



Un acervo genético por explotar. En la foto un tipo de vaca ya no muy frecuente en las poblaciones de la raza asturiana de los valles.

# Mejora de la eficiencia productiva en ganado vacuno

## I. Ganado vacuno de carne

Javier Cañón

Dpto. de Producción Animal (Unidad de Genética y Mejora). Facultad de Veterinaria. 28040 Madrid

### INTRODUCCION

La actividad ganadera, entendida como actividad que llevan a cabo empresas privadas, tiene como objetivo principal la maximización de beneficios. Es bien conocido que la maximización de beneficios no tiene porqué obtenerse con la maximización de la producción, de forma que un aumento de la cantidad de producto vendido no tiene porqué provocar un aumento, ni del beneficio marginal, ni tan siquiera del beneficio bruto de la empresa. Por lo tanto, a partir de ahora, deberíamos tener claro que cuando se pregunta por el objetivo de una actividad ganadera: vacuno de leche, vacuno de carne, porcino, etc., no es muy preciso decir que el objetivo es aumentar la producción: cantidad de leche, cantidad de carne, etc.

Sin embargo, hasta no hace muchos años, incluso todavía hoy, era frecuente que empresas ganaderas o asocia-

ciones de ganaderos, ante la pregunta de cual es el objetivo a perseguir que les pudiera hacer algún genetista que les iba a asesorar sobre planes de mejora, contestaban únicamente con la necesidad de aumentar la cantidad de producto. Tal vez el más claro ejemplo en el ganado vacuno ha sido el de la industria lechera, donde el énfasis de los productores se centró exclusivamente, o casi, en el aumento de la producción de leche sobre la idea de que una máxima producción lechera era sinónimo de un máximo beneficio.

Queda claro, por lo tanto, que el objetivo que se persigue debe tener una forma de expresión de beneficios.

Los beneficios de una empresa son la consecuencia de muchos factores, y en este artículo me voy a referir a la contribución de la genética y, casi en exclusivo, a la contribución de la selección genética.

### PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROBLEMA

El esquema elemental de funcionamiento es el siguiente. Es necesario, en primer lugar, definir la función de beneficios donde aparecen explícitos las componentes más importantes que contribuyen a dicha expresión. Esta expresión suele ser una función compleja donde aparecen muchas variables que no se combinan necesariamente en forma lineal. Por ello se suele realizar una simplificación, y expresar esa función del beneficio como una función lineal de una serie de caracteres o variables biológicas (por ejemplo: cantidad de leche; peso al destete; dificultad de parto) ponderadas de acuerdo a su importancia económica relativa en la función de beneficios compleja.

Esta expresión simplificada (H) es lo que se suele llamar **objetivo de selección** o **genotipo agregado**.

Una vez definido H se trata de saber cual es el mérito genético de los animales para ese objetivo de selección, es decir, conocer la **capacidad de transmisión** de ese objetivo H por un animal a su descendencia. Puesto que el mérito genético de un animal para un objetivo de selección no es una variable observable directamente será necesario recurrir a la medición de uno o varios caracteres en el propio animal y/o en sus parientes de tal forma que si existe una elevada correlación entre estas mediciones y el mérito genético del individuo la indiferencia que hagamos sobre el mérito genético de un animal tendrá buena calidad, de forma que si decidimos seleccionar como padre a un determinado animal tenemos muchas probabilidades de

que el valor de H en la descendencia sea superior a la media de la población de donde proviene su padre.

Las medidas que realizamos en los animales y/o en sus parientes, adecuadamente combinadas con el fin de predecir el mérito genético es lo que se llama **INDICE DE SELECCION** o **CRITERIO DE SELECCION**. Estos índices son los que nos permiten clasificar a los animales por su mérito genético y, por lo tanto, tomar decisiones de selección.

El objetivo de este artículo será tratar de los problemas relacionados con la definición de las funciones de beneficio para el ganado vacuno de carne, en un segundo artículo se tratará el vacuno de leche.

**MEDIDA DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA**

La eficiencia productiva es un término de difícil consideración. Puede utilizarse una medida que incluya exclusivamente aspectos biológicos, económicos, o bien se pueden considerar ambos aspectos conjuntamente en la medida de la eficiencia productiva.

