos casos para definir dicha relación son fórmulas entre el nivel de producción a escala fenotípica y la capacidad de ingestión recomendados por NRC (National Research Council), ARC (Agricultural Research Council) y INRA (Institut National de Recherche Agricole). La mayoría de estos manuales han sido confeccionados a partir de experimentos en los cuales se asume que todos los animales manifiestan el mismo mérito genético a la hora de relacionar el nivel productivo con la capacidad de ingestión.

Por otra parte, la función de beneficio se define habitualmente igualando los caracteres considerados a la media fenotípica de la población y asumiendo que las posibles relaciones entre los distintos factores de producción y el nivel productivo son extrapolables a nivel genético (GIBSON, 1992).

La función de beneficio desde un punto de vista económico se compone de dos elementos principales: los ingresos (Revenues) y los gastos (Costs), confundidos frecuentemente en producción animal con los

productos (Output) y los factores de producción (Input), respectivamente (GIBSON, 1992). Para definir la perspectiva según la cual se combinan los gastos y los ingresos en la función de beneficio, GROEN (1989a) distingue dos importantes aspectos a fijar. Primero el objetivo de selección, y segundo, la base de evaluación, es decir, las características del sistema de producción.

HARRIS (1970) diferencia tres puntos o intereses de selección: primero, maximizar el beneficio, definido como ingresos menos gastos; Segundo, minimizar los gastos por unidad de producto, y tercero, maximizar los ingresos por unidad de gasto. En mejora genética animal, se considera principalmente el primer o el segundo punto (GROEN y RUYTER, 1990). La elección del interés de selección depende del beneficiario de tal proceso de selección o el "decision-maker" como le denomina GROEN (1988). Habitualmente, los programas de mejora genética buscan mejorar la rentabilidad económica del propio ganadero, por lo que se busca preferentemente el primer punto, dado que es el que más beneficio global genera para el ganadero. Sin embargo, se ha de utilizar con bastante precaución cuando se trata de una situación de saturación de mercado o de limitación del nivel productivo, como es el caso de la cuota aplicada sobre la producción de leche por parte de la Unión Europea. El segundo punto tiene una importancia relevante únicamente cuando el nivel productivo llega a su nivel óptimo.

GROEN (1989a) definió tres opciones para definir la situación base de evaluación: un número fijo de animales dentro del sistema de producción; un nivel fijo de productos que salen fuera del sistema y un nivel fijo de factores que entran dentro del sistema de producción. La elección de una de las tres opciones depende de las condiciones socioeconómicas en las cuales se

desenvuelve el sistema de producción. Si el sistema se encuentra en una situación de libre mercado y con un tamaño que se considera suficientemente óptimo, la base de evaluación sería la primera opción, pero si se trata de un sistema de producción en un mercado con restricciones sobre los productos (p.e. cuota de leche) o sobre los factores de producción (p.e. falta de forraje, etc.) sería la segunda o la tercera opción, respectivamente.

Finalmente, hay que evitar dos errores importantes que frecuentemente se cometen a la hora de definir la función de beneficio. Primero, ocultar caracteres bajo otros caracteres, es decir, que en ocasiones un carácter es función de otros y, al no hacerlo explícito, conduce a errores en el cálculo de las derivadas y a confusiones a la hora de determinar los objetivos (BLASCO y MUÑOZ, 1994). Segundo, el "double counting", es decir, considerar un gasto o un ingreso dos veces de formas distintas en la misma función. Por ejemplo, al considerar la mastitis y la producción de leche en un genotipo agregado, la pérdida de producción debida a una infección mamaria no se debe contabilizar a la hora de calcular el peso económico de la mastitis, dado que al incluir el nivel de producción, esta pérdida será doblemente contabilizada (GROEN *et al.*, 1997b).

Los pesos económicos

El peso económico de un carácter determinado es el cambio en el beneficio debido al incremento de una unidad en el mérito genético de tal carácter. Esto se suele calcular comparando la diferencia de beneficios entre la situación actual y la situación en la que un carácter aumenta una unidad, manteniendo los demás caracteres constantes.

Los pesos económicos, definidos desde una perspectiva normativa, dependen tanto de la base de evaluación según la cual ha sido establecida la función de beneficio, como del interés de selección elegido (MOAV, 1973).

BRASCAMP *et al.*, (1985) demuestran que al definir la función de beneficio según el concepto “Beneficio Cero” (traducción de la terminología inglesa “Zero Profit”), sea cual sea la base de evaluación, el peso económico de un carácter determinado es constante.

El “Beneficio Cero” es un concepto económico que hace uso de un beneficio llamado “Beneficio Normal” (traducción de la terminología inglesa “Normal Profit”) y que se contabiliza en la función de beneficio como un gasto de producción. El “Be-

neficio Normal” se define como un beneficio necesario para hacer frente a unas inversiones de expansión que permitan al productor permanecer largo plazo en el sector. El hecho de situarse en el momento en el cual el beneficio adquirido es igual al beneficio normal y, por lo tanto, el beneficio neto es cero, permite equiparar los distintos sistemas de producción, bajo distintas circunstancias y condiciones de mercado y, por lo tanto, hacer factible una valoración comparable de lo que podría generar un cambio genético.

GROEN y RUYTER (1990) definen el peso económico según dos tipos de interés de selección y tres bases de evaluación. En el cuadro 1 se resumen estas definiciones expresadas en función de conceptos económicos de producción.

CUADRO 1
DEFINICIÓN DE PESOS ECONÓMICOS EXPRESADOS EN FUNCIÓN DE
CONCEPTOS ECONÓMICOS DE PRODUCCIÓN SEGÚN DOS TIPOS DE INTERÉS
DE SELECCIÓN Y TRES SITUACIONES DE PRODUCCIÓN
(GROEN y RUYTER, 1990)

Base de evaluación	Interés de selección	
	Maximizar el beneficio $\beta = (I - G)$	Minimizar los gastos por unidad de producto $\beta = (G/I)$
Libre mercado	Ingresos marginales por unidad de producto menos gastos marginales de factores de producción por unidad de producto.	Media de los gastos totales por unidad de producto menos gastos variables marginales por unidad de producto.
Restricciones sobre la producción (Output)	Ingresos marginales por unidad de producto menos la media por unidad de factores de producción de la sustracción (Ingresos - gastos fijos por animal)	Media de los gastos totales por unidad de producto menos la media de los gastos fijos totales de la explotación por unidad de factores de producción.
Restricciones sobre los factores de producción (Input)	Media de los gastos variables por unidad de producto menos una unidad de gastos marginales.	Media de los gastos variables por unidad de producto menos una unidad de gastos marginales.

Las expresiones acumulativas de descuento

La expresión acumulativa de descuento (traducción de la terminología inglesa "Cumulative Discounted Expression") define el momento y la frecuencia con los cuales se manifiesta en el futuro la superioridad genética originada por el uso de un animal seleccionado en un programa de mejora genética (BRASCAMP, 1978).

Multiplicando la expresión acumulativa de descuento por el valor económico se obtiene el valor económico de descuento (traducción de la terminología inglesa "Discounted Economic Value"), que es el valor económico a considerar cuando se quiere comparar la importancia económica relativa de caracteres que se manifiestan de distintas formas y en diferentes momentos a lo largo de la vida del animal (GROEN *et al.*, 1997b).

La expresión acumulativa de descuento en un tiempo t para un carácter determinado (E_t) se define como

$$E_t = E_{t-1} + h' \cdot m_t \left(\frac{1}{1+r} \right)^t$$

Donde:

E_t, E_{t-1} : Expresión acumulativa de descuento en el tiempo t y $t-1$, respectivamente.

m_t : Vector de las proporciones de genes transmitidos a partir de la generación base en el tiempo t .

r : tasa de descuento.

h : Vector de incidencia con $(n+q)$ elementos, describe la frecuencia relativa de los animales en la población que expresan el carácter dentro de cada clase de edad y de sexo.

El cálculo de la expresión acumulativa de descuento de un carácter determinado requiere la definición de dos conceptos claves:

- El factor de descuento ligado al carácter.
- El flujo de genes según el cual se transmite el carácter de una generación a la siguiente.

