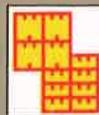
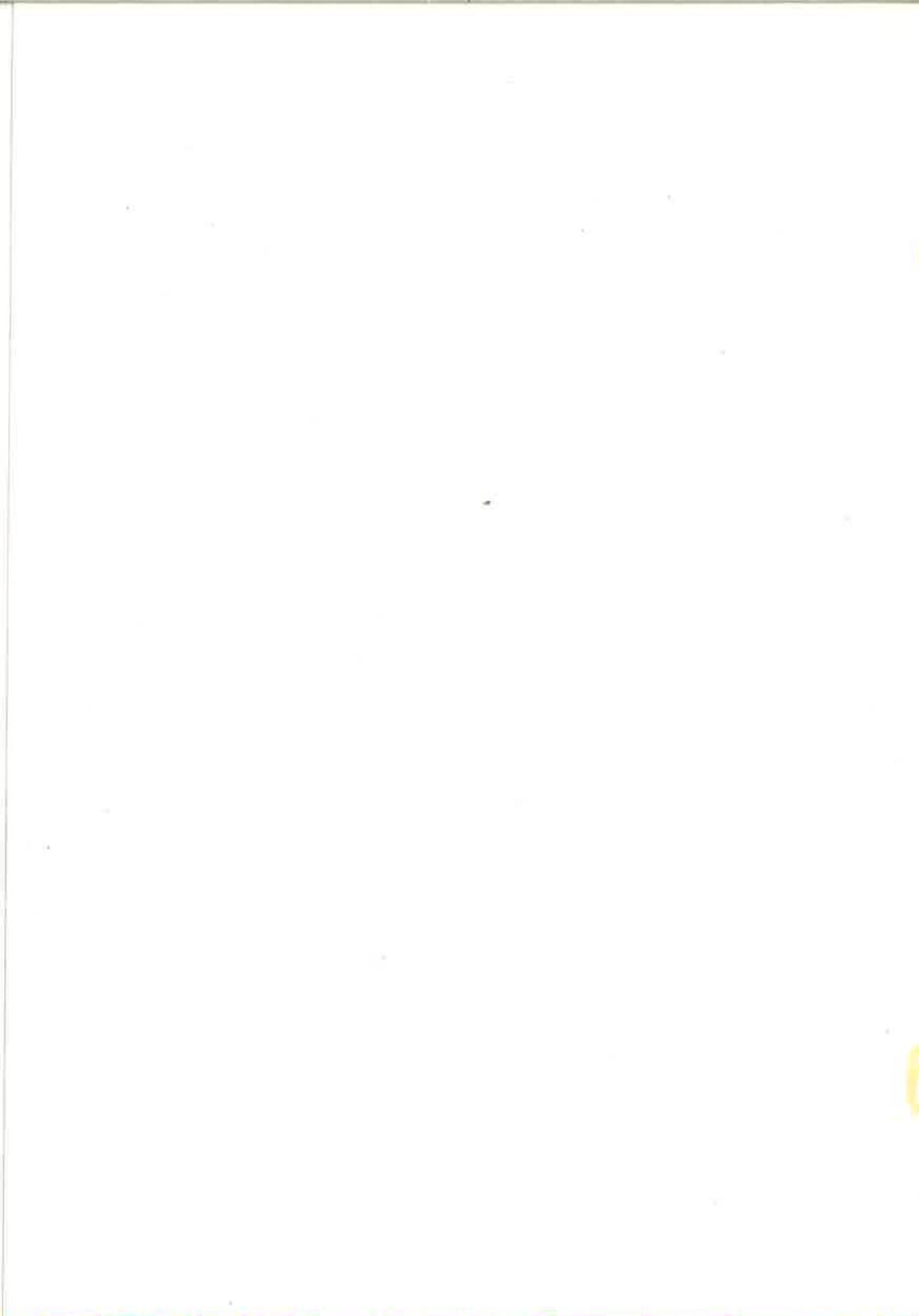


# ASPECTOS GENETICOS PARA LA MEJORA DE LA PRODUCCION PORCINA

j. cañón

a. muñoz





**ASPECTOS GENÉTICOS PARA LA MEJORA  
DE LA PRODUCCIÓN PORCINA**



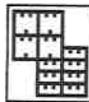
# ASPECTOS GENÉTICOS PARA LA MEJORA DE LA PRODUCCIÓN PORCINA

**J. Cañón Ferreras**

*Profesor Titular de  
Producción Animal  
(Genética y Mejora Animal)  
Facultad de Veterinaria  
Universidad Complutense  
de Madrid*

**A. Muñoz Luna**

*Profesor Titular de  
Producción Animal  
(Genética y Mejora Animal)  
Facultad de Veterinaria  
Universidad de Murcia*



**Región de Murcia**  
Consejería de Agricultura,  
Ganadería y Pesca

© J. Cañón y A. Muñoz  
Consejería de Agricultura, Ganadería  
y Pesca de la Región de Murcia, 1989  
I.S.B.N.: 84-87154-01-8  
D. L.: M. 30.927-1989  
Edición a cargo de:  
Compobell, S.A. - MURCIA  
Imprime: Artes Gráficas Suárez Barcala, S. L.  
Dr. Barraquer, 3 - GETAFE (Madrid)

# ÍNDICE

---

## PRÓLOGO

	<u>Página</u>
CAPÍTULO 1. Ideas básicas sobre la moderna mejora genética animal .....	11
CAPÍTULO 2. Caracteres de interés en la mejora genética del ganado porcino .....	15
CAPÍTULO 3. Significado económico de la mejora genética del ganado porcino .....	23
CAPÍTULO 4. Parámetros genéticos: Heredabilidad y correlaciones entre los caracteres .....	37
CAPÍTULO 5. Criterios de selección. Control de rendimientos .....	47
CAPÍTULO 6. Cruzamientos .....	55
CAPÍTULO 7. Estructura piramidal de la mejora genética: Diseño de programas de mejora .....	73



# PRÓLOGO

---

Nuestro filósofo español José Ortega y Gasset decía que para escribir un libro se necesitan dos cosas: primera, tener algo que decir, y segunda, decirlo.

Los jóvenes autores de este libro, los doctores Javier Cañón Ferreras y Antonio Muñoz Luna, profesores de Mejora Genética Animal, el primero en la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid, y el segundo en la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Murcia, tienen algo que decir en este libro; el destacar lo que muchos olvidaron: los pasos previos a la hora de plantear un plan de mejora genética porcina, tales son el conocimiento detallado del impacto económico que tiene la variación del rendimiento de cualquier carácter en la rentabilidad final de un rebaño y estimar con gran precisión los parámetros genéticos (heredabilidades y correlaciones genéticas y fenotípicas) de los caracteres que interesa mejorar.

Como los autores entienden la producción animal como una actividad empresarial que tiene un objetivo fundamentalmente económico destinado a cubrir unas necesidades sociales que abarcan desde abastecer tipos de alimentos que se demandan hasta involucrar a un sector de la sociedad en la elaboración y comercialización de los mismos, por eso todos sus comentarios de alta divulgación de mejora genética para ganaderos que se ofrecen en este libro se ven condicionados, interpretados y dirigidos por objetivos económicos, dejando atrás, en el olvido de tiempos pasados, a aquel ganadero artesano que practicaba una selección morfológica y por "pedigrees", al modo de álbum de cromos y de rancios registros genealógicos como en la heráldica.

La segunda cosa para escribir un libro es decirlo. En qué forma decirlo. Entre los científicos y técnicos de la mejora genética animal y los ganaderos ha existido siempre una enorme zanja que los separa o al menos dificulta en su mutuo entendimiento, tal es el lenguaje de la Genética Cuantitativa, difícil por su enorme carga de expresiones y métodos estadísticos; pero que nuestros jóvenes autores procuran rellenar esa zanja simplificando su explicación, con orden, claridad de ideas y capacidad de síntesis; y, además, echando por encima de la zanja una pasarela que es ese conjunto de objetivos, de expresiones, intereses económicos, empresariales, comercia-

les que impregnan todo el texto y que pueden motivar e interesar vivamente al ganadero. Quizás esa enorme zanja de falta de entendimiento genético se pueda salvar con un puente de entendimiento económico que los genéticos olvidaron porque pensaron que era tarea de economistas, ajena a ellos.

La excesiva especialización, o división del trabajo científico y técnico, en este campo, como quizás en otros, ha sido perjudicial. Prueba de esta posibilidad de mejorar el mutuo entendimiento entre mejoradores genéticos y ganaderos está en que se viene observando muy recientemente la tendencia de que la Teoría económica, los métodos econométricos, la investigación operativa, inciden, cada vez más, en los trabajos y publicaciones de prestigiosos científicos en la mejora genética animal de Norteamérica, Europa y Australia, con algunos de los cuales nuestros jóvenes autores han convivido, aprendido y colaborado en largas estancias en Estados Unidos, Canadá y República Federal Alemana.

Otro aspecto notable de esta obra de divulgación es su amplitud condensada y equilibrada de temas que, además de los anteriormente mencionados, tocan otros muchos sobre métodos de control de rendimientos, criterios de selección, tipos de cruzamientos, organización de la mejora genética, estrategias de difusión de la mejora en las poblaciones porcinas, cómo el genetista debe tomar decisiones de hacia dónde ha de dirigir sus esfuerzos de selección de futuros reproductores, y de qué manera.

Para que tales decisiones sean racionales, se han de incluir el mayor número de caracteres, tanto los que reducen gastos, como los que aumentan ingresos de producción. Sus explicaciones sobre las combinaciones lineales de tales caracteres en índices de selección son sencillas y claras. Los controles de rendimientos tomados en individuos y en sus parientes en una población tiene una doble utilidad, tanto para la valoración genética que se hace en los índices de selección de los reproductores, como para el control de la gestión productiva de los restantes animales de las explotaciones de esa población. Así se comprende muy bien lo integrada que debe estar la tarea de mejora genética en la economía de la explotación del ganado porcino.

Por último, bajo la óptica del cruzamiento discontinuo (cruces terminales de 2, 3 y 4 vías) que clasifican los caracteres y mixtas, así como en la del

cruzamiento continuo (cruces alternativos y rotativos), se señalan las fronteras por dónde buscar, investigar, en un próximo futuro, las necesarias peculiaridades de nuestra producción porcina española, si queremos que sobreviva siendo competitiva frente al empuje de Europa. Tales fronteras pueden ser los cruces con razas chinas de alta prolificidad y el logro y tipificación de genuinas características de calidad de la canal, tanto para cortes frescos como para su transformación en la industria chacinera.

Murcia, 1989

**Pedro Alfonso Ponce**

*Catedrático de Producción Animal y Decano de la Facultad de  
Veterinaria de la Universidad de Murcia*



# 1. IDEAS BÁSICAS SOBRE LA MODERNA MEJORA GENÉTICA ANIMAL

## INTRODUCCIÓN

Mucho han evolucionado ultimamente los sistemas de selección en el ganado porcino. El perfeccionamiento en las técnicas de manejo, la fabricación de piensos, cada día más equilibrados, y el destierro de algunos problemas sanitarios mediante planes de vacunación, etc..., llevan a que aquellos potenciales genéticos que permanecían enmascarados comiencen a expresarse a modo de incrementos en los rendimientos del animal.

Aquellos porcicultores que practicaban una selección morfológica o por los "pedigrees" de sus reproductores van quedando día a día obsoletos, pues de modo indiscutible se impone más la selección de reproductores capaces de transmitir a su descendencia un incremento sustancial en su productividad que, en definitiva, si entendemos la producción animal como una actividad empresarial, es el objetivo que debe perseguir todo porcicultor.

## CARACTERES CUANTITATIVOS

Definimos caracteres cuantitativos aquellos que son susceptibles de algún tipo de medición.

Una clasificación de estos caracteres podría esquematizarse del siguiente modo:

- A) *Caracteres objetivos*.— Son los que se pueden medir con precisión instrumental, al margen de cualquier tipo de apreciación humana. En función de la variación que experimenten pueden ser:
1. *Variables continuas*: Cuando la medida del carácter dependa directamente de la sensibilidad del instrumento que lo mida. Por ejemplo: pesos, ganancia media diaria, índice de transformación, espesor del tocino dorsal, etc.
  2. *Variables discretas*: Cuando la expresión del carácter es en números enteros, bien porque se midan unidades, bien porque se categorice el

carácter. Por ejemplo: número de lechones nacidos vivos, muertos, destetados, dificultad de parto, etc.

B) *Caracteres subjetivos*.– Este grupo engloba aquellos caracteres para cuya medida no se dispone de medios adecuados o que se estiman mediante apreciaciones personalizadas. Ejemplo: peso del lomo en un animal vivo, rusticidad, carácter maternal, etc.