La eficiencia biológica como, por ejemplo, la expresada mediante los siguientes cocientes: cantidad de alimento utilizado/cantidad de producto; leche producida/alimento ingerido; energía ingerida/energía producida en forma proteica; proteína utilizada/proteína utilizable producida, etc. es de una validez limitada desde el momento que tiene en cuenta costes en términos monetarios, y estos pueden variar mucho con la edad del animal, capacidad reproductiva o calidad del producto. Por otro lado, la exclusiva utilización de la eficiencia económica, por ejemplo, costes/carne vendida, como criterio para la comparación tampoco parece ser idóneo, incluso se pueden realizar inferencias muy diferentes a las que se realizarían utilizando un criterio basado en eficiencia biológica (Brascamp, 1973).

Así, por ejemplo, utilizando como criterio de eficiencia biológica el cociente entre megajulios de energía ingerida y kg. de proteína cármica producida, la diferencia entre las eficiencias del pollo de carne y el ganado vacuno es de 336 a 1849, mientras que si utilizamos un criterio económico, como los costes totales durante el ciclo de vida por unidad de proteína cármica producida, los valores para las mismas especies son respectivamente de 5,4 a 15,9 (Dickerson, 1978). Es decir, la ventaja de los pollos de carne frente al ganado vacuno cuando se utiliza la eficiencia económica como criterio se ve muy reducida en relación a la que se obtiene al utilizar el criterio de eficiencia biológica.

Pero lo expuesto más arriba se ha aceptado como más eficaz la combinación de ambos criterios mediante cuantificación de los efectos biológicos sobre la eficiencia económica a través de los cocientes de tipo input/output o su recíproco.

Harris (1970) realiza una serie de comentarios sobre tres importantes aspectos relacionados con la eficiencia de la producción ganadera:

CUADRO I		
Aspectos sobre la inversión en mejora genética desde dos perspectivas, nacional o empresa		
	PERSPECTIVA	
	Nacional	Empresa
Objeto de la inversión	Mejora de las poblaciones nacionales	Mejora de los animales de la explotación
Tiempo entre la inversión y la obtención de ingresos	Largo	Corto
Ingresos que recibe el que invierte	Elevados	Bajos
Razones:	1) El valor de la mejora repercute en una mayor población 2) EL valor de la mejora permanece a lo largo del tiempo 3) El valor de la mejora que se realiza se va acumulando 4) El riesgo de no percibir ingresos es bajo	1) Ingresos por venta extra de reproductores 2) La superioridad competitiva es temporal 3) Es necesario continuar mejorando para mantener el diferencial 4) El riesgo de no percibir ingresos es alto
Inversión que se justifica	Elevada	Baja

CUADRO II					
Correlaciones genéticas entre algunos caracteres de interés en la selección del ganado vacuno de carne					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Peso nacimiento	(1)	0,57	0,70	0,60	0,50
Peso ternero destete	(2)		0,55	0,70	0,45
Peso adulto	(3)			0,50	0,50
Peso al año	(4)				0,80
Ganancia post-destete	(5)				

— eficiencia de la producción animal relativa a otras industrias de alimentos

— comparación de la eficiencia productiva entre diferentes especies y tipos de producción

— comparación de la eficiencia productiva entre empresas de la misma industria.

En este artículo tan sólo nos interesamos en el último aspecto.

Muchos problemas comienzan una vez comentado lo anterior ya que hay que tomar decisiones sobre las variables que deben considerarse dentro de los **inputs** y **outputs**. Si, por ejemplo, al considerar la eficiencia en la producción lechera utilizamos como único output los ingresos por leche y como único input los costes de alimentación, el cociente output/input tiene una correlación positiva con el tamaño de la vaca, de forma que dicho cociente será mayor, y por lo tanto mayor el beneficio del ganadero, cuanto mayor sea el tamaño de la vaca. Sin embargo, el valor de dicha correlación puede cambiar significativamente si en el numerador se consideran no sólo los ingresos obtenidos por la venta de la leche sino también los debidos a la venta de carne. Gill y Allaire (1976) justifican la inclusión como fuentes de ingresos de otros diferentes a los de la venta de la leche.