Factor de descuento

El concepto de descuento parte del principio económico de inversión, según el cual el valor verdadero del dinero sigue un proceso de depreciación continuo a lo largo de los años, es decir, que una suma de dinero hoy vale más que mañana y así sucesivamente a medida que transcurre el tiempo. Si un programa de mejora genética o una decisión determinada de selección (como es el caso de elegir un semental) cuesta una suma de dinero hoy y sus resultados no se pueden cosechar hasta varios años después, la evaluación de los costes o beneficios se debería hacer teniendo en cuenta el valor verdadero del dinero en cada año y, referir todos los gastos e ingresos a una época determinada para que sean comparables. Ocurre lo mismo a la hora de valorar el beneficio marginal que se podría obtener al mejorar genéticamente caracteres que se expresan de distintas formas y en diferentes momentos de la vida del animal.

Económicamente, el concepto de descuento consiste en equiparar los gastos y los ingresos producidos en años distintos y expresarlos como gastos e ingresos en un año t . De forma que un gasto X_0 en el año 0 vale $X_0(1+r)^t$ en el año t y un gasto X_i en el año i vale $X_i(1+r)^{t-i}$ en el año t . Siendo r la tasa de descuento.

Dado que el hecho de referir los gastos y los ingresos a un año t podría ser algo arbitrario a la hora de fijar t , GIBSON (1992) ve más conveniente referirlos al momento en el cual se inició la inversión y expresarlos en función del valor inicial del citado momento. El valor inicial (VI) de un gasto o ingreso en el año t es igual a

$$VI = \frac{X_t}{(1+r)^t} = d \cdot X_t$$

$$\text{con } d = \frac{1}{(1+r)^t}$$

donde:

r : tasa de descuento.

d : factor de descuento para un valor financiero del año t .

La tasa de descuento r , llamada en términos económicos "la tasa atractiva mínima de retribución o ganancias" (traducción de la terminología inglesa "Minimum attractive rate of return"), define la tasa anual de ganancia mínima que hay que generar al invertir en un negocio para equipararla a la depreciación del dinero (GIBSON, 1992). No obstante, GIBSON (1992) recomienda utilizar el tipo de interés real o actual (es decir, el tipo de interés corregido por la tasa de inflación) como tasa de descuento, siendo ésta la mejor opción de las utilizadas. Las tasas de descuento utilizadas en los estudios económicos de mejora genética varían del 3 al 5% (GROEN, 1990; DEKKERS, 1994; PIETERS *et al.*, 1997).

GIBSON (1992) sugiere utilizar una tasa de descuento ligeramente superior para los ingresos que para los gastos, para favorecer los caracteres que generan ingresos a edades más tempranas y que producen gastos de una forma más escalonada.

Flujo de genes

El flujo de genes estudia el proceso de transmisión de los genes a través de la población y estima en cada periodo la proporción de genes transmitida a cada grupo de animales proveniente de la generación base, sobre la cual se ha tomado la decisión de selección (GIBSON, 1992).

La transmisión de genes se puede definir en términos de una proporción de genes en un grupo de animales procedentes de la población base (HILL, 1974) o en términos de porcentaje del mérito genético aditivo de los animales de la población base transmitido a su descendencia (ELSEN, 1980).

Estimar la proporción según la cual se transmiten los genes a lo largo de los años en los distintos grupos de animales, precisa definir la población base, conocer la estructura de la población, es decir, definir los distintos grupos de animales, el período de tiempo necesario para que un animal pase de un grupo a otro y la forma según la cual se transfieren los genes entre grupos de animales (reproducción o envejecimiento) (GROEN y VAN ARENDONK, 1997).

La elección de la población base depende del objetivo de selección y del beneficiario de la decisión de selección tomada, por lo que puede estar formada únicamente por sementales, por hembras o por los dos juntos. El número de grupos de animales que estructura la población se determina según los cambios del estado fisiológico de cada sexo. El periodo de tiempo según el cual se rige el cambio de un grupo a otro depende de la especie animal considerada y del sistema de producción. Por ejemplo, en porcino los intervalos de tiempo considerados son de 6 meses mientras que en vacuno de leche son de un año (GROEN y VAN ARENDONK, 1997).

La transmisión de genes se sigue y se estima durante la vida de una generación, por lo que la estimación de la proporción de genes en cada clase o grupo de animales se hace periódicamente, siendo el intervalo de tiempo de cada periodo igual al periodo de tiempo de cada clase de edad.

Sea $\mathbf{m}_t$ un vector de elementos $m_{t(i)}$ que define la proporción de genes de interés en la clase de sexo $\mathbf{l}$ con edad $\mathbf{i}$, en el tiempo $\mathbf{t}$.

Existen dos procesos que influyen en el tránsito de genes entre un grupo de animales y otro: la reproducción y el envejecimiento.

$$\mathbf{m}'_t = \begin{bmatrix} m_{1t}(1) & m_{1t}(2) & \dots & m_{1t}(n) & m_{2t}(1) & m_{2t}(2) & \dots & m_{2t}(q) \\ \text{n clases de edad de los machos} & & & & \text{q clases de edad de las hembras} & & & \end{bmatrix}$$

$\mathbf{m}_t$ se calcula como :

$$\mathbf{m}_t = [\mathbf{R} + \mathbf{Q}] \mathbf{m}_{t-1} = \mathbf{P} \cdot \mathbf{m}_{t-1} \quad (\text{GROEN y VAN ARENDONK, 1997})$$

Donde:

$\mathbf{R}$: matriz que describe la transmisión de genes por reproducción entre las distintas clases de edad (las $\mathbf{n}$ clases de machos y $\mathbf{q}$ clases de hembras).

$\mathbf{Q}$: matriz que describe la transmisión de genes por envejecimiento entre animales de distintas clases de edad.

$\mathbf{m}_{t-1}$: es la proporción de genes que hay en cada clase de edad y sexo en el momento $\mathbf{t-1}$.

$\mathbf{P}$: matriz de probabilidad de transición de genes por las dos vías (reproducción y envejecimiento) entre animales de distintas clases.

La forma general de $\mathbf{P}$ es la siguiente :

Clases de edad-sexo de donde proceden los genes

$\mathbf{P}$ = clases de edad - sexo a donde llegan los genes

$$\left\{ \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1,n+q} \\ \cdot & \dots & \dots & \cdot \\ \cdot & \dots & \dots & \cdot \\ p_{n+q,1} & \dots & \dots & p_{n+q,n+q} \end{bmatrix} \right\}$$

Donde:

p_{ij} : proporción de genes en la clase de edad-sexo $\mathbf{i}$ en el tiempo $\mathbf{t}$ que procede de la clase edad-sexo $\mathbf{j}$ en el tiempo $\mathbf{t-1}$.

Los elementos de $\mathbf{m}_t$ en cada periodo se calculan de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} m_1 &= \mathbf{P} \cdot m_0 \\ m_2 &= \mathbf{P} \cdot m_1 \\ &\dots \dots \dots \\ m_t &= \mathbf{P} \cdot m_{t-1} \end{aligned}$$

m_t se define en función de la proporción de genes en la generación de base (m_0) de la siguiente forma:

$$m_t = P^t \cdot m_0$$

Resumen de los estudios económicos más recientes en vacuno de leche

En este apartado se recapitulan los trabajos más recientes que han estimado los pesos económicos de los caracteres de producción y de los caracteres funcionales en vacuno de leche.

Los pesos económicos dependen de los parámetros económicos del mercado, del sistema y nivel de producción y de la metodología utilizados en cada estudio, por lo que no es adecuado comparar los valores obtenidos entre un estudio y otro (GROEN *et al.*, 1997b). Por este motivo, se va a hacer más énfasis en describir la metodología y las condiciones de cada estudio, que en comparar e intentar dar explicaciones a las divergencias entre los valores económicos de un carácter determinado en un estudio y otro.