La definición y valoración de estos caracteres cuantitativos, relacionados con la productividad del animal, han propiciado que la genética moderna adquiera una nueva dimensión bajo el epígrafe de **genética cuantitativa**, la cual tiene por objeto el estudio de las diferencias entre los individuos, diferencias de grado más que de clase, cuantitativas en lugar de cualitativas.

Todos los caracteres cuantitativos con expresión económica en la productividad del animal, se encuentran gobernados por un elevado número de genes (poligenes), cada uno de ellos con una débil acción sobre la expresión del carácter. Si a este fenómeno le sumamos el efecto importante que supone el medio ambiente donde se desarrolle la actividad productiva, nos encontramos abocados a la utilización de un soporte estadístico que sea capaz de discernir entre todos estos efectos.

**FIGURA 1.**  
**Conformación del fenotipo**



**Genotipo:** Conjunto de genes que determinan la capacidad para expresar los diferentes caracteres cuantitativos en tal o cual medida.

**Medio ambiente:** Filtro al que se somete cualquier genotipo para expresarse. Lo determinan todas aquellas causas ajenas al potencial genético del animal (clima, manejo, alimentación, sanidad...).

**Fenotipo:** Aquello que podemos apreciar, medir o cuantificar. En nuestro caso, la productividad del animal (prolificidad, velocidad de crecimiento, conformación de la canal...).

## FACTORES QUE DETERMINAN LA REALIZACIÓN DE LA MEJORA GENÉTICA ANIMAL

Dos son los pasos previos a la hora de plantear cualquier estrategia para mejorar la productividad de nuestros animales de granja:

- 1.º) Conocer con detalle el impacto económico que la variación del rendimiento de cualquier carácter provoca en la rentabilidad final de rebaño.
- 2.º) Determinar con exactitud los parámetros genéticos (heredabilidades y correlaciones) de aquellos caracteres que pretendamos mejorar.

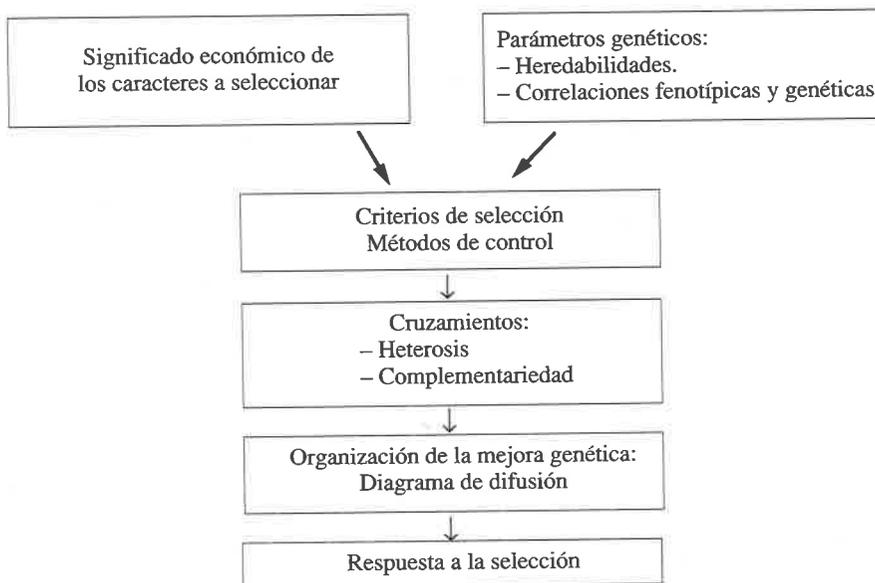
Una vez conocidos todos estos parámetros (genéticos y económicos) es cuando procede determinar qué criterios de selección y métodos de control son necesarios aplicar para tener el conocimiento más preciso del potencial genético-económico de nuestros candidatos a reproductores.

Por otro lado, el cruzamiento de razas, estirpes o líneas, alcanza una importancia singular en el caso del ganado porcino debido a los efectos de heterosis (vigor híbrido) y complementariedad que se obtienen.

En definitiva, una vez sentados todos estos preceptos, es cuando se

### ESQUEMA 1.

#### Relación de factores que determinan la mejora genética animal



impone la necesidad de estructurar en niveles (núcleo, multiplicador y productor) a la población para obtener su mayor progreso genético-económico expresado en unos rendimientos superiores y, en consecuencia, un beneficio mayor.

## 2. CARACTERES DE INTERÉS EN LA MEJORA GENÉTICA DEL GANADO PORCINO

### INTRODUCCIÓN

La explotación del ganado porcino pasa por varias fases en las que la mejora genética puede incidir aumentando los rendimientos del animal que conlleven a elevar el margen de beneficios, objetivo primordial de todo programa de selección.

Una primera clasificación de aquellos caracteres susceptibles de mejora genética, puede realizarse en base a diferentes actividades por las que atraviesa el ganado porcino (Concellón, 1987):

- Manejo.
- Reproducción.
- Cebo.
- Sacrificio.

### MANEJO

Se trata de una actividad común a todos los integrantes del rebaño y, aunque los caracteres que citemos sean de una difícil interpretación objetiva, está en el ánimo de todos los especialistas el interés que estos caracteres tienen en la rentabilidad de la explotación; como fieles exponentes de este criterio podemos enumerar los siguientes:

#### 1. La rusticidad

La capacidad de adaptación al medio viene cobrando un importante papel en los últimos años. Las diferentes formas de explotación, persiguiendo mayores niveles de rendimiento, pueden tropezar con un ganado falto de recursos que haga fracasar este empeño.

Este es un caso donde, el propio criterio del porcinocultor, es imprescindible para calificar aquellos animales con mejores facultades de adaptación a los distintos modelos de cría.

## 2. La maternidad

Este criterio engloba todas aquellas cualidades que determinan el comportamiento de una cerda para con sus lechones.

Es de todos conocida la existencia de cerdas totalmente indiferentes en cuanto a sus propios lechones; esto debe ser motivo de eliminación del rebaño, pues las consecuencias pueden ser graves para el conjunto de la explotación.

Este carácter puede medirse con cierta facilidad observando las causas de mortalidad después del nacimiento (aplastamiento, diarreas,...).

En general, la medida más utilizada es el número de lechones aplastados por camada durante las tres primeras semanas de vida.

## REPRODUCCIÓN

El fenómeno de la reproducción representa, sin duda, uno de los apartados de mayor interés en cualquier tipo de explotación. Conseguir el mayor número de lechones viables por cerda y año es uno de los objetivos primordiales del porcicultor. Para la consecución de este fin analizaremos varios caracteres:

### 1. La prolificidad

Expresa la capacidad de una cerda para producir lechones en cada parto. Sin embargo, este carácter puede valorarse de diversos modos a fin de diagnosticar las diferentes causas que puedan concurrir para determinar el número de lechones destetados, criterio este último de gran interés para los porcicultores.

Un primer carácter susceptible de análisis es el **número de lechones nacidos**, el cual se halla condicionado por la edad de la madre y sensiblemente por la estación del año (Cuadro 1).

**CUADRO 1**

	Primavera-verano		Otoño-invierno	
	Camadas controladas	Media por camada	Camadas controladas	Media por camada
Menos de 18 meses.....	14	10,66	12	10,28
De 18 a 24 meses.....	16	12,20	17	12,60
Más de 24 meses.....	18	12,70	18	12,84

(Concellón Martínez, 1987).

Otro tipo de gran interés es el **número de lechones a las tres semanas de edad**, por ser estos 21 primeros días los verdaderamente críticos en la vida del lechón y en cuyo transcurso ocurren el mayor número de bajas. Las causas de esta mortalidad pueden atribuirse a diferentes factores, tales como: aplastamiento, escaso peso del lechón (menos de 800 gr.), diarreas, etc.

Por último, cabe citar el carácter más apreciado por el porcicultor: **número de lechones destetados**.

Diversos elementos ambientales influyen sobre este criterio, así como la producción lechera de la cerda. El conocimiento de los mismos constituye un buen elemento de juicio para comparar la productividad total (potencial genético del lote más calidad de la explotación).

Desde el punto de vista económico, el número de lechones destetados es el criterio más importante para el porcicultor, debido a la interpretación directa que puede hacerse de aquél en la función de beneficios.

## 2. Peso promedio de los lechones

Se trata de un criterio importante debido a la correlación que guarda con la viabilidad de los lechones durante toda la lactación.

Esta medida puede realizarse en diversos momentos, siendo los más significativos los controles realizados al nacimiento y al destete:

### *Peso promedio de los lechones al nacimiento*

Pueden encontrarse grandes variaciones, sin embargo, podemos delimitar los extremos mínimo y máximo de este carácter: en condiciones prácticas, lechones por debajo de 800-900 gr. tienen escasas posibilidades de sobrevivir, mientras los que están por encima de 2 Kg. pueden provocar partos distócicos, por lo que, tanto unos como otros, no son deseables.

El peso óptimo al nacimiento podríamos establecerlo entre 1,300 y 1,800 Kg. según las razas.

### *Peso promedio al destete*

Este carácter representa la capacidad de utilización y transformación de alimentos por los lechones en el período de lactancia, así como puede ser un indicador de la capacidad de crecimiento.

### 3. Precocidad sexual de la cerda

Representa la edad de la pubertad, es decir, el momento de aparición de los primeros calores o celo. Como norma general admitiremos que una cerda produzca su primera camada cuando haya alcanzado entre los 110 y 120 Kg. de peso y siempre después de cumplir un año de edad.

### 4. La fecundidad de la cerda

Podemos interpretar este carácter distinguiendo entre cerda primípara, a la que se lo podríamos asociar con la edad al primer parto y, en el caso de cerdas multíparas, podría definirse como el intervalo entre partos.

Otros autores citan, con relación a este concepto, el tiempo que transcurre entre destete y cubrición fértil, pero, en definitiva, son sólo especulaciones en el modo de medir el tiempo, conduciendo todas ellas a obtener el mayor número de partos en el menor tiempo posible.

### 5. El rendimiento lechero de la cerda

Una buena producción lechera en la cerda se traduce en un crecimiento satisfactorio de sus lechones; esto es precisamente lo que perseguimos al hablar de mejorar o seleccionar el carácter **rendimiento lechero**.

El control del mismo puede hacerse mediante pesadas de los lechones a los 21 días de edad, al existir una alta correlación entre estos dos criterios.

## CEBO

El cebo representa la más importante actividad económica en la explotación del ganado porcino. Se trata de la fuente de gastos variables más significativa en la economía de cualquier granja.

Todos los autores citan dos caracteres fundamentales relacionados con el cebo:

#### 1. La velocidad de crecimiento o ganancia media diaria (GMD)

Representa la ganancia de peso vivo que experimenta el animal, expresada en gramos y referida a un período de tiempo de un día.

Con esta medida podemos estimar el tiempo de permanencia en el cebadero hasta alcanzar el peso comercial, relacionado directamente con el tiempo de trabajo dedicado y el consumo de energía, aspectos que engrosan el capítulo de gastos de la explotación.

## 2. Índice de transformación (IT)

El índice de transformación relaciona la cantidad de pienso consumido por el animal, para producir un Kg. de peso vivo:

$$IT = \frac{\text{Kgs. de pienso consumido}}{\text{Kgs. de peso adquirido}}$$

Este carácter es, sin duda alguna, el más apreciado por los porcicultores en el período de cebo debido a la fácil y directa interpretación económica que suscita.

## SACRIFICIO

El sacrificio representa el último eslabón de la cadena productiva de todos los animales de abasto.

Una sociedad se considera moderna en función de lo exigente que resulte ser con el funcionamiento de los diferentes sectores sociales que la componen. En nuestro caso, el consumidor comienza a dejarse oír y cada vez juega un papel más preponderante en la presentación y características de todos aquellos productos derivados del cerdo, tanto si son cortes frescos como si se trata de productos elaborados.

Bajo estas circunstancias, todos los centros de mejora genética de los países desarrollados han comenzado a trabajar en este sentido, persiguiendo, en cada caso, una conformación de la canal y unas características organolépticas determinadas de la carne, acordes con las exigencias del mercado.

En nuestra clasificación podemos distinguir entre dos grupos de caracteres:

### 1. Caracteres de conformación y calidad de la canal

Dentro de este grupo de caracteres, cabe diferenciar entre:

- **Espesor del tocino dorsal.** Se trata de un criterio de clasificación ampliamente utilizado, debido a las correlaciones que guarda con otras variables, como: porcentaje de músculo, peso de la canal en frío, etc. Actualmente existen instrumentos capaces de estimar el espesor del tocino dorsal sobre el músculo "*longissimus dorsi*", mediante ultrasonidos, así como la profundidad del músculo, siendo estos parámetros notables estimadores del porcentaje de carne de la canal.