Si para todos parece evidente que será necesario identificar todas las fuentes de importancia relacionadas con ingresos y gastos, menos evidente parece en qué momento de la vida del animal se deben medir las variables que dan lugar a dichos ingresos y gastos, o cual ha de ser la base a utilizar, por ejemplo, ternero destetado, vaca, rebaño, etc, o que período de tiempo se ha de considerar, etc. Así, por ejemplo, Morris y Wilton (1976) indican que el factor tiempo tuvo una gran importancia en las comparaciones de variables biológicas entre animales con diferentes tamaños potenciales. El factor tiempo también tiene una gran importancia cuando se pretende realizar comparaciones sobre una base económica.

Además hay que tener en cuenta que actuaciones justificadas por eficientes cuando se considera un período de tiempo largo pueden ser llevadas a cabo si se plantean con una perspectiva nacional, mientras que es-

trategias diferentes podrían estar más justificadas si la perspectiva que se utilizara fuera a nivel de empresa.

La consideración de costes fijos y variables dependen también del horizonte temporal que se elija, de forma que si se considera un período de tiempo suficientemente largo todos los costes pueden ser considerados como variables.

El problema de la perspectiva a considerar, nacional o de empresa, dependerá de quién tiene la capacidad de decisión sobre la producción. En este sentido las actividades relacionadas con producciones animales divididos en diferentes segmentos productivos que no están integrados como, por ejemplo, el caso del ganado vacuno de carne, añaden dificultades sobre la toma de decisiones ya que, con frecuencia, existen intereses contrapuestos entre los diferentes segmentos productivos.

La perspectiva más frecuente que se ha utilizado ha sido la de empresa individual lo que supone diferencias en relación a la perspectiva nacional, tanto en lo que se refiere al horizonte temporal a utilizar, como al volumen de inversión que está justificado realizar, riesgo a considerar, etc. (Smith, 1978).

La eficiencia de un sistema de producción es una función de muchos factores, unos genéticos y otros no. El conjunto de factores genéticos y no genéticos interaccionan con frecuencia de forma que la eficiencia no es el resultado de la suma de todos los factores.

La utilización de técnicas de análisis de sistemas pueden permitir la comparación de la eficiencia de diferentes sistemas productivos mediante la aplicación de modelos matemáticos estáticos o dinámicos que simulen dichos sistemas productivos. Es fácil com-

CUADRO III

Correlaciones genéticas entre velocidad de crecimiento y eficiencia transformadora de alimentos con caracteres de canal y de conformación

	Velocidad crecimiento		Eficiencia transformadora	
	Edad fija	Peso fijo	Edad fija	Peso fijo
Rendimiento de canal al sacrificio	nula	negativa		
Peso de la grasa	elevada	negativa	nula	negativa
Peso del músculo	elevada	baja	elevada	media
Rendimiento muscular	nula	baja	media	media
Conformación en vivo	media	negativa		
Superficie long. dorsi	media	baja		

CUADRO IV

Porcentajes de las diferentes categorías de respuesta de la dificultad de Parto en función del tipo de ternero

Categoría	Tipo de ternero**		
	n	ac	c
1	53	44	36
2	42	41	36
3	4,5	11	20
4	0,4	0,5	3,4
5	1,3	4,4	5,1
N. <sup>o</sup>	1436	389	911

\* 1 parto normal; 2 ligera dificultad; 3 parto difícil; 4 cesárea; 5 presentación anormal.

\*\* n: ternero normal; ac: ternero aculonado; c: ternero culón.





**CALCULO DE LA IMPORTANCIA ECONOMICA RELATIVA**

Decía más arriba que el objetivo último de este artículo era el de presentar la medida de la eficiencia de beneficios mediante la utilización de funciones económicas de beneficios que permitirán el cálculo de la importancia económica relativa de los caracteres de interés en un programa de selección genética.

El cálculo de los factores de ponderación económica ha presentado problemas dado que eran fuertemente dependientes de la perspectiva que se considerara o la base de evaluación que se utilizaba. Por ejemplo, los pesos económicos podrían ser diferentes si se utilizaba como base la unidad de producto, el animal o la explotación. Todo esto hacía que se produjeran graves problemas de interpretación.