Pesos económicos de los caracteres productivos

Numerosos estudios han estimado recientemente los pesos económicos de la producción de leche y de sus componentes en distintos sistemas de producción, condiciones de mercado y bajo diferentes perspectivas (VAN ARENDONK *et al.*, 1985; WILMINK, 1988; GIBSON, 1989; GROEN, 1989b y c; GIBSON, 1992; BEKMAN y VAN ARENDONK, 1993; HARRIS y FREEMAN, 1993; COLLEAU *et al.*, 1994; STEVERINK *et al.*, 1994; VISSCHER *et al.*, 1994; VEERKAMP, 1996; PIETERS *et al.*, 1997).

El primer trabajo que tuvo en cuenta las incidencias de la cuota sobre los objetivos de selección fue el de VAN ARENDONK *et al.* (1985). En este trabajo se ha realizado una aplicación de las consideraciones teóricas, desarrolladas por BRASCAMP *et al.*, (1985) y SMITH *et al.*, (1986), estudiando el efecto del redimensionamiento de las explotaciones lecheras en los márgenes económicos. VAN ARENDONK *et al.*, (1985) consideran dos situaciones extremas: una en la cual hay una cantidad fija de factores de producción (forraje) (si el número de animales disminuye, cada animal tendrá que consumir más factores de producción) y la otra donde la cantidad de factores de producción consumida por animal es fija y la disminución del número de animales, como consecuencia de la cuota, implica una sobreproducción de factores de producción que será vendida. La aplicación de la cuota sobre la producción en la primera situación, considerada como más verosímil, ocasionó una revalorización de la selección sobre los dos porcentajes (grasa y proteína). La pérdida económica debida a la aplicación de la cuota fue evaluada en un 18% del progreso económico ligado a la mejora genética antes de la instauración de la cuota.

WILMINK (1988) estudió la posibilidad de modificar la composición de la leche a través de un programa de mejora genética. Se estimaron los pesos económicos de la leche y de sus componentes en una situación de libre mercado y en presencia de cuota. La desviación típica del índice de selección establecido disminuyó en un 40% de su valor inicial al imponer el sistema de cuota, lo que genera una reducción en la rentabilidad de la selección por caracteres productivos y, por lo tanto, aumenta el interés relativo en los caracteres llamados secundarios.

GIBSON (1989), con una metodología similar a la de VAN ARENDONK *et al.*, (1985), estima los pesos económicos del volumen de leche, de grasa y de proteína en ausencia y presencia de restricciones sobre la producción de leche en las condiciones económicas inglesas. Los gastos fijos fueron considerados como proporcionales al número de vacas y los gastos de alimentación suplementarios de los animales seleccionados fueron cubiertos por un suplemento de pienso. En este trabajo, el peso económico de la grasa disminuye en un 60% de su valor inicial al instaurar la cuota.

GROEN (1988, 1989b,c, 1990) estudia la incidencia de la cuota, en las condiciones holandesas, sobre el comportamiento general del beneficio de un programa de mejora genética. El peso económico de la grasa disminuye en un 62% de su valor inicial bajo un sistema de cuotas.

HARRIS y FREEMAN (1993), mediante una programación lineal, han estudiado el efecto de diferentes niveles de progreso genético para distintos caracteres (especialmente la grasa) en un rebaño de 80 vacas durante 10 años. El peso económico de los caracteres considerados ha sido calculado variando el beneficio total y cuando el progreso genético de un carácter determinado varía en una unidad, manteniendo los demás caracteres en unos niveles constantes y teniendo en cuenta una perspectiva de un número fijo de animales en el rebaño. En situación de cuota, el peso económico de la grasa disminuye en un 105% de su valor inicial y el de proteína aumenta en un 25%. Este resultado ha sido posible debido a una hipótesis poco verosímil que supone que el volumen de leche y de grasa que excede de la cuota no serán pagados, mientras que la proteína sí, por lo que el peso económico de la proteína sale favorecido en situación de cuota.

BEKMAN y VAN ARENDONK (1993) han establecido una función de beneficio para estimar la importancia económica de la producción de leche, la producción de carne, la dificultad al parto y la mortalidad de los terneros en los rebaños de vacuno de leche dentro de las circunstancias de producción y de mercado holandeses. Bajo una situación de cuota, los pesos económicos del volumen de leche, de la grasa y de la proteína disminuyen en un 300, 81,7 y 1,7% de sus valores iniciales, respectivamente.

COLLEAU *et al.*, (1994) han estudiado las modificaciones introducidas en el índice de selección (INEL) en Francia en 1993 para ajustar la importancia relativa de cada carácter a las condiciones de la cuota. Han sido consideradas distintas alternativas y condiciones de mercado para estudiar la eficiencia y la adaptabilidad del nuevo INEL a diferentes circunstancias de producción. El nuevo INEL limita drásticamente la producción de grasa, estimula el aumento del porcentaje de proteína y favorece animales con mayor cociente % proteína / % de grasa. La aplicación de la cuota reduce el peso económico de la grasa en más del 100% de su valor inicial, por lo que un incremento en el nivel genético para la producción de grasa, pasa de ser premiado a ser penalizado.

VISSCHIER *et al.*, (1994) han estimado los pesos económicos de los caracteres de producción de leche (volumen de leche, de grasa y de proteína) en un sistema de producción basado en el pastoreo en Australia. Los factores de producción (alimentos) han sido considerados como constantes por lo que un aumento en las necesidades energéticas de los animales seleccionados genera una disminución del número de animales. Han sido estudiadas varias situaciones de nivel de producción, de parámetros econó-

micos, etc. La producción de leche y de grasa tienen la misma importancia económica, que es equivalente al 40% de la importancia económica de la proteína.

VEERKAMP (1996), utilizando un modelo bioeconómico, ha estimado los pesos económicos de los caracteres de producción, de la capacidad de ingestión y del peso adulto de los animales considerando dos niveles de producción. Los pesos económicos de los caracteres productivos no varían al pasar de una producción base de 5.500 kg./vaca/año a una producción de 7.700 kg./vaca/año, dado que no se ha considerado ninguna restricción sobre el nivel productivo.

PIETERS *et al.* (1997), utilizando el mismo modelo desarrollado por Bekman y VAN ARENDONK (1993), han estudiado tres sistemas de pago de la leche en distintas regiones de Italia y la incidencia de la introducción de la cuota sobre cada uno de ellos. Los valores económicos de los caracteres productivos disminuyen entre un 47 y un 52 % de sus valores iniciales con la instauración de la cuota. La diferencia de la renta económica entre un sistema de pago y otro, ambos sin cuota, varía de un 4,2 a un 16,7%. Sin embargo, al aplicar la cuota láctea, la diferencia entre los sistemas de pago asciende a un 57% en algunos casos.

Peso económico de los caracteres funcionales

Longevidad

La longevidad es un componente muy importante en la rentabilidad económica de las ganaderías de vacuno de leche. El incremento en longevidad de los animales aumenta el beneficio global de una ganadería de cuatro formas: reduce los gastos de

reemplazo por vaca y por rebaño, cambia la estructura de edades en el rebaño, aumentando la proporción de las vacas adultas en máximo de producción, incrementa la intensidad de selección voluntaria generando así más progreso genético y aumenta la proporción de vacas en producción con respecto a las novillas en todo el rebaño. Para valorar la importancia económica de la longevidad, se necesita un modelo bastante extenso y técnicas de programación matemática sumamente complejas (GROEN *et al.*, 1997a).

La optimización del momento y la intensidad del reemplazo en un rebaño, así como la importancia económica de la longevidad, están estrechamente ligados con la magnitud relativa del coste de criar o comprar una novilla con respecto al coste de recuperar, y por lo tanto, no desechar una vaca (VAN ARENDONK, 1985).

Se han considerado dos enfoques para valorar la importancia económica de la longevidad. El primero valora el beneficio marginal generado por un aumento en la vida productiva de las vacas (VAN ARENDONK, 1991; ALLAIRE y GIBSON, 1992; HARRIS y FREEMAN, 1993; WEIGEL *et al.*, 1995 y PIETERS y BAGNATO, 1996) y el segundo estima el beneficio económico provocado por una reducción en el porcentaje de desecho involuntario (VAN ARENDONK, 1985; ROGERS *et al.*, 1988 y BRANDTS *et al.*, 1996).