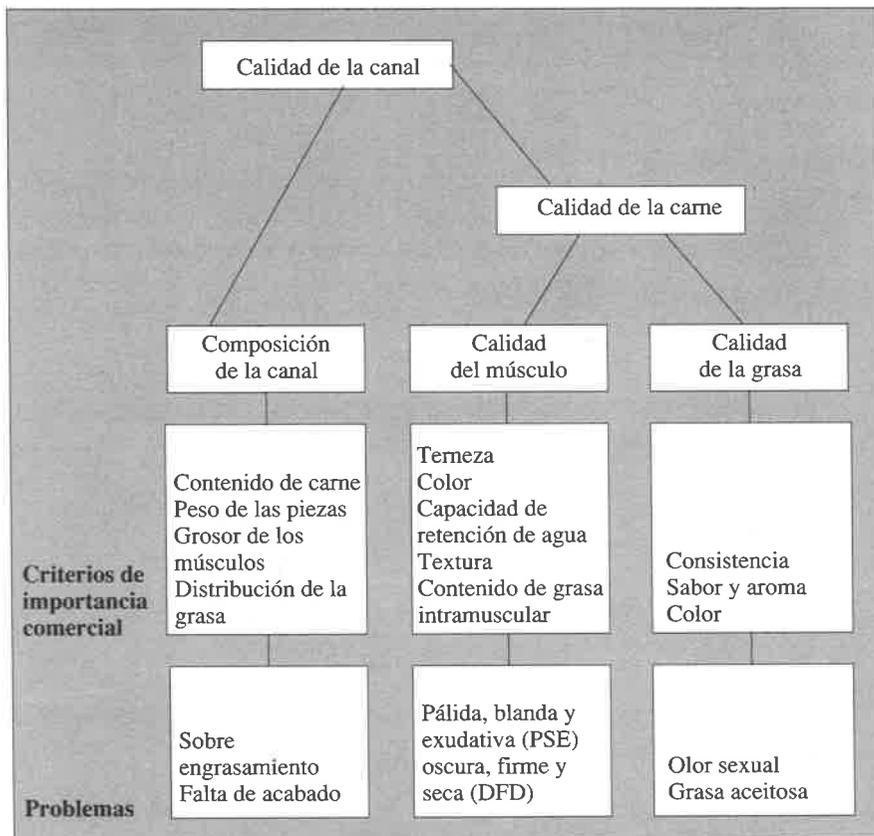
- **Porcentaje de piezas nobles.** Principalmente jamón y lomo, como piezas comerciales de entidad propia y con un significado económico de interpretación casi directa.
- **Morfología de piezas nobles.** La morfología de las piezas citadas anteriormente puede llegar a tener importancia en la industria chacinera según sean los procesos de curación y elaboración a que pretendan ser sometidas.

## 2. Caracteres de calidad de la carne

Son varios los criterios que vienen barajándose en los países desarrollados como estimadores de la calidad de la carne con vistas a su comercialización. Estos criterios vienen impuestos, de alguna manera, por las exigencias del consumidor, tanto en cortes frescos como en productos elaborados. Los criterios más utilizados actualmente son:

- **Coloración de la carne.** Medida, según su grado de reflectancia, mediante diferentes instrumentos reflectométricos, realizándose aquella normalmente a las 24 horas del sacrificio.
- **Capacidad de retención de agua.** Medida de las pérdidas de agua cuando se somete la carne a diferentes condiciones de temperatura, se mide controlando el grado de imbibición de una tira indicadora de pH en un corte del biceps femoral.
- **Grado de acidez.** Se realiza mediante controles del pH, normalmente a los 45 minutos (pH 6,5) y a las 24 horas (pH 6,4). Carnes con un pH inferior a 5,6 se considerarán P.S.E. (pálida, blanda y exudativa).

Para cerrar este capítulo, y a modo de resumen sobre los criterios de calidad de la canal y de la carne, mostramos el siguiente cuadro:



Criterio de la calidad de la canal y de la carne (Diestre y Arpa).

## BIBLIOGRAFÍA

CONCELLÓN MARTÍNEZ, 1987. Tratado de Porcinocultura 2. Ed. Aedos. Barcelona



# 3. SIGNIFICADO ECONÓMICO DE LA MEJORA GENÉTICA DEL GANADO PORCINO

## INTRODUCCIÓN

Toda producción animal, entendida como una función destinada a cubrir unas necesidades sociales –que abarcan desde abastecer a una población del alimento de origen animal que demanda, hasta involucrar a un sector de la sociedad en la elaboración y comercialización el mismo–, presenta un objetivo fundamentalmente económico.

Este objetivo condiciona al mejorador genético que deberá tratar de elegir caracteres susceptibles de interpretación económica, según Harris et al. (1983), la dirección a seguir en un programa de mejora genética debe expresarse como una función o conjunto de funciones matemáticas que describan la contribución a la eficacia productiva de los diferentes componentes del sistema de producción, con especial referencia a los componentes genéticos.

La diversidad de tamaño en las explotaciones de ganado porcino, así como la infraestructura técnica que en ellas se desarrolla y los resultados que se obtienen, dan lugar a situaciones económicas de lo más heterogéneas. Sin embargo, y sin querer hacer un estudio exhaustivo de los parámetros económicos que en alguna medida afectan a esta actividad ganadera, creemos necesario traer a colación una serie de cuestiones para enmarcar la producción de cerdos y su evaluación dentro del ámbito financiero en el que, no debemos olvidar, tiene su justificación.

Existen un número importante de trabajos que abordan este tema, pero quizás sean Teffène y Vanderhaegen (1987), en su capítulo "*Economía de las producciones porcinas*", los que expongan esta cuestión de un modo más didáctico, por lo que hemos creído conveniente utilizar algunas de sus definiciones en esta obra.

Los principales aspectos económicos de la creación y funcionamiento de una explotación de ganado porcino, podemos enumerarlos como sigue:

- Factores de producción.
- Costes de producción.
- Los productos.
- Resultados económicos: margen de beneficio.

## FACTORES DE PRODUCCIÓN

El término **factor producción** designa todo bien o servicio suministrado, comprado o producido, utilizable para obtener otro producto.

Debemos distinguir, para una explotación y en un momento determinado, dos tipos de factores de producción:

- **Factores estructurales de producción**, que constituyen el "aparato de producción" y cuya disposición y utilización entraña irremediabilmente la existencia de gastos llamados "gastos de estructura" o "gastos fijos".
- **Factores operacionales de producción**, en los que la cantidad utilizada dependerá de la existencia y de la eficacia de la actividad empresarial desarrollada, creándose los "gastos operacionales" o "gastos variables", algunos de los cuales son proporcionales al número de unidades producidas (alimentación de lechones o de cerdos en cebo) y otros lo son al número de unidades de producción (alimentación de reproductores en una explotación de una capacidad determinada).

Los principales factores de producción en la cría del ganado porcino pueden ser enumerados como a continuación se detallan:

### 1. Inversión en construcciones y en equipamientos

El montante de una inversión en el sector productor de ganado porcino será determinado por la dimensión y la naturaleza de la orientación de la producción (lechones, cebo), por una parte, y por el número de plazas en los diferentes estados de la explotación (parideras, transición, cebo...) y sus precios unitarios, por otras.

En este caso, el objetivo será minimizar el coste global (1) de las construcciones e instalaciones (inversión inicial, gastos anuales de mantenimiento y explotación).

Al realizar la inversión por parte del ganadero es preciso analizar los diferentes elementos que intervienen.

$$(1) \text{ El coste global actualizado} = I + (E_1 + E_2) \sum_{n=1}^t \left( \frac{1+i}{1+a} \right)^n$$

siendo:

$I$  = inversión global.

$E_1$  = gastos anuales de mantenimiento.

$E_2$  = gastos anuales de explotación.

$i$  = tasa anual de crecimiento de los gastos de mantenimiento y explotación.

$a$  = tasa de actualización anual.

$t$  = duración en años de la utilización de la explotación.

$n$  = número de años.

En todos los casos, es indispensable efectuar un estudio técnico profundo, consistente en:

- Definir un sistema de producción caracterizado por las disponibilidades en capital y en trabajo, una orientación y una dimensión.
- Determinar unas opciones coherentes concernientes a los animales (calidad sanitaria o genética), al sistema de manejo y a las construcciones.

Las preferencias, prioridades y deudas del ganadero juegan en este caso un papel esencial.

## 2. Reproducción

Los reproductores deben considerarse como factores de producción permanentes, al menos durante un cierto tiempo, y en el que la calidad es determinante de la eficacia global del sistema de producción.

El valor de un reproductor está, o debería estar, directamente ligado a su calidad, a la vista de unos criterios que tengan una consecuencia económica:

- Las **razas** y sus **cruces** tienen unas aptitudes y unas potencialidades medias específicas.
- El **nivel genético** de los individuos de una misma raza o de un mismo cruce no es homogéneo: las estaciones de control individual y de la descendencia, así como los controles de productos terminales, permiten establecer diferentes comparaciones.
- El **estado sanitario**, que permitirá o no la expresión del potencial genético del animal, es vulnerable y demanda una vigilancia constante (Omnès et al., 1973; Reybaud et Teffène, 1976).

En fase de creación de un rebaño, la elección de futuros reproductores es una operación decisiva, debido a la considerable incidencia que tiene sobre la economía del productor.

Actualmente, la explotación del ganado porcino exige unas tasas de reposición del orden de un 50% anual para hembras y un 65% para machos; estas necesidades anuales de renovación son importantes, en particular para las hembras, debido a que la forma de obtener un progreso genético más rápido radica en estas tasas de renovación elevadas. Las vías pueden ser diversas:

- Mediante la compra de todos los animales del exterior (de La Porte des Vaux, 1976). Este es el caso de ganaderos que utilizan reproductores procedentes de un esquema de selección y cruzamiento.
- Mediante el autoabastecimiento de reproductores (Renoux, 1976), prácticamente impracticable en el caso de los verracos. La explotación puede ser sanitariamente cerrada y tener acceso a la inseminación artificial.
- Mediante una combinación de los dos casos anteriores: el ganadero compra los verracos en el exterior y produce, él mismo, todas o parte de las cerdas de reposición necesarias.

### 3. Trabajo

El trabajo de porcinocultor, en su forma tradicional, se ha considerado desde siempre como poco envidiable: penoso, desagradable y demandante de escasa cualificación. Este ha sido, frecuentemente, el elemento determinante del abandono de las explotaciones en unas estructuras de pequeñas dimensiones carentes de equipamientos.

Este factor de producción debe ser considerado como un importante indicador de una explotación, a la vez desde los puntos de vista cualitativo, cuantitativo y organizativo.

Para profundizar en este apartado, recomendamos el capítulo "Economie des productions porcines" de O. Teffène y J. Vanderhaegen de la obra "*Le Porc et son élevage: bases scientifiques et techniques*".

### 4. Alimentación

La alimentación supone, en la producción porcina, el factor de mayor consideración en los gastos de producción.

Diferentes categorías de alimentos responden a las exigencias de los animales, según su estado fisiológico. Las materias primas que entran en su composición son, en general, de una fuerte concentración energética. Los piensos compuestos fabricados por la industria de la alimentación animal cubrían, en 1982, alrededor del 65% de las necesidades alimentarias de la producción porcina francesa (frente a un 47% en 1970); el resto está asegurado por los alimentos de orden granjero.

En el estudio económico de la alimentación, como factor de producción, es preciso analizar dos apartados:

- El mercado de materias primas: Posibilidades y estacionalidad.

- Los precios de los distintos tipos de piensos: MegaJulio de energía metabolizable/precio y evolución de los precios en el tiempo.

## COSTES DE PRODUCCIÓN

La puesta en marcha de un factor de producción genera un coste que puede expresarse como una suma de gastos.

Estos gastos pueden definirse como la expresión monetaria del consumo, o del derecho de utilización de bienes o de servicios, en el transcurso de un período de tiempo dado.

Debemos distinguir:

- **Gastos reales** (realmente soportados por el ganadero) que abarcan:
  - Los "gastos consumidos", en contrapartida a un suministro o aprovisionamiento o a un servicio (gastos generales, salarios,...).
  - Los gastos derivados de un cálculo o de una evaluación: Las amortizaciones y las provisiones...
- **Gastos suplementarios o ficticios** (no figuran en la contabilidad general): evaluación aplazada de las aportaciones de bienes y de servicios no inscritos en las cargas reales correspondientes al coste de los factores capital y trabajo pertenecientes al ganadero y su familia, y puestas por ellos a disposición de la explotación, es decir, de alguna manera, lo que dejan de percibir éstos al no emplear esos factores de capital y trabajo en una actividad al margen de la explotación.