Recientemente Smith, James y Brascamp (1986) demostraron la posibilidad de obtener ponderaciones económicas independientes de la perspectiva o unidad que se considere con tal de hacer dos consideraciones. Puede ser importante describir detenidamente estas dos consideraciones.

La primera consideración hace referencia a que todos los costes, fijos y variables, deben ser incluidos en la función expresados por unidad de output. Si los costes fijos no se tuvieran en cuenta al considerar que no dependen de la cantidad de output, cualquier mejora genética que provocara un aumento de dicho output daría como resultado un aumento del beneficio marginal para dichos costes fijos. Otro de los argumentos que utilizan Smith, James y Brascamp para justificar la inclusión de los costes fijos y expresarlos por unidad de output es el siguiente: se debe suponer que en el momento de efectuar el cálculo de los pesos económicos todos los recursos se estaban utilizando eficientemente, de forma que el aumento de beneficios provocado por la mejora de una posible ineficiencia anterior debería ser descontada. Por ejemplo, si un programa de mejora genética conduce a un incremento de la prolificidad de los animales y éstos pueden ser mantenidos en la misma empresa sin necesidad de aumentar los costes fijos indicaría que esta empresa no estaba trabajando al máximo de sus posibilida-

Es un hecho casi general que una especialización excesiva en los aspectos de producción cárnica como rendimiento a la canal, velocidad de crecimiento o peso a una determinada edad conlleva disminución de la aptitud materna. En la foto una vaca de la raza asturiana de los valles en el núcleo de Cauneu.

prender que la evaluación experimental de los sistemas productivos es muy difícil de realizar dado, entre otras razones, el elevado número de posibilidades o alternativas en las que se puede estar interesado si el número de variables con trascendencia en el sistema productivo es grande. Por ello la utiliza-

ción de técnicas de simulación mediante ordenadores permiten probar modelos, bien determinísticos, por ejemplo, las variables pueden tomar unos valores fijos, bien estocásticos, por ejemplo, los valores que se asignan a las variables están asociados a una probabilidad.

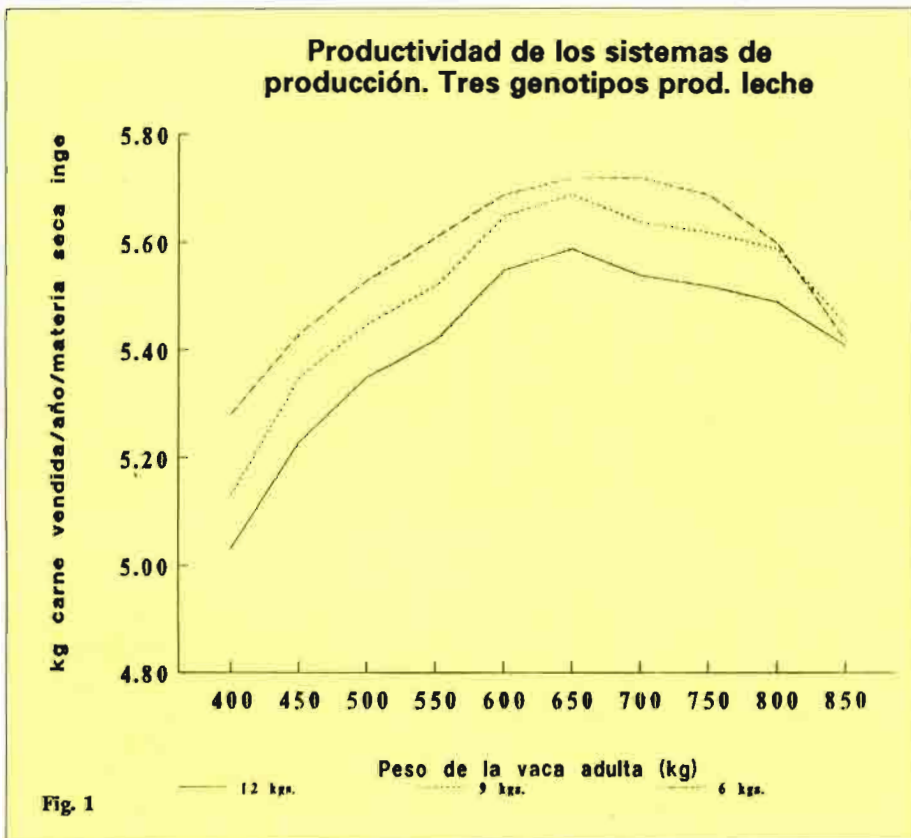


Fig. 1

**VACUNO**

des ya que, en otro caso, se debería de haber producido un aumento de los costes fijos proporcional al aumento en la prolificidad.