La importancia económica de la longevidad respecto a la producción de leche en un programa de mejora genética ha sido estimada en varios trabajos. Los resultados son bastante contradictorios. ALLAIRE y GIBSON (1992), DEKKERS (1993) y VAN RADEN y WIGGANS (1995) concluyen que el beneficio generado por la producción de leche es de 2,5 a 2,7 veces más importante

que el beneficio debido a una vida productiva más larga. Sin embargo, ROGERS *et al.*, (1989) y VAN ARENDONK (1991) afirman que el peso económico de la producción lechera, respecto a la vida productiva, varía solamente de 0,8 a 1,4 veces. Los distintos planteamientos seguidos en cada uno de los estudios (considerar o no el coste de oportunidad, ajustar o no la vida productiva por la producción de leche, etc.), así como la sensibilidad de estas evaluaciones económicas a los sistemas de producción y las condiciones de mercado podrían explicar dichas diferencias (GROEN *et al.*, 1997b).

Recuento de células somáticas

La estimación de la importancia económica del recuento de células somáticas suscita dos puntos de discusión, la no linealidad del beneficio respecto a los niveles del recuento celular y la separación entre los costes debidos exclusivamente a un alto recuento celular y los costes generados por una infección mamaria.

El recuento de células somáticas a determinados niveles no tiene ninguna consecuencia sobre el beneficio global de una ganadería. Sin embargo, como consecuencia de una infección mamaria, el recuento celular supera rápidamente esos niveles y estará acompañado de una reducción en la cantidad y la calidad de producción de leche. Por ella, el recuento de células somáticas no influye de forma lineal sobre el beneficio. WELLER *et al.*, (1996) han definido una función de beneficio no lineal para el recuento de células somáticas según las condiciones de producción y de mercado en Israel. Sin embargo, concluyeron que cuando la función de beneficio no es lineal, no hay una solución uniforme y única a la hora de establecer un índice de selección que

maximice el beneficio. El índice que maximiza el objetivo de selección en las siguientes generaciones depende de la intensidad de selección, sobre todo si la media de la población está cerca del óptimo económico (WELLER *et al.*, 1996).

Los costes de un alto recuento celular se confunden frecuentemente con las pérdidas y los costes de una infección subclínica mamaria (RENEAU y PACKARD, 1991, SCHEPERS y DIJKHUIZEN, 1991). El recuento de células somáticas influye negativamente en el beneficio, principalmente a través de un deterioro de la composición química y la calidad higiénica de la leche. La mayoría de los países del entorno económico español han incluido en los criterios de pago de la leche una penalización a partir de determinados niveles de recuento celular a nivel del tanque (REENTS, 1997).

KOLSTAD y DEKKERS (1994) han estimado la importancia económica del recuento celular en la primera y segunda lactación, contabilizando como único coste el deterioro de la calidad y la cantidad de los componentes de la leche relacionados con la producción de queso.

WELLER *et al.*, (1996) estimaron la importancia económica del recuento de células somáticas considerando únicamente la penalización en el sistema de pago de la leche a partir de determinados niveles de recuento celular.

El peso adulto de las vacas en producción

El peso adulto de las vacas en vacuno de leche muestra generalmente un peso económico negativo (GROEN *et al.*, 1997a). Los gastos marginales asociados al incremento de las necesidades energéticas tanto para el crecimiento de las novillas de recria como

para el mantenimiento de las vacas en producción, superan los ingresos marginales generados por un aumento en el peso de los animales desechados (GROEN, 1989b).

El peso económico del peso adulto se estima generalmente sin tener en cuenta los cambios que podrían ocurrir en la composición corporal de los animales. La magnitud de los valores económicos estimados en la bibliografía depende principalmente de los costes de alimentación y del precios de la carne asumido en cada estudio (GROEN, 1989b).

VISSCHER *et al.*, (1994) han estimado el peso económico del peso adulto en un sistema de producción basado en pastoreo en Australia concluyendo que, al limitar la cantidad de forraje disponible en cada explotación, el peso económico del peso adulto disminuye drásticamente. MORRIS y

WILTON (1977) y GROEN (1989b) dedujeron que al ignorar el periodo de recría, el peso económico del peso adulto se veía poco influenciado por el sistema de producción y las condiciones de mercado.

Ejemplo práctico de un estudio económico en vacuno de leche

Datos Utilizados

En este estudio se han utilizado datos del programa de Gestión Técnico-Económica de los 3 centros provinciales (Lurgintza, Lorra y Asgafal) de la Comunidad Autónoma del País Vasco correspondientes a 239 explotaciones durante año 1995 y datos económicos y productivos correspondientes al año 1997, de 22 explotaciones pertenecientes a la Cooperativa Alta Moraña, en Ávila.

CUADRO 2
MEDIAS DE LOS PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y ECONÓMICOS MÁS RELEVANTES CALCULADAS SOBRE LOS DATOS DE LAS GANADERÍAS DE LA COOPERATIVA ALTA MORÑA Y DEL PAÍS VASCO

		País Vasco	Alta Moraña
Datos productivos			
Producción de leche	(kg.vaca ⁻¹ .año ⁻¹)	7.850	8.630
Producción de grasa	(kg.vaca ⁻¹ .año ⁻¹)	298	379
Producción de proteína	(kg.vaca ⁻¹ .año ⁻¹)	235	309
Longitud de la vida productiva	(años)	4,02	3,64
Intervalo entre partos	(días)	402	415
Precios y costes del mercado			
Leche	(ptas.kg ⁻¹)	42,4	49,01
Volumen de leche (i _{Volumen})	(ptas.kg ⁻¹)	10,49	10,54
Grasa (i _{Grasa})	(ptas.kg ⁻¹)	420,49	510,54
Proteína (i _{Proteína})	(ptas.kg ⁻¹)	550,49	710,54
Terneros	(ptas.kg de peso vivo ⁻¹)	850	337
Vacas de desecho	(ptas.kg de peso vivo ⁻¹)	194	145
Gastos globales de recría	(ptas.novilla ⁻¹)	218.941	256.341
Coste de una unidad forrajera			
ración de las vacas	(ptas.UFL ⁻¹)	27,40	31,67
ración de las novillas	(ptas.UFL ⁻¹)	25,90	38,40

El cuadro 2 expone las medias de los parámetros productivos y económicos más relevantes correspondientes a las ganaderías del País Vasco y la cooperativa de Alta Moraña.

Descripción de la función de beneficio utilizada

El modelo utilizado es un modelo estático, en el cual el beneficio anual de cada rebaño ha sido descrito en función del número de animales (N) y de los caracteres productivos y funcionales siguientes:

- kg. de Volumen de Leche a 305 días (V)
(Volumen de leche = kg. de leche total - kg de Grasa - kg de Proteína)
- kg. de Grasa a 305 días (G)
- kg. de Proteína a 305 días (P)
- Longitud de Vida Productiva (L)

El beneficio anual se contabilizó como ingresos menos gastos. Se asume que el cambio en el mérito genético de un carácter determinado no genera cambios en los ingresos ni en los gastos que pudieran derivarse del cambio asociado en los demás caracteres y tampoco en los parámetros técnicos y económicos iniciales. El único cambio posible se refiere al número de animales. Una restricción sobre la producción, como es el caso de la cuota, se traducirá en una reducción del efectivo de cada rebaño.

La ecuación general del beneficio anual dentro de cada rebaño es similar a las desarrolladas en los trabajos de GROEN (1988, 1989b, c), GIBSON (1989), VAN ARENDONK y BRASCAMP (1990), BEKMAN y VAN ARENDONK (1993) y PIETERS *et al.*, (1997).

$$\beta = N (I_a - G_a) - G_f$$

donde:

N : Número de vacas presentes en el rebaño.

I_a : Ingresos de una vaca durante un año.

G_a : Gastos de una vaca durante un año.

G_f : Gastos fijos del rebaño.

El beneficio anual de cada animal β_a es igual a : $\beta_a = I_a - G_a$.