La actividad productiva consiste en poner en funcionamiento una serie de factores o medios de producción para obtener un cierto volumen de producto.

Los costes de producción de un producto están constituidos por la totalidad de los gastos que concurren en la obtención de dicho producto:

- El coste de adquisición de materias consumidas.
- Los otros costes generados a lo largo de las operaciones de producción.

En un período determinado de tiempo, un coste viene definido por:

- El "campo de aplicación" de cálculo: en la unidad de producción (cerda,...), en la unidad de producto (lechón, cerdo cebado,...).
- El "contenido": las cargas retenidas en parte (coste alimentario, de trabajo) o en total (coste de producción, coste de fabricación = coste de producción + coste de distribución).

## **Principales elementos de coste en la producción de ganado porcino**

Un coste de producción está constituido por un conjunto de gastos que determinan la obtención de un producto. Es preciso, pues, identificar y calcular todos los elementos.

El Plan Contable General, revisado en 1982, distingue los siguientes:

- A. Gastos de explotación normal y corriente.
- B. Gastos financieros.
- C. Gastos excepcionales.

### **A. Gastos de explotación normal y corriente**

A.1. Las compras. Están constituidas principalmente por:

- Los alimentos y materias primas alimentarias (cereales, minerales,...).
- Los animales (reproductores, lechones).
- Los productos veterinarios (medicamentos, productos para reproducción).
- El agua, el gas y la electricidad.
- Los carburantes y lubricantes.
- Los suministros de equipamiento y de oficina.

A.2. Otros gastos externos.

- Los subarriendos y rentas fijas de créditos.
- El mantenimiento y reparación de construcciones e instalaciones.
- Las primas de seguros.
- Las remuneraciones de intermediarios y honorarios a técnicos.
- Los gastos de transporte.
- Los gastos de gestión, telecomunicación, postales.

A.3. Los impuestos (salvo impuestos sobre el valor añadido I.V.A).

- Tasas y pagos obligatorios al Estado, a colectividades locales o instituidas para la financiación de acciones de interés económico o social.

A.4. Gastos de personal.

- Las remuneraciones (salarios, primas, indemnizaciones) de personal.
- Los gastos de seguridad social.

#### A.5. Las amortizaciones.

Representan la parte del coste de los inmuebles (construcciones, instalaciones, materiales,...) necesarios para producir. Son la constatación de una depreciación del valor de un inmueble resultante de su uso, del tiempo, del cambio o de cualquier causa. Esta depreciación del valor es real, pero, a menudo, mal conocida y se procede a una estimación, aplicando unas reglas definidas por:

- Un montante a amortizar (en general el valor de origen).
- Una duración, en relación a la duración de vida útil del bien: la construcción, según los materiales utilizados, y las instalaciones según diferentes duraciones de tiempo.
- Un método de amortización de tipo:
  - Constante o lineal: la amortización del ejercicio iguala al montante a amortizar dividido por la duración de la vida.
  - Regresivo: calculado por la aplicación de un porcentaje decreciente al valor de origen o por un porcentaje fijo al valor neto contable, la amortización decrece con el tiempo.
  - Variable: basado en la depreciación real de los materiales o en la intensidad de utilización.

#### B. Gastos financieros

- Los gastos de interés consecuentes a préstamos a largo, medio o corto plazo, a cuentas corrientes, etc.
- Otros gastos financieros: descuentos acordados, pérdidas de cambio o sobrevalores colocados.

#### C. Gastos excepcionales

- Gastos ligados a la gestión: demandas fiscales, créditos irrecobrables, etc.
- Gastos ligados a ejercicios anteriores.
- Gastos ligados a cesiones de elementos de activo.

Por último, el capítulo "participación de asalariados en los beneficios de una expansión", así como "impuestos sobre los beneficios y asimilados" concierne poco a explotación del ganado porcino, al ser predominantemente familiares y no en régimen de sociedad.

**CUADRO 1. Estructura de los gastos anuales por cerda en 1988 para una explotación de ciclo abierto y otra de ciclo cerrado.**

NATURALEZA DE LOS GASTOS		CICLO ABIERTO		CICLO CERRADO	
		Pts.	%	Pts.	%
Gastos de los reproductores	Alimentación reproductores .....	36.000	30,26	36.000	11,84
	Veterinario y medicamentos .....	6.000	5,04	6.000	1,97
		42.000	35,30	42.000	13,81
Gastos de estructura	Amortizaciones .....	10.000	8,40	18.000	5,92
	Gastos financieros a largo plazo .....	5.500	4,22	10.000	3,29
	Gastos financieros a corto plazo .....	7.400	6,22	16.000	5,26
	Mano de obra .....	22.000	18,49	30.800	10,13
	Costeneto de renovación del verraco.....	4.500	3,78	10.800	3,55
		49.400	41,52	85.600	28,15
Total de gastos fijos por cerda .....		91.400	76,82	127.600	41,96
Gastos variables por cerda	Alimento de lechones .....	26.385	22,17	26.385	8,68
	Cebo .....			147.600	48,57
	Otros gastos variables .....	1.200	1,01	2.300	0,76
		27.585	23,18	176.285	58,01
Gasto anual total por cerda .....		118.985	100%	303.885	100%

## LOS PRODUCTOS

El producto de la actividad "cerdo", considerado independientemente o en el cuadro de una explotación, es igual al valor de la producción derivada de esta actividad en el curso de un período de tiempo determinado.

El valor de producción depende de dos elementos principales, la cantidad y la calidad de la producción y del precio de mercado, estando éste últimamente muy fluctuante.

### Principales productos

Al igual que en capítulo de gastos, los productos se distinguen, según el Plan Contable General, revisado en 1982, en :

- A. Productos de explotación normal y corriente.
- B. Productos financieros.
- C. Productos excepcionales.

### **A. Productos de explotación normal y corriente**

- La producción vendida (ingresos y créditos):
  - Lechones.
  - Cerdos cebados.
  - Reproductores (en las granjas de selección y multiplicación).
  - Animales de desecho.
  - Otros productos (estiércol y purines).
- La producción autoconsumida.
- La producción almacenada.
- La producción inmovilizada: trabajos realizados por la empresa para sí misma (construcciones, reparaciones,...).
- Las subvenciones e indemnizaciones, las primas y ayudas diversas.
- Las recuperaciones sobre amortizaciones y las transferencias de gastos.

### **B. Los productos financieros**

- Ingresos de títulos de participación (partes de cooperativas,...).
- Préstamos y créditos.
- Descuentos obtenidos.

### **C. Los productos excepcionales**

- Ingresos por operaciones de gestión (subvenciones de equilibrio,...).
- Parte de la cuota de subvenciones de inversión como resultados del ejercicio.
- Cesiones de elementos de activo.

El apartado de mayor interés lo representan, sin duda, los productos de explotación corriente; los animales vendidos constituyen la mayor parte de los productos de la explotación del ganado porcino.

### **Volumen y calidad de los productos**

Cualquiera que sea la coyuntura, el nivel de los productos de una granja dependerá de variables cuantitativas y cualitativas determinantes:

#### **A. Número de animales llevados a peso comercial (N).**

En las granjas de producción, puede venir expresado:

$$N = n \times p \times l$$

siendo:

**n:** n.º de cerdas en reproducción.

**p:** n.º de partos por cerda y año.

**l:** n.º de lechones producidos por parto (el mejor estimador sería n.º de lechones destetados).

En los cebaderos, se puede estimar en función de las rotaciones de ganado al año, en función de la velocidad de crecimiento y porcentaje de pérdidas.

### B. Los pesos de comercialización

Estos varían según los productos:

- Cerdos de sacrificio: se calculan entre 95-100 Kg.
- Lechones: son comercializados entre 20-24 Kg.
- Animales de desecho: las medias oscilan entre 200 Kg. para las cerdas y 230 Kg. para los verracos de desecho.

Los valores citados pueden sufrir de leves a notables oscilaciones, según la región o el país de que se trate.

### C. Los rendimientos en canal de los cerdos de sacrificio (R)

$$R = \frac{\text{peso de la canal}}{\text{peso vivo}}$$

El peso de la canal corresponde al peso sobre la cadena de matanza (peso caliente); el peso vivo se entiende a la salida de la granja.

El rendimiento, expresado en % según una presentación generalmente con cabeza (5-6% del peso de la canal) y bajo la dependencia de numerosos factores:

- El plazo transcurrido entre la pesada en vivo a la salida de la granja y la pesada de la canal después del sacrificio.
- La duración de ayuno antes del sacrificio.
- La duración y las condiciones de transporte.
- Los pesos y tipo genético del animal.
- La composición de la ración y el nivel alimentario.

Los rendimientos medios que se obtienen son del orden de:

- 79% para cerdos de 100 Kg.
- 76% para cerdas de desecho.
- 77% para verracos de desecho.

En condiciones normales, la incidencia económica de una variación de un 1% de rendimiento implica del 1,25 al 1,30% del precio del animal.

#### **D. La calidad**

Este criterio va alcanzando, poco a poco, un lugar destacado en la valoración de la producción de ganado porcino.

Por un lado, las exigencias de un consumidor—cada día más sensibilizado con los productos que consume— y, por otro lado, la depuración de técnicas cada vez más sofisticadas para determinar la calidad de las carnes, hacen que se empiece a tener muy en serio una voluntad de mejorar estos aspectos, pues comienza a afectarse seriamente de un componente económico nada despreciable.

Podemos citar, como medidas puestas ya en funcionamiento, la clasificación de canales, cuyo criterio fundamental está basado en el porcentaje de piezas nobles (jamón y lomo), que ha pasado de un 68% (hace 30 años) a un 78% actualmente del valor de la canal.

Por último, debemos señalar que no transcurrirán muchos años para que otros caracteres propios de la calidad de la carne (terneza, capacidad de retención de agua, color,...) tengan un significado económico de gran relevancia.

En lo referente a los lechones, la calidad reside en su aptitud a producir una buena canal al menor costo, bajo la dependencia de factores (genéticos, sanitarios,...) a menudo difíciles de apreciar.

#### **RESULTADOS ECONÓMICOS: MARGEN DE BENEFICIO**

La importancia de los factores técnicos y económicos no debe hacer perder de vista el objetivo de la actividad: el resultado que ella produce y sus problemas: la necesidad de capitales.

La contrastación de costes y de productos va a permitirnos calcular unos resultados económicos caracterizados por sus matices (serán numerosos), su nivel y su variabilidad, en un momento dado y en el tiempo.

Toda actividad económica debe encontrar, en cantidad suficiente, en el momento deseado y al menor costo, los fondos necesarios para sus necesi-

dades de equipamiento (inversión) y de explotación (funcionamiento).

El ganadero tiene necesidad de comprender también la vía financiera de su granja (cualquiera que sea su tamaño) que condiciona el nacimiento, autonomía y desarrollo de la misma.

Agrupando los costes y los productos podemos llegar a los **resultados económicos** de nuestra actividad empresarial desarrollada.

<b>RESULTADOS</b>	
<b>COSTES</b>	<b>PRODUCTOS</b>
<b>Gastos de explotación</b>	<b>Productos de explotación</b>
– Compras	– Vendido
– Otros gastos externos	– Autoconsumido
– Gastos de personal	– Almacenado
– Amortizaciones	– Inmovilizado
– Otros gastos de explotación	<b>Subvenciones de explotación</b>
<b>Gastos financieros</b>	<b>Otros productos</b>
<b>Gastos excepcionales</b>	<b>Productos financieros</b>
	<b>Productos excepcionales</b>
<b>BENEFICIO = PRODUCTOS – COSTES</b>	

## **PAPEL DE LA MEJORA GENETICA EN LA ECONOMIA DE LA EXPLOTACION DEL GANADO PORCINO**

Después de haber analizado la explotación de ganado porcino, desde una perspectiva económica, sólo nos queda describir el papel que desempeña la mejora genética en esta actividad.

La mejora genética puede incidir, tanto en el capítulo de gastos –disminuyendo éstos–, como en el apartado de ingresos –aumentándolos–.

### **A. Influencia de la mejora genética en el capítulo de gastos**

Son varios los caracteres susceptibles de mejora genética que pueden influir en la reducción del capítulo de gastos:

- Sobre los gastos de alimentación:
  - La ganancia media diaria.
  - El índice de transformación.

- Sobre los gastos de reproducción:
  - La fecundidad.
  - La fertilidad.
  - La longevidad.
- Sobre los gastos de manejo:
  - La rusticidad.
  - La ausencia de sensibilidad al test del Halotano.