La segunda consideración que hacen los autores citados anteriormente es que desde el punto de vista genético tan solo nos interesa los beneficios que se puedan generar como consecuencia de un ahorro en los costes por unidad de producto. Es decir, cualquier aumento del beneficio que, aunque pueda ser asignado a la acción del programa genético, pueda ser obtenido también mediante un cambio del tamaño de la empresa, debe ser descontado. Es decir, tan solo interesa la mejora genética que genera reducción de costes por unidad de valor del producto.

Trataré los dos sistemas de producción, leche y carne, por separado, siempre que ello sea posible, es decir, trataré el problema haciendo referencia a las razas especializadas con el fin de poner más énfasis en los aspectos más importantes relacionados con la producción lechera y cárnica.

**VACUNO DE CARNE**

Anteriormente hice un breve comentario sobre las dificultades adicionales que representan en la definición de funciones económicas la ausencia de integración entre los diferentes segmentos de un sistema productivo. Hacía referencia al ganado vacuno de carne. Ahora voy a comentar un ejemplo de este problema en relación con un único carácter como es el **tamaño del animal**.

Posiblemente sea el tamaño del animal adulto uno de los caracteres que más aparece en la bibliografía científica (Klosterman, 1972; Morris y Wilton, 1976, 1977; Dickerson, 1978), con frecuencia en busca del tamaño **ideal** del animal. Esto ha hecho que si a principio de los años 60 se creó como animal ideal el **Durham Ox** con un peso de 2.000 kg., 10 años después el animal ideal no superaba los 500 kg. de peso adulto (Klosterman, 1972).

La metodología del análisis de sistemas puede contribuir eficazmente a la toma de decisiones sobre esta cuestión del tamaño **ideal**, en el sentido de poder decidir qué clase o tipo de animal y qué nivel de producción sería el ide-