Los ingresos relacionados con la actividad de vacuno de leche considerados son de dos tipos:

- Ingresos por venta de leche.
- Ingresos por venta de carne.

Los ingresos de cada animal debidos a la venta de leche (I_{VL}) dependen de su cantidad (I) y de su calidad que es el contenido en grasa y proteína.

$$I_{VL} = I [p_L + p_G \cdot (G - G_0) + p_P \cdot (P - P_0)]$$

Donde:

I : Producción media de leche (kg.).

G : Contenido en grasa de un kg. de leche (g/kg. de leche).

P : Contenido en proteína de un kg. de leche (g/kg. de leche).

G_0 : Grasa de referencia según el criterio de pago (g/kg. de leche).

P_0 : Proteína de referencia según el criterio de pago (g/kg. de leche).

p_L : Precio de la leche (ptas/kg).

p_G : Prima de calidad de la grasa (ptas/g/kg de leche).

p_P : Prima de calidad de la proteína (ptas/g/kg de leche).

Los ingresos anuales por venta de carne (I_{VC}) proceden de la venta de vacas de desecho y terneros recién nacidos.

$$I_{VL} = [(p_{VD} + PV_{GD}) (1/L - Mortd_v) + (p_{tr}) (NP (1 - Mortd_t))]$$

Donde:

p_{VD} : Precio de un kg. de peso vivo de las vacas de desecho (ptas.kg⁻¹).

PV_{VD} : Peso medio de las vacas desechadas (kg.).

p_{tr} : Precio medio de un ternero recién nacido (ptas.ternero⁻¹)

Número de vacas de desecho = $N_{VD} = N * (1/L - Mortd_v)$

L : Longitud de la vida productiva media de las vacas del rebaño (años).

N : Número de vacas presentes en el rebaño.

$Mortd_v$: Mortalidad de las vacas en tanto por uno.

Número de terneros vendidos = $N_{TV} = N (NP) (1 - Mortd_t)$

$$G_a = c_g \cdot G + c_p \cdot P + c_v \cdot V + C(E_{Mant_v}) + C(E_{Crec_v}) + C(E_{gest_v}) + GF_v + (1/L + Mortd_N) \left(\underbrace{C(E_{Mant_N}) + C(E_{Crec_N}) + C(E_{gest_N}) + GF_N}_{G_{recría}} \right)$$

Donde:

c_g , c_p y c_v : Costes marginales de producir un kilo de grasa, proteína y volumen de leche, respectivamente (ptas.kg⁻¹).

G , P y V : Producción media de grasa, proteína y volumen de leche (kg.vaca⁻¹.año⁻¹).

$C(E_{Mant_v})$: Coste de la energía de mantenimiento de las vacas (ptas.vaca⁻¹.año⁻¹).

$C(E_{Crec_v})$: Coste de la energía de crecimiento de las vacas (ptas.vaca⁻¹.año⁻¹).

NP : Número de partos por año = 365 / IP

IP : Intervalo entre partos (días).

$Mortd_t$: Mortalidad de terneros en tanto por uno.

Los gastos de cada ganadería han sido detallados tanto para vacas en producción como para novillas de reemplazo. Para cada grupo de animales se han considerado dos tipos de gastos: gastos de alimentación y gastos fijos por animal.

Los gastos de alimentación han sido definidos en términos de necesidades energéticas. Las necesidades energéticas de las vacas en producción se han calculado en energía neta de leche y se han expresado en Unidades Forrajeras Leche (UFL), distinguiendo los diferentes estados fisiológicos, conservación o mantenimiento, gestación, crecimiento y lactación.

La ecuación global de los gastos de cada animal (G_a), dentro de una ganadería durante un año, es la siguiente:

$C(E_{gest_v})$: Coste de la energía de gestación de las vacas (ptas.vaca⁻¹.año⁻¹).

GF_v : Gastos fijos por vaca (ptas.vaca⁻¹.año⁻¹).

L : Longitud de la vida productiva (años).

$Mortd_N$: Mortalidad entre las novillas en el periodo de recría en tanto por uno.

$C(E_{Mant_N})$: Coste de la energía de mantenimiento de las novillas (ptas.novilla⁻¹).

$C(E_{CrecN})$: Coste de la energía de crecimiento de las novillas (ptas.novilla⁻¹).

$C(E_{gestN})$: Coste de la energía de la primera gestación de las novillas (ptas.novilla⁻¹).

GF_N : Gastos fijos por novilla en el periodo de recría (ptas.novilla⁻¹).

Los costes marginales c_i (i = grasa, proteína, volumen) se calculan multiplicando los gastos energéticos necesarios (GE_i) por el coste de una unidad forrajera (p_{UFL}):

$$c_i = p_{UFL} \cdot GE_i$$

Cálculo de los pesos económicos

Para calcular el peso económico de un carácter determinado se deriva parcialmente la función de beneficio (β) con respecto a dicho carácter manteniendo los demás caracteres en sus niveles medios de producción en los rebaños del estudio.

Los pesos económicos de los caracteres de producción de leche han sido calculados considerando dos situaciones: una de libre mercado y otra en la cual opera la cuota sobre productos lácteos impuesta por la Unión Europea.

El peso económico a_{x_i} de un carácter x_i en situación de libre mercado se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$a_{x_i} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial x_i} = \frac{\partial I_a}{\partial x_i} - \frac{\partial G_a}{\partial x_i} \Big|_{x=\mu} \quad (3)$$

Donde:

x_i : Valor del carácter considerado.

x : Vector de todos los caracteres.

μ : Valores medios de todos los caracteres en la población del estudio.

En el caso de una restricción sobre la producción, como es el caso de la cuota, el número de animales en el rebaño no es constante. El peso económico a_{x_i} de un carácter x_i se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$a_{x_i} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\partial \beta}{\partial x_i} = \frac{\partial I_a}{\partial x_i} - \frac{\partial G_a}{\partial x_i} + \frac{1}{N} (I_a - G_a) \cdot \frac{\partial N}{\partial x_i} \Big|_{x=\mu} \quad (4)$$

El régimen de tasa suplementaria en el sector lácteo, más conocido como régimen de cuotas, fue impuesto por la Comunidad Europea en 1984 con el fin de mantener el equilibrio del mercado de los productos lácteos en la Unión Europea, permitiendo al mismo tiempo la evolución estructural del sector. La cuota asignada a cada ganadero está compuesta por dos elementos: una cantidad de referencia de leche a producir y un porcentaje de grasa de referencia que tiene que contener como máximo la leche producida. Según este sistema, los productores de leche deben pagar una multa de 115% del precio de la leche, llamada tasa suplementaria, por cada kg. de leche que venden a las centrales lecheras y que supere la cuota de leche equivalente asignada. La cantidad de leche equivalente, sobre la cual se aplica la tasa suplementaria, es la cantidad de leche producida después de su eventual corrección por la diferencia entre su contenido en grasa y la grasa de referencia. El volumen de leche equivalente al nivel de grasa de referencia en un rebaño se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = N [leche (1 + kg \cdot (pg - pg_{ref}))]$$

Donde:

Q : Volumen de leche con un nivel de grasa igual a la grasa de referencia (kg).

N : Número de vacas en producción.

Leche : Producción de leche media en el rebaño (kg.vaca^{-1}).

k_g : Factor de escala que traduce las décimas de diferencia entre los niveles de grasa en kg . de leche ($=18$).

pg : Porcentaje de grasa medio de la leche producida en el rebaño en tanto por uno.

pg_{ref} : Porcentaje de grasa de referencia en tanto por uno ($=0,037$).