## **B. Influencia de la mejora genética en el capítulo de ingresos**

El mayor número de caracteres seleccionados en el cerdo correspondiente a este apartado pueden incidir aumentando el margen de beneficio; los más importantes son:

- La prolificidad (expresada en el n.º de lechones destetados).
- La viabilidad de los lechones.
- Peso de los lechones al destete.
- La fecundidad.
- La producción láctea de la cerda.
- La precocidad sexual.
- La longevidad.
- La ganancia media diaria.
- El espesor del tocino dorsal.
- El rendimiento a la canal.
- El porcentaje de las piezas nobles (jamón y lomo).
- Los caracteres de calidad de la carne.
  - Grado de acidez.
  - Color (reflectancia).
  - Consistencia.
  - Capacidad de retención de agua.
  - Textura.
  - Contenido de grasa intramuscular.

La estrategia a seguir por el genetista radica en intentar incluir el mayor número de estos caracteres en la ecuación de beneficio (ingresos-gastos) para, posteriormente, analizar el significado económico de cada uno de ellos en la concepción global de esta actividad económica, de modo que pueda tomar las decisiones correctas en cuanto hacia dónde debe dirigir sus esfuerzos de selección sobre los futuros reproductores.

**BIBLIOGRAFIA**

- HARRIS, D. A.; STEWART, D. S.; ARBOLEDA, C. R., 1983. Animal breeding programs: a systematic approach to their design. J. Paper n.º 8847 U.S. Government PRINTING Office, 14 pp.
- OMNES, Ph.; RUNAVOT, J. P.; KERISIT, R.; REYBAUD, M., 1973. Production et utilisation des animaux assainis dans l'espèce porcine. N.º spécial. Bulletin I.T.P., n.º 6/73, 84 pp.
- REYBAUD, M.; TEFFENE, O., 1976. Resultats techniques et économiques en élevages assainis. In: Investir en production porcine: choix et risques économiques, 93-99, I.T.P., Paris.
- TEFFENE, O.; VANDERHAEGEN, J., 1986. Economie des productions porcines. In: Le porc et son élevage: bases scientifiques et techniques. Maloine. Paris.

# 4. PARÁMETROS GENÉTICOS: HEREDABILIDAD Y CORRELACIONES ENTRE LOS CARACTERES

## INTRODUCCIÓN

El primer concepto de interés es el de parámetros. Un **parámetro** no es más que una característica medible que nos puede dar información sobre una población. Por ejemplo, el peso medio o la media de la velocidad de crecimiento de los animales de una raza. La población la constituirán todos los animales de dicha raza y el parámetro de interés sería el peso medio o la media de la velocidad de crecimiento de los animales en esa población.

En mejora genética, los parámetros de interés son, no sólo valores de las medias sino el grado de dispersión de los datos alrededor de las medias, denominado varianzas, y combinaciones de estas varianzas que nos van a dar el valor de parámetros tan importantes como las heredabilidades de los caracteres y las correlaciones entre ellos.

Normalmente, el valor de los parámetros no se conocen ya que, para ello, sería necesario medir a todos y cada uno de los individuos que integran la población; por ello, se suelen utilizar lo que se denominan estimas de esos parámetros. Lo que esto quiere decir es que, puesto que no vamos a medir todos los animales de la población, tarea difícil y costosa, vamos a elegir una muestra suficientemente representativa, medimos los caracteres de interés en los animales de la muestra y utilizamos diferentes expresiones para conocer algo de los parámetros en los que estamos interesados.

Por ejemplo, si nuestro interés es el parámetro de la media, podemos coger una muestra y calcular la media en esa muestra, a continuación decimos que esa media de la muestra es un **estimador** de la media de la población. Lo mismo se hará con cualquier otro parámetro de interés, heredabilidad, correlación genética, etc.

## HEREDABILIDAD

La **heredabilidad**, entendida en **sentido amplio**, representa el porcentaje de las diferencias que se aprecian entre los caracteres que se miden en los animales y que son debidas al efecto genético, es decir, qué porcentaje de esas diferencias se explicarían por el conjunto de los mecanismos genéticos de la herencia.

En principio, todos los caracteres que se pueden medir en un animal son, en mayor o menor medida, consecuencia de acción genética, pero no todas las influencias genéticas tienen interés desde un punto de vista del mejorador. La razón es que no todas las acciones genéticas se transmiten a la herencia.

La acción genética de interés en mejora es aquella que se transmite a la descendencia de forma que se puede conocer su importancia antes, siquiera, de que se hayan realizado los apareamientos de los padres. Esta acción genética es la que se logra por el efecto que cada uno de los genes, independientemente, tiene sobre el carácter de interés, de forma que el resultado de la acción es debido a la suma de los efectos de cada uno de los genes que intervienen en la expresión del carácter que estemos estudiando.

Este efecto genético se denomina **efecto aditivo de los genes** y es el más importante desde el punto de vista del mejorador ya que permite estimar parámetros genéticos que, a su vez, permiten conocer qué va a ocurrir al practicar la selección y comparar entre diferentes programas posibles de selección. El porcentaje de las diferencias apreciables entre los animales para un determinado carácter, que son debidas a dicho efecto aditivo, es lo que se entiende por **heredabilidad en sentido estricto**.

Veamos para qué puede servir este parámetro genético. Supongamos una población de ganado porcino y que nuestro interés está centrado en el carácter **ganancia diaria en peso**, cuya media en dicha población es de 635 g.

Imaginemos que queremos realizar un programa de selección y que para ello elegimos el 20% de los animales con mayor tasa de ganancia diaria en peso, por ejemplo, la media de este carácter en los padres que se eligen para aparearse es de 700 g.

Supongamos que el carácter manifiesta una heredabilidad de cero, valor mínimo que puede tomar este parámetro, es decir, se trata de un carácter en el que todas las diferencias que se aprecian entre los animales son debidas a otras causas distintas de la del efecto aditivo de los genes.

Apareemos estos padres elegidos entre el 20% mejor de la población. ¿Cuál será la media que se espera en la generación de hijos de esa población?

La contestación es que, a pesar de que los padres de la generación filial tienen una media de 700 g., los hijos tendrán como media el mismo valor que el de la población de donde provienen sus padres, es decir, 635 g.

Supongamos ahora que el carácter manifiesta una heredabilidad de uno,

valor máximo que puede tomar este parámetro, es decir, se trata de un carácter en el que todas las diferencias que se aprecian entre los animales son debidas al efecto aditivo de los genes.

Apareamos los mismos padres de antes, cuya media era de 700 g. para obtener la generación filial. ¿Cuál será la media de la ganancia diaria en peso de estos hijos?

En este caso, esa media será de 700 g., es decir, se ha incrementado la media de la población desde los 635 g. en la generación anterior a los 700 g. de esta nueva generación.

Con valores intermedios para la heredabilidad, la media de los hijos se puede calcular utilizando la siguiente expresión:

$$X_n = X_p + h^2 S \quad (1)$$

siendo:

$X_n$  la media de carácter en los hijos.

$X_p$  la media del carácter en la población de los padres.

$h^2$  es el valor de la heredabilidad.

$S$  es el diferencial de selección, que es la diferencia entre la media del carácter en los padres que se eligen para ser apareados entre sí (700 g.) y la media del carácter en la población (635 g.).

Es importante darse cuenta de que si  $h^2$  vale 1, la expresión (1) queda de la forma siguiente:

$$X_h = 635 + 1(700-635) = 635 + 700 = 700 \text{ g.}$$

y que si  $h^2$  vale 0 (1) queda de la forma:

$$X_h = 635 + 0(700-635) = 635 \text{ g.}$$

Una propiedad importante de la heredabilidad que es necesario tener en cuenta, y que frecuentemente se olvida, es que este parámetro es exclusivo para un carácter y una población concreta, en un momento determinado. Esto quiere decir que el mismo carácter en dos poblaciones diferentes de, por ejemplo, Large White, pueden tener valores distintos en la heredabilidad, que el mismo carácter en la misma población pero medido en años diferentes puede tener diferentes valores de  $h^2$ .

Hay que tener en cuenta que un carácter, como el tamaño de camada, puede ser diferente si se está incluyendo hembras de todas las edades, sólo las hembras de primer parto, hembras de primer y segundo parto, sólo hembras de segundo parto, etc., y que cada uno de estos caracteres "tamaño

de camada" pueden tener diferentes heredabilidades.

Para medir la heredabilidad es necesario disponer de medidas de los caracteres de interés en grupos de animales que tengan un grado de parentesco conocido. La medida de la heredabilidad se hace a través de la medida del parecido entre los animales que pertenecen a una misma "familia". Por ejemplo, se puede medir cuánto se parecen los hijos a sus madres, a sus padres o a ambos a la vez. Esta medida se puede realizar utilizando la regresión de los hijos sobre el o los padres, lo que nos da un valor respectivamente de la mitad de  $h^2$  o de  $h^2$ .

También se puede medir cuánto se parecen los animales que son medio hermanos o los animales que son hermanos carnales, lo que se pueden hacer calculando un coeficiente de correlación que nos mide respectivamente  $1/4 h^2$  o  $1/2 h^2$ .

En la Tabla 1 aparecen un conjunto de caracteres con los valores de las heredabilidades que se han estimado en diferentes poblaciones y en diferentes momentos.

**TABLA 1. Valores de la heredabilidad para diferentes caracteres de interés en ganado porcino**

Carácter	Heredabilidad
Longitud de la gestación .....	0,20 - 0,30
Tamaño de la camada al nacimiento .....	0,05 - 0,20
Número de lechones destetados .....	0,05 - 0,15
Número de tetas .....	0,20 - 0,40
Peso de la camada al nacimiento .....	0,10 - 0,30
Peso de la camada a los 21 días .....	0,15
Peso del animal a los 5-6 meses .....	0,20 - 0,25
Espesor del tocino dorsal .....	0,30 - 0,50
Índice de conversión de alimentos .....	0,25
Ganancia media diaria en peso .....	0,40
Días hasta lograr un peso de 110 Kg. ....	0,35
Longitud de la canal .....	0,50 - 0,60
Porcentajes de cortes magros .....	0,35 - 0,50
Rendimiento de jamón y lomo .....	0,30 - 0,40
Calidad de la carne .....	0,30 - 0,40
Area de músculo longissimus dorsi (cm. <sup>2</sup> ) .....	0,40
Longitud corporal (cm.) .....	0,50 - 0,60
Longitud de las orejas .....	0,60 - 0,65
Color de la carne .....	0,15 - 0,35

## CORRELACIÓN ENTRE CARACTERES

Es un hecho conocido que al modificar la media de un carácter se observan cambios en el mismo sentido o sentido inverso en las medias de otros caracteres.

Dos son las causas principales para que exista correlación entre los caracteres: la existencia de pleiotropía, causa principal, y la existencia de ligamiento.

El **efecto de pleiotropía** es debido a los genes que afectan a más de un carácter al mismo tiempo. Si pensamos que el número de caracteres que se puede medir en un animal es infinito, mientras que el número de genes del que es portador un animal es finito —se reduce a unos miles—, es lógico deducir que tiene que haber genes que participen en la expresión de varios caracteres. De esta forma habrá caracteres que compartan un mayor o menor número común de genes, lo que lleva a una mayor o menor correlación entre ellos.

El **efecto de ligamiento** se produce como consecuencia de la transmisión conjunta de genes que están situados en el mismo cromosoma, de forma que no es posible la segregación independiente de ellos.

El estudio de la correlación entre los caracteres es de gran interés en mejora ganadera y, en especial, en la mejora del ganado porcino, ya que, en la mayoría de las situaciones reales, cuando lo que se persigue es un beneficio económico, éste depende de un conjunto de caracteres y no de uno sólo, es decir, el logro de un aumento en el beneficio económico dependerá de la mejora simultánea para más de un carácter, por ejemplo, velocidad de crecimiento, espesor del tocino dorsal, índice de transformación de alimentos, etc. El problema surge cuando la modificación de la media de un carácter en sentido positivo trae como consecuencia la modificación de otros u otros caracteres en sentido negativo.

En general, se puede decir que cualquier programa de selección continuada para la mayoría de los caracteres de interés productivo, trae como consecuencia la depresión de la media de caracteres relacionados con la eficacia reproductiva de la población, es decir, llega un momento que la naturaleza pone freno a la acción de la selección artificial. Este es un hecho constatado en casi todas las especies domésticas, en general. Después de un largo proceso selectivo, se aprecian caídas en los valores de caracteres como: intervalo entre partos, tamaño de camada, número de nacidos vivos, fertilidad, número de inseminaciones por gestación, etc.

Detrás de estos hechos está el fenómeno de la correlación, más concretamente el fenómeno de la correlación genética negativa. En el ganado porcino son bien conocidas las correlaciones genéticas negativas que existen entre caracteres como número de animales nacidos vivos y en número de días para lograr un peso de 110 Kg. o el número de nacidos vivos

y el índice de transformación de alimentos. Por ejemplo, un programa de selección que aumente la ganancia diaria en peso de los animales, reducirá, al mismo tiempo, la cantidad de pienso que se necesita para producir una unidad de peso, lo cual es bueno, pero, al mismo tiempo, se producirá un incremento en el espesor del tocino dorsal, lo cual es un hecho no deseado.