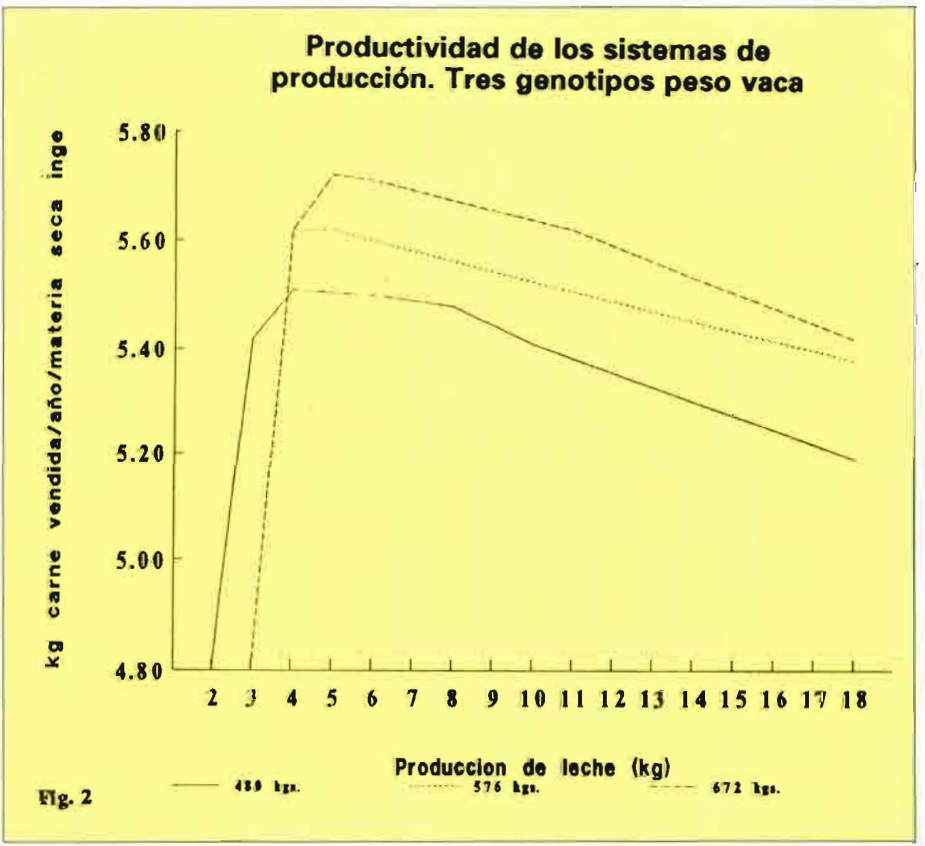


La eficiencia productiva es un concepto relativo donde deben incluirse también aspectos de conservación del medio. En la foto aparece una vaca de la raza asturiana de los valles.

al para las condiciones particulares de un ganadero.

Cartwright (1979) estudió la productividad medida como kilogramos de peso vivo vendido por año en relación a los kilogramos de materia seca ingerida. En el primer caso (**figura 1**) se simularon tres genotipos para capaci-

dad de producción lechera y se consideró variable el tamaño adulto del animal. En la **figura 1** se aprecia como un tamaño intermedio de animal u nivel medio de producción lechera (6 kg/día) constituye la mejor combinación para el criterio de productividad considerado. En el segundo caso **figu-**



ra 2 se utilizaron tres genotipos para el tamaño adulto y se consideró variable la capacidad de producción lechera observándose como hecho más destacable la rápida caída en productividad cuando el nivel de producción lechera cae por debajo de un valor umbral, siempre inferior a 6 kg/día. Parece claro que desde el punto de vista de una estrategia de selección el animal ideal a utilizar en el sistema de producción modelado en este ejemplo sería el que se acercara a los valores de peso y producción de leche que maximiza la productividad, dando una mayor importancia al hecho de garantizar el nivel óptimo de la cantidad de leche producida.

En un sistema no integrado de vacuno de carne existen ciertas contradicciones fruto de la difícil armonización de varios factores con trascendencia económica en el sector. Se sabe que existe una correlación elevada entre velocidad de crecimiento, eficiencia en la transformación del alimento y aumento de ganancia en peso, por lo que, con frecuencia, un objetivo de selección ha sido el aumento de la velocidad de crecimiento con el fin de aumentar dicha eficiencia. Sin embargo, la velocidad de crecimiento tiene una correlación positiva con el tamaño adulto del animal, de forma que a mayor velocidad de crecimiento mayores animales tendremos. De lo anterior no

se debe deducir una acción recíproca, es decir, no es cierto que seleccionar para tamaño adulto provoque un aumento en eficiencia en transformación, aunque sí provoca un aumento de la velocidad de crecimiento. Por otro lado sabemos que los costes de alimentación representan un gran porcentaje del gasto total, y que más del 80% de la energía que se suministra a la vaca se destina al mantenimiento de forma que animales mayores necesitan mayor cantidad de alimento.

La cuestión a contestar resulta ser, pues, como maximizar la eficiencia en la ganancia en peso de los animales durante el cebo y minimizar las necesidades de mantenimiento. Aparecen dos segmentos diferenciados: por un lado la producción de terneros y, por otro, el cebo. El primero puede estar interesado en la producción elevado del número de terneros a partir de vacas pequeñas. Sin embargo, el segundo estaría interesado en animales cuanto más grandes al inicio del cebo mejor, buenos transformadores de pienso y con una elevada velocidad de crecimiento.

Así pues la eficiencia biológica en vacuno de carne puede ser medida desde tres perspectivas: el productor de terneros para cebo; el productor de terneros cebados y; las empresas integradas, es decir, que integran las dos primeras perspectivas.

De una forma simplificada se puede decir que la eficiencia de la producción de carne de vacuno depende de caracteres tales como: la velocidad de crecimiento; capacidad de ingestión de alimentos y de la eficiencia en su transformación; calidad de la canal y de la carne producida.