Teniendo en cuenta que:

$$leche = V + G + P \text{ y } leche \cdot pg = G$$

la expresión de la cuota queda:

$$\begin{aligned} Q &= N \left[leche \left(1 + k_g \cdot (pg - pg_{ref}) \right) \right] \\ &= N \left[\underbrace{(1 - k_g \cdot pg_{ref}) \cdot V}_{q_v} + \underbrace{(1 - k_g \cdot pg_{ref} + k_g) \cdot G}_{q_g} \right] \\ &= N \left[q_v \cdot V + q_g \cdot G + q_p \cdot P \right] \\ &= N \sum_{i=1}^3 q_i \cdot x_i \end{aligned}$$

La derivada de la cantidad de leche equivalente en situación de cuota con respecto a la producción de leche y sus componentes es por definición igual a cero:

$$\frac{\partial Q}{\partial x_i} = \frac{\partial N}{\partial x_i} \cdot \sum_{i=1}^3 q_i \cdot x_i + N \cdot q_i = 0$$

Por lo que,

$$\frac{\partial N}{\partial x_i} = -N \cdot \frac{q_i}{\sum_{i=1}^3 q_i \cdot x_i}$$

Sustituyendo la derivada de N con respecto a x_i en (4), obtendremos la expresión del

peso económico de la producción de leche y de cada uno de sus constituyentes bajo una situación de cuota:

Peso económico del volumen de leche:

$$a_{\text{Volumen}} = i_{\text{Volumen}} - c_{\text{Volumen}} - \frac{q_v}{\sum q_i \cdot x_i} \cdot \beta_a$$

Donde:

i_{Volumen} : Ingreso marginal de un kg . de volumen de leche (ptas.kg^{-1}).

c_{Volumen} : Coste marginal de un kg . de volumen de leche (ptas.kg^{-1}).

Peso económico de la grasa:

$$a_{\text{Grasa}} = i_{\text{Grasa}} - c_{\text{Grasa}} - \frac{q_g}{\sum q_i \cdot x_i} \cdot \beta_a$$

Donde:

i_{Grasa} : Ingreso marginal de un kg . de grasa (ptas.kg^{-1}).

c_{Grasa} : Coste marginal de un kg . de grasa (ptas.kg^{-1}).

Peso económico de la proteína:

$$a_{\text{proteína}} = i_{\text{proteína}} - c_{\text{proteína}} - \frac{q_p}{\sum q_i \cdot x_i} \cdot \beta_a$$

Donde:

$i_{\text{Proteína}}$: Ingreso marginal de un kg . de proteína (ptas.kg^{-1}).

$c_{\text{Proteína}}$: Coste marginal de un kg . de Proteína (ptas.kg^{-1}).

Al derivar la función de beneficio β con respecto a L , la expresión del peso económico de la longevidad es la siguiente:

$$a_L = \frac{-P_{VD} \cdot PV_{VD} + G_{recria}}{L^2}$$

Estimación de las expresiones acumulativas de descuento para cada carácter

Las expresiones acumulativas de descuento para los caracteres kg. de leche, volumen de leche, de grasa, de proteína y longitud de la vida productiva han sido calculados mediante el programa informático denominado “geneflow” (BRASCAMP, 1978) basado en los conceptos descritos por Hill (1974) y BRASCAMP (1975).

Descomponiendo las vías de progreso genético, la población base de la cual parten los genes ha sido dividida en dos grupos:

– Sementales de inseminación artificial subdivididos en 9 clases donde cada una representa un año de edad. Se asume que los toros se ponen en prueba en el transcurso del tercer año de edad y obtienen las pruebas oficiales a los 6 años, es decir, entre el tercer y sexto año los toros no se utilizan, aunque esta última consideración

no se ha cumplido en los últimos años en España.

– Vacas y novillas de recría subdivididas en 9 clases que representan un año de edad. La edad al primer parto es de 24 meses, por lo que la producción de leche se inicia en el tercer año de edad.

La matriz que describe la transición de genes entre una clase de animales a otra, tanto por envejecimiento como por reproducción, ha sido definida siguiendo los pasos de GROEN (1990), utilizando una estructura de edades acorde con la distribución de las vacas en control lechero en España. La tasa de descuento utilizada ha sido del 5% acumulada sobre un periodo de 25 años.

Los vectores de incidencia de cada carácter (cuadro 3) han sido definidos teniendo en cuenta el número proporcional de animales y la expresión del carácter en cada clase de edad dentro de cada sexo. Las expresiones de descuento han sido calcula-

CUADRO 3
VECTORES DE INCIDENCIA UTILIZADOS EN LOS CÁLCULOS DE LAS EXPRESIONES DE DESCUENTO PARA LOS CARACTERES KG. DE LECHE, VOLUMEN DE LECHE, KG. DE GRASA, KG. DE PROTEÍNA, RECUENTO DE CÉLULAS SOMÁTICAS EN PRIMERA LACTACIÓN, LONGITUD DE LA VIDA PRODUCTIVA Y PESO ADULTO

Clases de edad y sexo																	
	Sementales									Vacas y novillas de reemplazo							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Leche	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.23	0.19	0.13	0.09	0.08
Volumen de leche	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.23	0.19	0.13	0.09	0.08
Grasa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.23	0.19	0.13	0.09	0.08
Proteína	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.23	0.19	0.13	0.09	0.08
Longitud de vida productiva	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.21	0.19	0.12	0.11	0.10

das considerando como en GROEN (1990) que las cuatro vías de progreso genético, padre-hijo, padre-hija, madre-hijo y madre-hija aportan el 43, 18, 33 y el 6% del progreso total, respectivamente.

Resultados y discusión

El cuadro 4 muestra los pesos económicos de los caracteres: volumen de leche, grasa y proteína según los parámetros económicos y niveles de producción en las dos zonas del estudio, considerando dos condiciones de producción, una de libre mercado y otra con las limitaciones de la cuota láctea.

El cuadro 5 muestra el peso económico de la longevidad según los parámetros productivos y de mercado en los cuales se envuelven las ganaderías de Alta Moraña y del País Vasco.

En situación de libre mercado, la mejora del potencial genético medio en un kg. de leche con un 3,8% de grasa y un 3% de proteína en las ganaderías del País Vasco y de Alta Moraña genera un beneficio marginal de 30,9 y 37,4 ptas. $\cdot$ vaca $^{-1}$ $\cdot$ año $^{-1}$, respectivamente.

Los principales componentes de la leche (grasa y proteína) muestran pesos económicos bastante distintos que reflejan el sistema de pago de la leche en cada zona, tanto por calidad como por cantidad. El

CUADRO 4
PESOS ECONÓMICOS DE LOS COMPONENTES DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN EL PAÍS VASCO Y ALTA MORAÑA, CONSIDERANDO DOS CONDICIONES DE PRODUCCIÓN: UNA DE LIBRE MERCADO Y OTRA BAJO LAS LIMITACIONES DE LA CUOTA (PTAS.KG $^{-1}$.VACA $^{-1}$.AÑO $^{-1}$)

	Situación de libre mercado			Situación de cuota		
	Alta Moraña	País Vasco	Variación (%)	Alta Moraña	País Vasco	Variación (%)
Volumen Leche	7,05	7,5	- 6,0	2,02	3,2	- 36,9
Grasa	323,19	258,4	+ 25,1	46,75	25,5	+ 83,3
Proteína	618,92	471,2	+ 31,4	613,89	467,0	+ 31,5

CUADRO 5
PESO ECONÓMICO DE LA LONGEVIDAD EN LAS CONDICIONES DE PRODUCCIÓN Y DE MERCADO DE ALTA MORAÑA Y EL PAÍS VASCO (PTAS.DÍA $^{-1}$.VACA $^{-1}$.AÑO $^{-1}$)

	Alta Moraña	País Vasco	Variación (%)
Longevidad	36,46	16,2	+ 125,1

volumen de leche muestra un peso económico positivo en las dos zonas en contra de lo que se puede observar en la mayoría de los trabajos realizados en países de nuestro entorno (WILMINK, 1988, GROEN, 1989c, BEKMAN y VAN ARENDONK, 1993, COLLEAU *et al.*, 1994 y PIETERS *et al.*, 1997).

A pesar de que el ingreso marginal por producir un kilo de volumen de leche en el caso de Alta Moraña es superior, los altos costes de alimentación registrados en dicha zona reducen el peso económico del volumen de leche un 6%. En situación de cuota, el mayor nivel de producción con respecto a la situación del País Vasco, eleva esta reducción hasta el 36,9%.