**¿Qué es la correlación?** Desde un punto de vista estadístico, representa el nivel de asociación entre dos variables, de forma que, conocido el comportamiento de una de ellas, podemos conocer el de otra u otras asociada/s con ella.

Los valores de este parámetro oscilan entre  $-1$  y  $1$ , indicando el valor  $0$  ausencia de correlación y los valores  $-1$  y  $1$  una correlación completa negativa y positiva respectivamente. En el caso de una correlación positiva entre dos variables, cuando una de ellas aumenta su valor se espera que otro tanto ocurra con la otra, al contrario, cuando la correlación entre dos variables es negativa, el incremento en la media de una variable acarrea disminución en la media de la otra.

La correlación que se puede observar entre caracteres medibles en los animales, está causada por dos tipos diferentes de correlaciones: una correlación ambiental y una correlación genética.

Se puede dar el caso de que a una correlación aparente positiva entre dos caracteres corresponda una correlación genética negativa. Por ejemplo, la correlación fenotípica entre los caracteres "número de lechones nacidos vivos" y "número de días para lograr un peso de 110 Kg." es de  $0,10$  mientras que la correlación genética, como se ha dicho antes, es de  $-0,30$ . Esto puede ser así si la correlación ambiental es suficientemente elevada para contrarrestar la correlación genética negativa. Lógicamente la situación inversa también es posible. Por ejemplo, la correlación fenotípica entre el número de lechones nacidos vivos y el peso de la camada a los 21 días es de  $-0,10$ , mientras que la correlación genética es de  $0,40$ .

La correlación medible entre dos caracteres,  $X$  e  $Y$ , se puede expresar de la siguiente manera:

$$r_p = h_x h_y r_a + e_x e_y r_e$$

donde:

$h_x$  y  $h_y$  representan las raíces cuadradas de las heredabilidades de los caracteres  $x$  e  $y$ .

$$e = 1 - h^2$$

$r_a$  es la correlación genética entre ambos caracteres.

$r_e$  es la correlación ambiental entre ambos caracteres.

### ¿Cómo se puede estimar la correlación entre dos caracteres?

Dos métodos se pueden utilizar para medir la correlación genética y cuyas bases estadísticas son las mismas que las comentadas anteriormente para la estima de la heredabilidad. Uno es estimar la probabilidad de que muchos de los mismos genes afecten dos caracteres. Otra forma es realizar experimentos seleccionando para un carácter y medir la respuesta que se obtiene en otros caracteres.

Una aplicación importante de la correlación entre caracteres es el estudio de la **respuesta correlacionada**. Puesto que estamos seleccionando para un determinado carácter, nos puede interesar conocer cuál es el cambio que se va a producir en otros caracteres correlacionados con aquél. Por ejemplo, si nosotros deseamos aumentar el número de lechones nacidos vivos, podemos estar interesados en conocer cuántos días más vamos a necesitar para lograr el peso de 110 Kg. ya que, como se comentó anteriormente, existe una correlación genética negativa entre ambos.

El contestar a esta pregunta tiene un enorme interés ya que puede ocurrir que, el lograr más animales nacidos vivos—lo que puede suponer un aumento de ingresos económicos—, quede negativamente compensado si el número de días que es necesario mantener un animal para alcanzar el peso de 110 Kg. aumenta en exceso, de forma que el balance global, después de la selección, resulte negativo.

La expresión siguiente nos permite calcular cuál será el cambio en la media del carácter correlacionado Y, cuándo se practica selección para el carácter X:

$$C_y = P_y + s_x h_x r_a \sigma_y$$

siendo:

- $C_y$  la media del carácter Y después de seleccionar para el carácter X.
- $P_y$  la media del carácter Y en la población antes de seleccionar para el carácter X.
- $S_x$  es el diferencial de selección, tal y como se definió anteriormente, para el carácter X.
- $h_x$  es la raíz cuadrada de la heredabilidad del carácter X.
- $r_a$  es la correlación genética entre los dos caracteres.
- $\sigma_y$  es la raíz cuadrada de la varianza genética del carácter Y.

Un aspecto negativo de la selección para el aumento del porcentaje de carne magra o de partes nobles comercializables, objetivos perseguidos en casi todos los programas de mejora en el ganado porcino, es el incremento

de la incidencia de lo que se suelen denominar **carnes pálidas y exudativas**, asociado a carnes de peor calidad, con mayores pérdidas durante la preparación culinaria.

Otra de las aplicaciones que nos puede permitir el fenómeno de la correlación genética es el denominado **selección indirecta**. En algunos casos, la selección para un determinado carácter, puede resultar muy difícil –prácticamente imposible–, o muy lenta, por diversas razones como, por ejemplo, en el caso de ser un carácter difícilmente medible, o medible con un alto nivel de error, o, por ejemplo, en el caso de que el carácter sólo se pueda medir en un sexo.

En esta situación, si se conoce algún carácter altamente correlacionado con el de interés que no presenta esos problemas de estar limitado a expresarse en un solo sexo, o ser muy difícil de medir, pudiera tener ventajas seleccionar, para este carácter, con el fin de provocar un cambio correlacionado con el carácter en el que realmente estamos interesados.

Un buen ejemplo de esto ocurre en el ganado porcino con el carácter de rendimiento de la canal, pero el que medimos y seleccionamos es el del espesor del tocino dorsal, como una forma indirecta de seleccionar para el otro.

Se puede expresar la ventaja relativa del método de selección indirecta frente a la selección directa mediante el cociente de lo que se logra en ambos casos:

$$\frac{RC_x}{R_x} = r_a \frac{S_y h_y}{S_x h_x}$$

siendo:

$RC_x$  la respuesta que se obtendría para el carácter X cuando se selecciona para este carácter Y.

$R_x$  es la respuesta directa de X que se obtiene cuando se selecciona directamente para este carácter.

$S_y$  y  $S_x$  son los diferenciales de selección para los caracteres de Y y X, respectivamente.

$h_y$  y  $h_x$  son las raíces cuadradas de las heredabilidades de los caracteres Y y X, respectivamente.

$r_a$  es la correlación genética entre ambos caracteres.

Por lo tanto, si la heredabilidad del carácter secundario es mayor que la del carácter de interés y la correlación genética entre ambos es elevada,

suponiendo que se pueda lograr el mismo diferencial de selección para ambos caracteres, la selección indirecta tendrá ventajas frente a la selección directa.

En la tabla 2 se dan algunos valores de correlaciones genéticas entre caracteres de interés.

**TABLA 2. Correlaciones genéticas entre diversos caracteres de interés económico en el ganado porcino.**

Caracteres	Correlación
<b>Ganancia de peso diaria con:</b>	
Espesor del tocino dorsal .....	0,25
Índice de conversión de alimentos .....	-0,25 -0,70
Área del músculo longissimus dorsi .....	-0,25
<b>Número de lechones nacidos vivos con:</b>	
Peso de la camada a los 21 días .....	0,40
Días hasta un peso de 110 Kg. ....	-0,30
Espesor del tocino dorsal .....	-0,20
<b>Índice de conversión de alimentos con:</b>	
Peso del tocino dorsal .....	-0,25
Número de lechones nacidos vivos .....	-0,20
Días hasta un peso de 110 Kg. ....	0,70
Peso de la camada a los 21 días .....	-0,20
Área del longissimus dorsi .....	0,15
<b>Espesor del tocino dorsal :</b>	
Área del longissimus dorsi .....	-0,35
Días hasta un peso de 110 Kg. ....	-0,25



# 5. CRITERIOS DE SELECCIÓN Y CONTROL DE RENDIMIENTOS

## INTRODUCCIÓN

Antes de poder diseñar un programa de mejora genética, será necesario saber qué es lo que queremos mejorar. Parece sencillo decir que el objetivo que se persigue es el de lograr aumentar el beneficio marginal de los empresarios o la sociedad global. El problema reside en que la medida del beneficio marginal no es tarea fácil de llevar a cabo, ya que pueden entrar en juego muchos factores, no sólo económicos, sino, incluso, sociales, difíciles de cuantificar.

Simplificando las situaciones, se puede llegar a tratar de definir una función económica que incluya los ingresos y gastos que se producen en una explotación hipotética, que se considere como una explotación media. La diferencia entre estos ingresos y gastos, o sus cocientes, pueden dar una medida del beneficio obtenido o de la eficacia económica relativa del proceso de producción.

## CRITERIOS DE SELECCIÓN

Esta función económica puede ser muy compleja, incluyendo muchas variables que pueden tener poco que ver con caracteres biológicos controlables en los animales. Sin embargo, se puede tratar de buscar una serie de caracteres que tengan un interés biológico en el proceso de producción y una estrecha relación con los aspectos productivos de la explotación, es decir, con la función de beneficios definida previamente.

Esta serie de caracteres con relaciones biológicas conocidas, adecuadamente combinados, constituirán el objetivo de selección, es decir, el objetivo que se persigue, y que supuestamente llevará a obtener mayores beneficios. La combinación de los caracteres que se hayan elegido se suele hacer de una forma lineal y, a cada uno, se le dará una importancia económica relativa que se podrá deducir, teniendo como referencia la función de beneficios. Veamos un ejemplo.

Supongamos que podemos aproximar el beneficio de una empresa

mediante la contribución que hace una unidad de producción específica, por ejemplo, el beneficio de una madre y su descendencia, mediante la expresión:

$$LN(W + Gd)V - d(GCf + t) - (p - s) - L(x + Ny) \quad (2)$$

siendo:

- L** la duración de la vida reproductiva expresada como el número de épocas reproductivas.
- N** es el número medio de descendientes destetados o producidos por estación de cría.
- W** es el peso medio de la progenie al destete.
- G** es la ganancia media diaria para el período postdestete.
- d** es la duración del período de engorde postdestete en días.
- V** es el valor por unidad de peso resultante de la composición de la canal.
- C** es el cociente de transformación "alimento ingerido/ganancia de peso para el período de crecimiento postdestete".
- p** coste de la obtención de una hembra reproductora.
- s** es el valor bruto de la hembra.
- x** los costes por hembra y ciclo reproductivo incluyendo costes de apareamiento.
- y** costes adicionales postdestete por animal destetado.

En esta función, las letras **p**, **s**, **x** e **y** son, a su vez, funciones económicas que se deberán desarrollar.

Sin embargo, el objetivo de selección podemos definirlo, de una forma más sencilla, como la combinación lineal de los siguientes caracteres:

- Número medio de descendientes nacidos por parto (**N**).
- Peso medio de la camada al destete (**W**).
- Duración del período de engorde postdestete (**D**).
- Calidad de la canal (**V**).
- Índice de transformación de los alimentos (**C**).

Estos caracteres de interés económico pueden combinar linealmente de la forma:

$$OS = a_1 N + a_2 W + a_3 D + a_4 V + a_5 C$$

siendo  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ ,  $a_4$  y  $a_5$  los pesos económicos relativos de los caracteres **N**, **W**, **D**, **V** y **C**.

Estos pesos económicos se pueden calcular utilizando como referencia la expresión (2).

Una vez conocido el objetivo de selección, debemos considerar cómo podremos identificar a los animales que tengan un mayor valor de OS, es decir, cuyo mérito genético global para ese objetivo sea el más elevado. Se trata, pues, de clasificar a los animales disponibles para la selección por su valor genético para OS, también denominado **genotipo agregado**, de forma que sólo elegiremos como reproductores a aquellos que tengan los mayores valores de OS. El problema es que el mérito genético para esos caracteres no es visible, es decir, no se puede medir directamente en los animales. ¿Qué hacer?

Lo primero será elegir uno o varios caracteres para, adecuadamente combinados, utilizarlo como **criterio de selección**, lo cual significa que esa medida nos va a reflejar el mérito genético global, es decir, será una indicación indirecta del valor de OS en cada uno de los animales, por lo que los clasificaremos por el valor de ese criterio de selección, lo que nos permitirá elegir a los mejores como futuros reproductores.

En el caso de que el criterio de selección se basara en un solo carácter, lo que se trataría es medir dicho carácter en cada uno de los individuos y clasificarlos por el valor de dicho carácter. Normalmente, en mejora animal, no suele ser este el caso, y lo que resulta frecuente es disponer de medidas de ese carácter en el propio animal y en parientes de ese animal, con lo que el problema se complica al tener que combinar esa información adecuadamente para predecir el mérito genético global del animal.

Es evidente que, a medida que se dispone de más información sobre un animal, mayor será la garantía de que nos acerquemos al valor verdadero de OS que, como se ha dicho, no sabemos cuál es.