Las relaciones complejas entre estos caracteres y entre componentes de estos caracteres dificultan enormemente la toma de decisiones en el sentido de mejorar la eficiencia productiva. Muchas experiencias realizadas producen resultados aparentemente opuestos dada la dificultad en comparar experimentos con diferentes medidas de eficiencia productiva. Por ejemplo, Hedrick (1972) estudia el peso óptimo al sacrificio en relación con la relación input/output. El peso óptimo pasa de 336 kg peso vivo cuando se utiliza como base la cantidad de proteína comestible producida en relación a la cantidad de proteína ingerida, a 680 kg de peso vivo si se utiliza como base unidades energéticas. Fitzhugh et al. (1973) encuentran que, contrariamente a lo que se piensa, la productividad medida como peso de terneros destetados por vaca apareada no está influenciado por el intervalo entre partos, ni por la mortalidad postparto.

Algunos de los problemas al tratar de comparar eficiencias productivas entre animales provienen de la dificultad de hacer comparaciones entre animales de diferentes tamaños y conformaciones corporales. Carpenter et al. (1972) encontraron que al comparar razas los animales más pequeños eran menos eficientes mientras que dentro de razas los menos eficientes eran los animales más grandes.

Si se considera la perspectiva de una industria integrada y, por lo tanto la eficiencia de la vaca y el ternero conjuntamente, el peso del ternero al destete es una variable que, independientemente del tamaño animal adulto, tiene una elevada correlación con la eficiencia en la utilización del alimento consumido por la vaca y el ternero hasta el destete.

Como resumen de las experiencias que se han realizado en relación con el crecimiento y sus componentes en vacuno de carne se puede considerar que las acciones genéticas sobre los caracteres de crecimiento muscular actuando a través de la velocidad de crecimiento, calidad de canal y de carne

CUADRO V

Porcentajes por sexos de las diferentes categorías de respuesta de la Dificultad de Parto

	Categoría de Respuesta				
	1	2	3	4	5
Hembras	48	42	7	0,6	2,5
Machos	38	44	12	2,4	3,2
N.º	1384	1377	302	46	90

CUADRO VI

Peso medio al nacimiento en las diferentes categorías de respuesta de la Dificultad al Parto

Peso nacimiento	Categoría de Respuesta				
	1	2	3	4	5
Med. la	40,3	42,7	47,9	56,6	43,9
Error	0,25	0,25	0,53	1,36	1,11



y, dificultad al parto, entre otros, son posibles.

Todos estos caracteres son complejos y las acciones de mejora sobre ellos tiene consecuencias indirectas sobre otros caracteres al existir correlaciones genéticas importantes de ambos signos. En los cuadros 2 y 3 aparecen algunas correlaciones de interés.

Entre los aspectos más importantes a considerar en relación con estas respuestas correlacionadas que pueden originarse al diseñar programas de mejora que traten de aumentar la productividad en el vacuno de carne están las que se refieren a la capacidad reproductiva o de capacidad de cría de las madres o aptitud materna.

Es un hecho general que la selección intensa para cualquier carácter productivo provoca, a largo plazo, una disminución de la capacidad reproductiva de la población, y esta depresión de la capacidad reproductiva será mayor a medida que la correlación genética entre el carácter seleccionado y la eficacia biológica sea mayor. Una de las manifestaciones más espectaculares y mejor documentadas en relación con problemas relacionados con la reproducción es el aumento de la frecuencia de partos difíciles como consecuencia del aumento de tamaño de los animales, lo que, a su vez, provoca disminución de productividad debido a problemas satélites como mortalidad, tanto de los terneros, como de vacas, aumento de gastos de atención veterinaria, alargamiento del intervalo entre partos, retención placentaria y problemas de fertilidad subsiguientes a la dificultad del parto, etc.

En los cuadros 4, 5 y 6 aparecen algunos resultados obtenidos en la raza Asturiana de los Valles para este carácter de dificultad del parto expresado en función del tipo, sexo y peso al nacimiento del ternero (Cañón et al. datos sin publicar).