La mayor bonificación, dada por los porcentajes de grasa y proteína por parte de la central lechera de la Cooperativa de Alta Moraña, aumenta los pesos económicos de los caracteres producción de grasa y proteína, a pesar de los altos costes de alimentación y los mayores niveles de producción en los rebaños pertenecientes a la Cooperativa.

El alto coste de alimentación y, por lo tanto el mayor coste de recría, así como una vida productiva más corta de las vacas en los rebaños de Alta Moraña con respecto

a los rebaños considerados en el estudio del País Vasco, explican el considerable incremento en el peso económico de la longevidad.

El cuadro 6 muestra las expresiones acumulativas de descuento relativas a cada carácter y en cada vía de selección. Estas estimas se realizaron tendiendo en cuenta las diferencias tanto en formas como en tiempo de expresión entre los caracteres de producción y la longevidad.

Las expresiones de descuento son relativas a los animales de la población de base y expresan el efecto relativo de la mejora genética por una unidad en cada uno de los distintos caracteres con respecto al mismo hecho en la población base. Se expresan en animal/año por animal de la población base.

Las diferencias entre caracteres son debidas exclusivamente a las diferencias en las incidencias de expresión de las distintas clases de edad de cada sexo en la población. Mientras que las diferencias entre vías de selección son originadas en parte por los distintos momentos de introducción de genes, y por otra parte, por el tiempo que tardan en expresarse por primera vez los genes en la población.

CUADRO 6
EXPRESIONES ACUMULATIVAS DE DESCUENTO DE LOS DISTINTOS
CARACTERES APLICADAS A CADA VÍA DE SELECCIÓN
(ANIMAL · AÑO POR ANIMAL DE BASE)

Caracteres	Las distintas vías de progreso genético			
	padre-hijo	padre-hija	madre-hijo	madre-hija
Volumen de leche	0,196	0,597	0,642	0,661
Grasa	0,196	0,597	0,642	0,661
Proteína	0,196	0,597	0,642	0,661
Longevidad	0,188	0,580	0,624	0,643

Teniendo en cuenta la participación de cada vía de selección en el progreso genético total indicadas anteriormente, las expresiones acumulativas de descuento aplicadas a los caracteres de producción de leche y a la longevidad son de 0,443 y 0,429, respectivamente.

Por lo que sí queremos seleccionar por los tres componentes de producción de leche y por longevidad en las dos regiones en situación de cuota, el genotipo agregado en cada una de ellas quedaría definido como:

País Vasco:

$$H = 1,41 \text{ V. leche} + 11,29 \text{ Grasa} + 206,88 \text{ Proteína} + 6,95 \text{ Longevidad}$$

Alta Moraña:

$$H = 0,89 \text{ V. leche} + 20,71 \text{ Grasa} + 271,95 \text{ Proteína} + 15,64 \text{ Longevidad}$$

Donde:

H: El valor genético global verdadero de un animal expresado en pesetas

V. leche: El valor genético verdadero de un animal por volumen de leche (kg).

Grasa: El valor genético verdadero de un animal por producción de grasa (kg).

Proteína: El valor genético verdadero de un animal por producción de proteína (kg).

Proteína: El valor genético verdadero de un animal por longevidad (días).

Conclusión

Los pesos económicos de los tres componentes de la producción de leche en las dos regiones han sido distintos tanto en situación de cuota como en un mercado libre. Las diferencias existentes en los costes marginales de producción (principal-

mente los costes de alimentación) y en el sistema de pago de leche en cada zona son en gran medida las causas de dichas diferencias.

El beneficio marginal debido a la mejora genética de la longevidad de los animales es netamente superior en las ganaderías de Alta Moraña en comparación con el País Vasco dado los altos costes de cría y los bajos ingresos por venta de animales de desecho por un lado o por otro.

La introducción del sistema de cuota láctea reduce el peso económico de los tres componentes de la producción de leche, sobre todo el de grasa y del volumen de leche.

Las variaciones en las perspectivas de producción, en el nivel productivo y en las condiciones de mercado afectan sensiblemente los pesos económicos de los caracteres estudiados. Por lo que se generan distintas definiciones del genotipo agregado correspondiente a cada situación.

Conclusión

Definir correctamente el objetivo de un programa de mejora genética requiere una estimación exacta y real de la importancia económica de cada uno de los caracteres a seleccionar. Dicha estimación nos orienta, en acuerdo con las circunstancias de producción y de mercado, sobre los niveles óptimos de mejora a realizar en cada carácter con el fin de maximizar la rentabilidad económica de los sistemas de producción.

Una estimación correcta y fiable de los pesos económicos requiere una base teórica sólida, una función de beneficio apropiada de los aspectos productivos, económicos y sociales del sistema de producción, una

situación base definida a partir de datos reales y unas suposiciones cercanas a las circunstancias futuras de producción. Sin embargo, a nivel práctico, cumplir todas estas exigencias queda todavía como un desafío a pesar de que la definición de los objetivos de mejora, sobre todo en vacuno de leche que es el sector que más de cerca hemos estudiado, está cada vez de más interés.

Agradecimientos

Los autores agradecen a IKT y a la Cooperativa de Alta Moraña su colaboración en la realización de este estudio.

Bibliografía

- ALLAIRE F. R., and GIBSON J.P., 1992. Genetic value of herd life adjusted for milk production. *J. Dairy Sci.* 75, 1,349.
- ANDRUS D. F. and MCGILLIARD L.D., 1975. Selection of dairy cattle for Overall excellence. *J. Dairy Sci.* 58, 1,876.
- BEKMAN H. and VAN ARENDONK M., 1993. Derivation of economic values for veal, beef and milk production traits using profit equations. *Livest. Prod. Sci.* 34, 35.
- BLASCO A. y MUÑOZ A., 1994. Algunos aspectos económicos de los programas de mejora genética. VII Reunión sobre Mejora Genética Animal. Lleida.
- BRANDTS A., CANAVESI F., and CASSANDRO M., 1996. Economic weights for longevity in the Italian Holstein breed. In Proc. of the Open Session of the INTERBULL Ann. Meeting, Veldhoven. The Netherlands. Bulletin n.º 14, 76.
- BRASCAMP E.W., 1975. Model Calculations concerning economic optimization of A.I.-breeding with cattle. PhD Thesis. Dept. Animal Breeding, Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- BRASCAMP E.W., 1978. Methods on economic optimization of animal breeding plans. Report B- 134. Research Institute for animal Husbandry "Schoonoord", Zeist.
- BRASCAMP E.W., 1984. Selection indices with constraints. *Anim. Breed. Abstr.* 52, 645.
- BRASCAMP E.W., SMITH C., GUY D.R., 1985. Derivation of economic weights from profit equations. *Anim. Prod.* 40, 175.
- COLLEAU J.J., REGALDO D. and GASTINEL, P.L., 1994. Adaptation de l'index français de sélection laitière (INEL) au contexte des quotas. *INRA. Prod. Anim.* 7(3), 151.
- CHARFFEDDINE N., 1998. Selección por mérito económico global en el ganado vacuno frisón en España. Tesis doctoral, dpto. Producción animal. E.T.S.I. Agrónomos Madrid.
- CHARFFEDDINE N., ALEDA R., CARABAÑO M.J., BÉJAR F., 1995. La selección por el mérito total en el ganado vacuno de leche. *Frisona Española* n.º 89, 43.
- DEKKERS J.C.M., 1993. Theoretical basis for genetic parameters of Herd life and effects on response to selection. *J. Dairy. Sci.* 76, 1,433.
- DEKKERS J.C.M., 1994. Optimal Breeding strategies for calving ease. *J. Dairy Sci.* 77, 3,441.
- DIJKHUIZEN A.A., 1983. Economische aspecten van ziekten en ziektesbestrijding bij melkvee (with English Summary). Ph.D. Thesis. Veterinaire Faculteit, Utrecht.
- ELSLN J.M., 1980. Diffusion du progrès génétique dans les populations avec générations imbriquées: quelques propriétés d'un modèle de prévision. *Ann. Génét. Sél. Anim.* 12, 49.
- FRANCE J. and THORNLEY J.H.M., 1984. A quantitative approach to problems in agriculture and related sciences. Butterworths, London.
- GIBSON J.P., 1989. Economic weights and index selection of milk production traits when multiple production quotas apply. *Anim. Prod.* 49, 171.
- GIBSON J.P., 1992. The design and economics of animal breeding strategies. First Presented as Nordic Graduate course, Greve, Denmark.
- GROEN Ab.F., 1988. Derivation of economic values in cattle breeding. A model at farm level. *Agric. Systems* 27, 195.