Uno de los factores que influyen en la velocidad del progreso genético es, precisamente, la correlación entre el valor del mérito genético global (OS) y el criterio de selección, de forma que, a medida que esta correlación sea más elevada, mayor será el progreso genético que se logre.

En la tabla 3 se representa esa correlación en función de los parientes en los que se mide el carácter.

Según se desprende de la tabla 3, si el carácter "espesor del tocino dorsal" se mide sólo en el animal, se obtiene una precisión del 71%; si se utiliza además de la propia medida del animal, la medida en 6 hermanos carnales, se obtiene el 75%, o del 95%, si además de la medida en el propio animal se mide también en 120 hijos.

En el caso del carácter "días hasta los 110 Kg.", vemos que el valor de la precisión, cuando se mide sólo en el animal, es más bajo que antes. Esto es un reflejo del valor de la heredabilidad, de forma que, cuando un carácter presenta una heredabilidad más baja, la medida del carácter en el propio individuo –como una medida de su mérito genético–, tiene una precisión

**TABLA 3. Precisión en la evaluación genética para los caracteres: días hasta un peso de 110 Kg. y espesor del tocino dorsal, cuando se utilizan diferentes fuentes de información de diferentes tipos de parientes.**

Fuentes de información	Días hasta los 110 Kg.	Espesor del tocino dorsal
El propio animal .....	0,50	0,71
El propio animal y hermanos		
Animal con 6 hermanos carnales .....	0,61	0,75
Animal con 120 medios hermanos .....	0,62	0,77
El propio animal y descendientes		
Animal y 12 hijos .....	0,61	0,71
Animal y 30 hijos .....	0,77	0,85
Animal y 60 hijos .....	0,93	0,95
Animal y 120 hijos .....	0,93	0,95

más baja, es decir, la medida del propio animal es un reflejo más pobre de su potencial genético.

Sin embargo, cuando medimos el mismo carácter en otros parientes del animal, la precisión aumenta. En este caso, cuando además de la medida en el animal, tenemos la medida tomada en 120 hijos, la precisión aumenta hasta el 93%, casi el mismo valor que para el carácter anterior.

Hasta ahora tan sólo hemos mencionado el caso de medir un solo carácter, pero es frecuente que se trate de medir más de un carácter con el fin de obtener mayor información sobre el genotipo agregado del animal. En este caso, la mejor forma de utilizar esa información es combinándola en lo que se denomina un **índice de selección**.

El índice de selección será, entonces, el criterio que se va a utilizar para clasificar a los animales, y representa el valor del genotipo agregado.

El índice de selección es una combinación lineal de las fuentes de información, en este caso los caracteres que se miden en el individuo y sus parientes. Cada una de estas fuentes tiene una importancia relativa que se asigna por un coeficiente. El cálculo de estos coeficientes necesita algunos conocimientos de regresión lineal, por lo que tan sólo se indica que para el cálculo de dichos coeficientes se utilizan los parámetros genéticos como heredabilidad, correlaciones genéticas y correlaciones fenotípicas y parámetros económicos como la importancia económica relativa de cada uno de los caracteres que se han incluido en el genotipo agregado. Toda esta información, adecuadamente tratada, permite calcular los coeficientes del índice de selección, que representan la importancia relativa que tiene cada uno de los caracteres que se miden en los animales y en sus parientes.

Estos coeficientes se calculan de manera que la correlación que pueda existir entre el genotipo agregado y el índice sea la más elevada posible. Es decir, cuando clasificamos dos animales utilizando dicho índice, la probabilidad de que dicha clasificación sea cierta; esto es, que, por ejemplo, el

animal A sea el mejor y el animal B el segundo, esa probabilidad sea máxima. Esta propiedad permite también obtener el máximo progreso genético por generación.

Veamos un ejemplo de índice de selección general para ganado porcino:

$$I = 100 + 3,4(N_0 - N) + 0,47(W_0 - W) - 1,2(D_0 - D) - 79(B_0 - B) \quad (3)$$

siendo:

- $N_0$  y  $N$  el número de lechones nacidos vivos en un parto de una hembra y el valor del tamaño medio del número de lechones nacidos vivos en la población total.
- $W_0$  y  $W$  el peso medio de la camada de la hembra a los 21 días y el peso medio de la camada a los 21 días en la población.
- $D_0$  y  $D$  el número de días para alcanzar el peso de 110 Kg. de la hembra y el número medio de días para alcanzar los 110 Kg. en la población.
- $B_0$  y  $B$  el espesor del tocino dorsal en la hembra objeto de valoración y la media de este carácter en la población.

Los valores 3,4; 0,47; 1,2 y 79 son los coeficientes del índice y representan la importancia relativa de cada una de las fuentes de información que sobre el animal se recogen.

En el ganado porcino es frecuente plantearse un esquema de mejora basado en la especialización de líneas que, posteriormente, son cruzados entre sí para obtener el producto comercial. Las líneas especializadas lo serán para caracteres que pueden ser antagónicos y que, por lo tanto, el separar los objetivos en dos líneas puede tener ventajas. Así, por ejemplo, se suele tratar de crear una línea paterna o línea "macho" que aportaría al cruce los caracteres de crecimiento, desarrollo muscular y calidad de canal, mientras que, la otra línea a crear, sería la materna o línea "hembra" que aportaría al cruce su prolificidad, peso de la camada al destete, intervalo entre partos, etc.

En general, se puede decir que la línea materna aporta los caracteres de tipo reproductivo y la paterna los de desarrollo y crecimiento. Es importante decir, que, mientras que la selección en la línea paterna puede hacerse persiguiendo sólo una mejora de los caracteres de crecimiento y desarrollo, sin que tenga que seleccionarse para los caracteres de tipo reproductivo, en la línea materna no sólo se seleccionarán caracteres reproductivos, sino que también hay que incluir los caracteres de desarrollo y crecimiento.

Estas importancias relativas de los diferentes caracteres en las dos líneas deberán tener un reflejo en los coeficientes de los índices de selección. Veamos dos índices de selección para las dos líneas:

$$I = 100 + 3,7(N_o - N) + 0,52(W_o - W) + 1,0(D - D) + 72(B_o - B) \quad (4)$$

$$I = 100 + 0,87(N_o - N) + 0,05(W_o - W) + 1,6(D_o - D) + 104(B_o - B) \quad (5)$$

El índice (4) corresponde a una línea materna y el (5) a una línea paterna. Los caracteres más relacionados con la capacidad reproductiva son el N y el W, es decir, el número de lechones nacidos vivos y el peso de la camada a los 21 días. Estos dos caracteres tienen en el índice de las hembras un peso 4,5 y 10 veces más elevado que en el índice de los machos. Sin embargo, en los machos tiene mayor importancia los caracteres de desarrollo y calidad de canal, de esta forma, los caracteres D y B, esto es, días hasta los 110 Kg. y espesor del tocino dorsal, tienen un 60 y un 50%, respectivamente, más importancia que en el índice de las madres.

## CONTROL DE RENDIMIENTOS

Como se puede deducir de lo comentado hasta ahora, la base para poder realizar selección está en la posibilidad de disponer de información sobre caracteres de interés en los animales.

La recogida de información puede suponer el aspecto más costoso dentro de un programa de mejora, pero se debe tener en cuenta que la recogida eficiente de información es utilizable, no sólo con fines de mejora genética sino que tiene otra utilidad tan importante o más que la anterior. La recogida de información y su adecuado tratamiento puede dar una visión valiosísima sobre muchos aspectos de interés económico a la explotación: se pueden detectar precozmente animales poco rentables, se pueden detectar errores generales de manejo, identificando sus causas, se puede organizar un racionamiento más adecuado de los recursos alimenticios, etc.

Un buen control de rendimientos debe proporcionar a las explotaciones, periódicamente, una información que constituya la base del manejo de esa explotación, además se podrá utilizar esa información en los programas de mejora genética.

La información de los diferentes caracteres se pueden recoger, bien en las propias explotaciones, bien en centros de testaje. La recogida de información en las propias explotaciones, como siempre ocurre, presenta ventajas e inconvenientes. Entre las ventajas cabría citar el que hay una serie de caracteres que no es posible medirlos nada más que a nivel de explotación: datos sobre gestación, edad a la madurez sexual, tasa de concepción,

animales destetados, etc. Otra ventaja es el mayor número de observaciones que pueden recogerse. El inconveniente que presenta este tipo de información es el mayor nivel de error y el hecho de estar influidos por el manejo determinado de cada una de las explotaciones, de forma que una baja fertilidad en una hembra sea más un hecho atribuible al manejo de la explotación que al hecho de que esa hembra tenga un potencial genético bajo para ese carácter.

La recogida de información en centro de testaje tiene la ventaja de eliminar parte de los factores ambientales al criar a los animales en un ambiente común. Una de las principales razones para la creación de las estaciones de testaje es, precisamente, la eliminación de algunos factores ambientales que pueden introducir errores en la valoración genética de los animales. Los inconvenientes de estos centros están, por un lado, en su necesaria limitación en el número de animales que pueden controlar, lo que impide que se recoja información de importancia para el manejo de las explotaciones, y, por otro, el que el comportamiento de los animales en un ambiente controlado y su correspondiente valoración genética no sea la misma cuando esos animales tienen que producir en las condiciones de las explotaciones.

Veamos algunos caracteres de interés que pueden ser recogidos en las propias explotaciones y en los centros de testaje:

### **Caracteres que pueden medirse en la explotación**

- Caracteres postdestete:
  - Velocidad de crecimiento (GMD).
  - Espesor del tocino dorsal (ETD).
- Caracteres de tipo reproductivo:
  - Datos sobre gestación.
  - Edad a la madurez sexual.
  - Tasa de concepción.
- Caracteres relacionados con la camada:
  - Tamaño de camada al nacimiento.
  - Tamaño de camada al destete.
  - Peso de la camada a los 21 días.
- Otros caracteres:
  - Área del "*longissimis dorsi*".
  - Longitud del cuerpo.
  - Sensibilidad al halotano.

### **Caracteres que pueden medirse en la estación de testaje**

- Velocidad de crecimiento (GMD).
- Espesor del tocino dorsal (ETD).
- Consumo de alimento (IT).
- Datos de composición de la canal de hermanos o medios hermanos.

La realización de cualquier programa de mejora genética debe basarse en un organizado programa de registro de las producciones. Este registro de las producciones deberá estar suplementado por un registro genealógico. Todos los animales deben ser identificados, lo antes posible, desde su nacimiento, con un número que debiera ser único y el mismo para toda la vida del animal; junto al número de identificación del animal debe figurar la información de, al menos, sus padres.

Para los análisis genéticos es imprescindible disponer, no sólo de los registros de producción, sino de la información de los parientes. No es posible conocer parámetros genéticos de la importancia de los comentados en el capítulo anterior, como la heredabilidad o las correlaciones genéticas, sin que exista una relación de parentesco conocida entre los individuos de los que disponemos de información.

La mejora genética, por lo tanto, se basará en los controles de rendimientos y en la información del pedigrí, recogida en libros genealógicos o cualquier otro medio que permita el manejo rápido de esta información.

Hoy día existe suficiente material informático, y a un precio bastante asequible, como para permitir el tratamiento de toda esta información mediante ordenadores, bien a nivel de explotación –si ésta tiene suficiente número de animales–, bien a nivel de una cooperativa que pueda reunir a varias explotaciones de menor tamaño.

La información que puede recogerse en las propias explotaciones se puede introducir directamente, en la misma explotación, en una terminal de mano y, desde aquí, se puede pasar directamente al ordenador de la cooperativa o de la granja. De esta manera el trabajo de tomar nota de los datos productivos se realiza una sola vez y queda ya registrada para siempre en el ordenador.

El proceso es más barato que cualquier otro de los que se hayan empleado hasta ahora y que suponían el tomar nota de los registros de producción en hojas especiales, para, al cabo de un cierto tiempo, volver a pasar estas hojas manualmente al ordenador. El número de errores aumenta con respecto al descrito anteriormente por dos causas fundamentales:

- Por el hecho de tener que intervenir en dos procesos manualmente.
- Debido a que el lapsus de tiempo entre que se toman los datos en la explotación y que se introducen en el ordenador es mayor, lo que impide el reconocimiento de errores que se hayan podido cometer en la recogida de los datos de explotación.

# 6. CRUZAMIENTOS

---

## INTRODUCCIÓN

El cruzamiento puede definirse como el apareamiento entre individuos pertenecientes a poblaciones genéticamente distintas, por ejemplo, razas, líneas o estirpes.

Los diferentes sistemas de cruzamiento se caracterizan, primeramente, por el número de poblaciones implicadas y, en segundo lugar, por la naturaleza de los apareamientos practicados. Los principales sistemas de cruzamiento vienen especificados en el cuadro 1.