**Función de beneficios para la raza asturiana**

Se presenta a continuación un ejem-

plo de cómo se puede representar una función de beneficios en vacuno de carne con el objetivo de calcular los pesos económicos de los caracteres que se consideren de interés en un programa de selección (Cañón y Muñoz, datos sin publicar).

Los beneficios vamos expresarlos como función lineal de ingresos menos gastos, de la forma:

$$\text{Beneficios} = \text{Ingresos} - \text{Gastos}$$

A su vez el capítulo de ingresos se considera como la combinación siguiente:

$$\text{Ingresos} = \text{ITD} + \text{ITJ} + \text{IL} + \text{IVD}$$

cada componente se calcularía de la forma siguiente:

$$\text{ITD} = t_1 - p_3(t_2)^2 p_1 w_1 d_1$$

(ingresos medios por venta de terneros destetados)

$$\text{ITJ} = (t_1 - p_3(t_2)^2) t_3 w_2 d_2$$

(ingresos medios por la venta de toros jóvenes)

$$\text{IL} = 1/2 \text{PLC} d_3$$

(ingresos medios por la venta de leche)

$$\text{IVD} = (p_3 - (1 - t_1)) c_1 w_4 d_4$$

(ingresos medios por la venta de vacas de desecho).

siendo:

$t_1, t_2, t_3, t_4$  los porcentajes, respectivamente, de supervivencia de los terneros hasta el destete, desde el destete hasta animal adulto, toros jóvenes hasta sacrificio y, de las vacas desde una unidad de tiempo hasta la siguiente.

$p_1, p_2, p_3$  los porcentajes, respectivamente, de terneros destetados vendidos para el sacrificio por unidad de tiempo, animales cebados vendidos para sacrificio por unidad de tiempo, de vacas desechadas para sacrificio por unidad de tiempo.

$w_1$  es el peso al destete

$w_2$  es el peso al sacrificio después del cebo

$d_1, d_2, d_3, d_4$  son los precios respectivos de: kg. de carne de tenera, kg. de carne de añojo, kg. de carne de vaca de desecho, kg. de leche corregida para un % de grasa constante de 3,2.

PLC es la producción de leche ajustada al porcentaje grasa de 3,2.

$c_1$  representa el porcentaje de vacas desechadas para el sacrificio.

La función de costes que se considera es la siguiente:

$$\text{Costes} = \text{HC} + \text{IC} + \text{BC} + (\text{WC} + \text{RC} + \text{FC}) - \text{EAN} \cdot \text{PR}$$

donde:

- HC representa los costes sanitarios
- IC costes de inseminación
- BC costes relacionados con la dificultad al parto
- WC costes de alimentación, en términos energéticos, desde el nacimiento hasta el destete
- RC costes de alimentación de las vacas de reposición después del destete
- FC costes de alimentación del cebo de los animales desde el destete
- PR precio de la unidad energética

Cada componente es, a su vez, una función compleja de muchas variables que no combinan linealmente. Dado que no se trata ahora de hacer una exposición exhaustiva de estas expresiones daré, a título de ejemplo, tan sólo la expresión para alguna de las componentes de la función de costes con el fin de mostrar su complejidad: WC representa, como hemos dicho más arriba, los costes de alimentación hasta el destete. Esta componente es, a su vez, una función de: costes de alimentación para el crecimiento de los terneros lactantes (GCS); costes de alimentación para mantenimiento (MCS); costes de alimentación para la producción de leche de los animales lactantes (FCM). A su vez cada una de estas variables tiene una expresión compleja, por ejemplo:

$$\text{GCS} = s_1^2 (\text{Em } g_1) (1 - w_0) w_1^2 w_1$$

siendo:

Em: la cantidad media de energía por kg. de ganancia en peso de los terneros lactantes

$s_1$ : la supervivencia de los terneros desde el nacimiento hasta el destete

$g_1$ : la eficiencia de la ganancia en peso para los animales lactantes

$w_0, w_1$ : representan el peso al nacimiento y el peso al destete respectivamente.

Los pesos económicos para cada uno de los caracteres que se consideren de interés, por ejemplo  $y$ , se obtienen mediante el cálculo de la derivada:

$$\frac{\partial C}{\partial y} = \frac{\delta C}{\delta y}$$

en el caso de que ajustemos para un output fijo.