- GROEN Ab.F., 1989a. Cattle breeding goals and production circumstances. PhD Thesis. Department of Farm Management and Department of Animal Breeding, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands.
- GROEN Ab.F., 1989b. Economic values in cattle breeding. I. Influence of production circumstances in situation without output limitations. *Livest. Prod. Sci.*, 22, 1.
- GROEN Ab.F., 1989c. Economic values in cattle Breeding. II. Influence of production circumstances in situations with output limitations. *Livest. Prod. Sci.*, 22, 17.
- GROEN Ab.F., 1990. Influences of production circumstances on the economic revenue of cattle breeding programmes. *Anim. Prod.*, 469.
- GROEN Ab.F., 1992. The derivation of economic values. Workshop on advanced biometrical methods in animal breeding. October 9th - 15th, Flawill, Switzerland.
- GROEN Ab.F. and RUYTER T.P.L., 1990. Derivation of economic values of milk production traits: a literature review. Proceeding 4th world congress on genetics applied to livestock production, Edinburgh. XIV, 191.
- GROEN Ab.F. and VAN ARENDONK J.A.M., 1997. Breeding Programmes. Lecture notes for E250-210. Department of Animal Breeding and Genetics, Wageningen Agricultural University.
- GROEN Ab.F., VAN ARENDONK J.A.M. and ANI, R. VOLLEMA., 1997a. On the use of opportunity costs in deriving the economic value of herd life. *Animal Science* (Submitted).
- GROEN Ab.F., STEINE T., COLLEAU J.J., PEDERSEN J. PRIBYL J. and N. Reinsch, 1997b. Economic values in dairy cattle breeding, with special reference to functional traits. Report of an EAAP-working group. *Livest. Prod. Sci.* 49, 1.
- HARRIS D.L., 1970. Breeding for efficiency in livestock production: defining the economic objectives. *J. Anim. Sci.* 30, 860.
- HARRIS B.L., FREEMAN A.E., 1993. Economic weights for milk yield traits and herd life under various economic conditions and production quotas. *J. Dairy Sci.* 76, 868.
- HAZEL L.N., 1943. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, 28, 476.
- HILL W.G., 1974. Prediction and evaluation of response to selection with overlapping generations. *Anim. Prod.* 18, 117.
- JAMES A. D. and ELLIS P.R., 1979. The evaluation of production and economic effects of disease. Proceedings 2nd International Sympo. on Veterinary Epidemiology and Economics. Canberra, 363.
- KEMPTHORNE O. and NORDSKOG A.W., 1959. Restricted selection indices. *Biometrics*, 15, 10.
- KOLSIAD B. and DEKKERS J., 1994. Incorporation of Mastitis into the breeding goal. Report to the Genetic Evaluation Board of Canada, 9.
- MOAV R., 1973. Economic evaluation of genetic differences. In: *Agricultural Genetics*. (R. Moav, ed.) Wiley, New York. 319.
- MORRIS C. A., and WILTON J.W., 1977. The influence of body size on the economic efficiency of cows: a review. *Anim. Breed. Abstr.*, 45, 139.
- PIETERS T. and BAGNATO A., 1996. Genetic parameters and economic values for longevity in the Italian Holstein breed. Int. Workshop on genetic improvement of functional traits in cattle. Gembloux, Belgium. *Interbull*, N.º 12.
- PILILERS T., CANAVISI F., CASSANDRO M., DADATI E., and VAN ARENDONK J.A.M., 1997. Consequences of differences in pricing systems between regions on economic values and revenues, of a national dairy cattle breeding scheme in Italy. *Livest. Prod. Sci.* 49, 23.
- REENTS R., 1997. Somatic cell count as an indicator trait for genetic selection against mastitis susceptibility. 48th Annual Meeting of EAAP, August 25-28, 1997, Vienna, Austria.
- RINEAU J. K., and PACKARD V.S., 1991. Monitoring Mastitis. Milk quality and economic losses in dairy fields. *Dairy, Food and Environmental Sanitation*, Vol. 11(1), 4.
- ROGERS G.W., VAN ARENDONK J.A.M., McDANIEL B.T., 1988. Influence of involuntary culling on optimum culling rates and annualized net revenues. *J. Dairy Sci.* 71, 3,463.
- Rogers, G. W., McDaniel, B. T., Dentine, M. R., Funk, D. A. 1989. Genetic correlation between survival and linear type traits measured in first lactation. *J. Dairy Sci.* 72, 523.
- SCHEPERS J. A. and DIJKHUIZEN A.A., 1991. The economics of mastitis and mastitis control in dairy cat-

- tle: a critical analysis of estimates published since 1970. *Prev. Vet. Med.* 10, 213.
- SMITH C., JAMES J. W. and BRASCAMP E. W., 1986. On the derivation of economic weight in livestock improvement. *Anim. Prod.* 43, 545.
- STEVENS M. H. A., GROEN A. F., and BERENTSEN P. B. M., 1994. The influence of environmental policies for dairy farms on dairy cattle breeding goals. *Livest. Prod. Sci.* 40, 251.
- TESS M. W., BENNETT G. L. and DICKERSON G. E., 1983. Simulation of genetic changes in life cycle efficiency of pork production. I. A bio-economic model. *J. Anim. Sci.* 56, 336.
- VAN ARENDONK J. A. M., 1985. Studies on the replacement policies in dairy cattle. II Optimum policy and influence of changes in production and prices. *Livest. Prod. Sci.* 14, 101.
- VAN ARENDONK J. A. M., 1991. Use of profit equations to determine relative economic value of dairy cattle herd life and production from yield field data. *J. Dairy Sci.* 74, 1101.
- VAN ARENDONK J. A. M. and BRASCAMP E. W., 1990. Economic considerations in dairy cattle breeding. 4th World congress on genetics applied to livestock production, Edinburgh. XIV, 78.
- VAN ARENDONK J. A. M., WILMINK J. B. M., and DIJKHUIZEN A. A., 1985. Consequences of a restriction of the herd milk production for the selection on milk, fat and protein. Adapting I:EC cattle breeding programmes to market realities. Krausslich H., and A. Lutterback, Editors. Commission of the European Communities, Brussels, 211.
- VAN RADEN P. M. and WIGGANS G. R., 1995. Productive life evaluations: calculation, Accuracy, and Economic value. *J. Dairy Sci.* 78, 631.
- VEERKAMP R. F., 1996. Liveweight and feed intake in dairy cattle breeding. Proceedings of International Workshop on Genetic Improvement of Functional Traits in Cattle, Gembloux, Belgium, January. Interbul. *Bullet.* 12, 173.
- VISSCHER P. M., BOWMAN P. J. and GODDARD M. E., 1994. Breeding objectives for pasture based dairy production systems. *Livest. Prod. Sci.* 40, 123.
- WEIGEL D. J., CASSELL B. G., HOESCHLE I., PEARSON R. E., 1995. Multiple-trait prediction of transmitting abilities for herd life and estimation of economic weights using relative net income adjusted for opportunity cost. *J. Dairy Sci.* 78, 639.
- WELLER J. I., 1994. Economic Aspects of Animal Breeding. Chapman & Hall, London, UK. 244.
- WELLER J. I., PASTERNAK H. and GROEN A. F., 1996. Selection indices for non-linear breeding objectives, selection for optima. Proc. Int. Workshop on Genetic Improvement of functional traits in cattle. Gembloux, Belgium, January 1996. 206.
- WILMINK J. B. M., 1988. Selection on fat and protein to maximize profit in dairy herds. *Livest. Prod. Sci.* 20, 299.