Los objetivos que se persiguen con esta actividad pueden ser variados: por una parte, la fijación de una serie de genes de varias razas preexistentes para la creación de una nueva raza o línea, llamada sintética. Según Colleau y Ollivier (1971), la ventaja esperada de una población sintética sobre aquellas razas establecidas con anterioridad, no reside tanto en el aumento de la variabilidad genética para tal o cual carácter, sino en el aumento del abanico de posibilidades de combinación de los caracteres, con la esperanza de una mayor eficacia en la selección de las combinaciones más favorables.

Por otra parte, la explotación de los fenómenos de heterosis y complementariedad representan el objetivo de mayor justificación a la hora de realizar cruzamientos, siendo este apartado tratado posteriormente con mayor profundidad.

Por último, cabe citar, como objetivo del cruzamiento, la utilización de las diferencias genéticas aditivas entre razas, de modo que utilicemos la superioridad genética de una determinada raza (A) sobre otra (B) para un carácter o conjunto de caracteres, mediante la práctica de una inmigración momentánea o repetida de reproductores de la raza A en la raza B. El resultado que se persigue reside en el aumento del nivel genético de esta última para los caracteres considerados.

## HETEROSIS Y COMPLEMENTARIEDAD

Los sistemas de cruzamiento persiguen beneficiarse de dos fenómenos: la heterosis, que determina una ventaja genética, y la complementariedad, que culmina en una ventaja zootécnica, ambas dirigidas a la consecución de una productividad óptima.

### Utilización del fenómeno de la heterosis

El fenómeno de la heterosis aporta, a la generación filial, un mayor grado de heterocigosis con respecto a sus ascendientes, es decir, una mayor heterogeneidad o policromía en su genotipo.

Los caracteres relacionados con la reproducción que afectan a la madre y a los lechones, tales como: fertilidad, prolificidad, peso de la camada al

### CUADRO 1. Sistemas de cruzamiento

Número de razas o poblac. implicadas	Sistema de cruzamiento	Simbología	
2	Cruzamiento a dos vías o industrial $F_1$	$A \times B$ (o $B \times A$ )	
	Cruzamiento retrógrado ("backcross")	$A(oB) \times (A \times B)$	
2	Cruzamiento alternativo	$F_1: A \times B$	
		$F_2: B \times (A \times B)$	
		$F_3: A \times (B \times A \times B)$	
		$F_4, F_5, \text{etc...}$	
		Línea sintética a 2 razas	$F_1: A \times B$
		$F_2: F_1 \times F_1$	
	$F_3: F_2 \times F_2$		
$F_4, F_5, \text{etc...}$			
3	Cruzamiento triple (madres $F_1$ )	$C \times (A \times B)$	
	Cruzamiento triple (padres $F_1$ )	$(A \times B) \times C$	
	Cruzamiento rotativo	$F_1: A \times B$	
		$F_2: C \times (A \times B)$	
		$F_3: B \times (C \times A \times B)$	
		$F_4: A \times (B \times C \times A \times B)$	
$F_5, F_6, \text{etc...}$			
4	Cruzamiento "Rotativo parcial"	$F_1: C \times \text{Alternativa (A, B)}$	
	Cruzamiento "a cuatro vías"	$(A \times C) \times (A \times B)$	
	Cruzamiento cuádruple	$(A \times B) \times (C \times D)$	
	Cruzamiento "rotativo parcial"	$D \times \text{rotativo (A, B, C)}$	

nacimiento, viabilidad de los lechones durante la lactación y peso de la camada al destete, están gobernados por genes cuyos efectos se benefician, principalmente, de la superdominancia (superioridad de los heterocigotos sobre los homocigotos), lo que explica que aquellos animales con genotipos heterogéneos se muestren superiores (mayor viabilidad y capacidad de adaptación) en relación a los procedentes de poblaciones homogéneas o puras.

### **Utilización del efecto de la complementariedad**

Entre las diferentes razas puras existen correlaciones negativas entre los dos grupos de caracteres más significativos en la economía de la explotación del ganado porcino:

- Caracteres reproductivos: fertilidad, prolificidad y rendimiento lechero.
- Caracteres productivos: ganancia media diaria, índice de transformación y porcentaje de piezas nobles.

Por tanto, nace como una estrategia zootécnica el intento de asociar, a favor del descendiente, los dos grupos de caracteres antes mencionados, complementando los atributos de las razas implicadas en el cruzamiento y obteniendo, así, el efecto de la complementariedad.

## **LAS PRINCIPALES RAZAS PORCINAS**

En un sentido amplio del concepto para raza, pueden citarse del orden de 300 en el mundo (Mason, 1969). Dichas razas se encuentran más o menos individualizadas, aunque algunas no son más que variedades nacionales de una misma raza explotada en una gran extensión geográfica.

Más que un planteamiento morfológico, lo que realmente nos interesa es el nivel zootécnico de rendimientos que presentan las distintas razas. En este sentido, cabe resaltar la situación en que se encuentran las unas con respecto a las otras en función de su valor medio para los rendimientos reproductivos, por una parte, y los rendimientos productivos, por otra.

Con estos criterios, Legault (1978) distingue cuatro grandes grupos de razas:

### **1. Razas mixtas**

Se trata de razas ampliamente difundidas por el mundo, y que presentan unos niveles próximos a la media del conjunto de las razas para los rendimientos de reproducción y para la mayoría de los caracteres de producción.

Podemos distinguir dos grupos:

- Entre las principales razas europeas están la raza Large White (o Yorkshire) y la raza Landrace de tipo tradicional, derivada del Landrace Danés y de la que existen numerosas variedades nacionales (Landrace francés, inglés, sueco, etc...).
- Por otro lado, las razas norteamericanas como el Duroc, el Lacombe (raza canadiense de relativa reciente creación) y la raza Chester White.

En lo referente a **rendimientos**, en los caracteres **reproductivos**, las medias de estas razas se sitúan entre 10 y 11 lechones por parto, entre 8,5 y 9,5 lechones destetados por parto, lo que da lugar a una productividad numérica entre 18 y 21 lechones destetados/cerda/año.

En lo concerniente a caracteres de **producción**, estas razas ocupan una posición intermedia con respecto a las demás, en lo que a composición de la canal se refiere, mientras que para caracteres de crecimiento, como ganancia media diaria (GMD = 800-900 gr./día) e índice de transformación (I.T. = 2,6-3) en estaciones de testaje, ocupan los primeros lugares; igualmente ocurre para la calidad de la carne.

## 2. Razas paternas especializadas

En este grupo se encuadran tres razas, dos de origen belga (Pietrain y Landrace Belga) y una de origen americano (Hampshire).

En lo referente a **rendimientos reproductivos** se observa que, por ejemplo, la productividad numérica está entre un 15-20% por debajo de la raza Large White, consecuencia de una menor prolificidad.

Por el contrario, se distinguen por presentar una composición corporal netamente superior a las razas mixtas, alcanzando hasta 7 puntos de porcentaje de magra para el Pietrain.

Las tres razas de este grupo se diferencian entre sí por la velocidad de crecimiento, siendo menor en el caso del Pietrain, con respecto al Landrace Belga y al Hampshire.

Otro aspecto importante es la frecuencia del gen de sensibilidad al halotano (Hal), donde en el Hampshire está prácticamente ausente, mientras que en las razas Pietrain y Landrace Belga alcanza valores superiores a 0,7-0,8.

## 3. Razas maternas especializadas

Este grupo podemos restringirlo a un pequeño número de razas originales del Centro-Este de China, citando como las más significativas la Meishan y la Jiaxing.

Estas razas se distinguen por una precocidad sexual excepcional (la edad

a la pubertad de las hembras es de 3-4 meses frente a los 6-7 meses de las otras razas) y por una prolificidad fuera de lo común (alrededor de 14 lechones vivos por parto).

Presentan una **productividad numérica** superior al menos en un 25% con respecto del Large White y del Landrace Francés (Legault y Caritez, 1983) pero son bastante inferiores para rendimientos de **producción**, en particular, para la eficacia alimentaria y el porcentaje de músculo en la canal (Legault et al., 1985).

#### 4. Razas rústicas

La característica esencial de este grupo de razas es su buena adaptación a un medio difícil y/o a un manejo particular, encontrándose pues muy localizadas geográficamente.

En comparación con las razas mixtas, y si se les juzga según los mismos criterios, las razas rústicas están bastante por debajo en lo que a rendimientos se refiere, tanto en caracteres **reproductivos**, como en caracteres de **crecimiento** o relacionados con la composición de la canal.

Entre estas razas podemos citar, como más significativas, entre otras, al cerdo corso y al cerdo ibérico en las zonas mediterráneas y el cerdo criollo en la zona tropical (Antillas).

En los Cuadros 2 y 3 se presentan informaciones sobre los rendimientos medios de las seis razas principales explotadas en Francia.

## LOS PRINCIPALES SISTEMAS DE CRUZAMIENTO EN PORCINOCULTURA

En primer lugar haremos mención a los casos particulares de "cruzamiento por absorción" y a la creación de "líneas sintéticas" para concluir este apartado con los principales planes de cruzamiento explotados en porcino-cultura.

### 1. Cruzamiento por absorción

Utilizado ampliamente en otras especies como los pequeños rumiantes, consiste inicialmente, partiendo de una raza (B) –calificada de poco productiva–, en realizar cruzamientos retrógrados repetidos con una raza mejorada (A). Las cerdas de la raza B son apareadas con verracos de la raza A, después las hembras provenientes de la primera generación de cruzamien-

to son apareadas de nuevo con verracos de la raza A y así sucesivamente durante varias generaciones.

El objetivo de esta inmigración continua es reemplazar progresivamente los genes de la raza B por los genes de la raza A.

En cuanto a la manifestación del fenómeno de heterosis, éste disminuye al cabo de las generaciones tendiendo hacia cero.

**CUADRO 2. Rendimientos de reproducción medios de seis razas porcinas utilizadas en Francia. (SELLIER, 1986).**

Carácter	Large White (1)	Landrace Francés (1)	Landrace Belga (1)	Pietrain (1)	Hampshire (1)	Duroc (1)
Edad al 1.º Estro .....	210	195	205	190	—	—
Total nacidos .....	11,0*	10,8*	9,9*	9,9*	9,4	10,3
Prolificidad nacidos vivos .....	10,3*	10,2*	9,4*	9,5*	8,9	9,7
Nacidos destetados .....	9,0*	8,9*	7,9*	7,5*	7,5	8,4
Intervalo parto-cubrición fértil (días) .....	14*	16*	20*	17*	—	—
Productividad numérica (lechones destetados/cerda/año)	20*	19,7*	16,5*	16*	—	—
Tasa de ovulación (a) .....	15,4	13,7	—	—	—	—
Tasa de mortalidad embrionaria % (a) .....	39	30	—	—	—	—
Ardor sexual del verraco (b) .	+	—	—	+	—	+
Calidad de aplomos (b) .....	+	—	—	+	+	—
Proporción de sensibilidad al halotano % (c) .....	0	6-12	50-80	60-90	0	0

(1) Las medias marcadas por el asterisco se establecieron a partir de los resultados anuales (1981 al 1984) del "programa nacional de gestión técnica de rebaños de cerdas" (granjas de selección de U.P.R.A.).

(2) Las medias de prolificidad para Hampshire y Duroc son dadas a título indicativo, pues comparaciones directas entre razas europeas y americanas son actualmente poco frecuentes.

(a) Cerdas primíparas (Legault y Gruand, 1981).

(b) Sellier (1982).

(c) Franceshi y Ollivier (1981), Webb et al. (1982), Houix et al. (1983), Courreau et al. (1985).

## 2. Creación de nuevas razas o líneas sintéticas

Este modo particular de utilizar los cruzamientos consiste, como antes citamos, en crear una raza o línea sintética por fusión de varias razas pre-existentes.

El objetivo radica en obtener una nueva población en la que la variabilidad genética es más grande y que reúne los caracteres interesantes de las razas constituyentes.

Se pueden citar, en el caso del cerdo, varios ejemplos de materiales genéticos de origen reciente creados de esta forma. En Canadá, la raza Lacombe se constituyó hace una treintena de años a partir de una población

**CUADRO 3. Rendimientos medios de seis razas porcinas utilizadas en Francia para los principales caracteres de producción (1). (SELLIER, 1986).**

Carácter	Fuente (2)	Large White	Landrace Francés	Landrace Belga	Pietrain	Hampshire	Duroc
Ganancia media diaria (gr./d) .....	C.I. C.D.	930 870	880 840	810 800	750 730	— 830*	— 850*
Índice de conversión Kgr. pienso							
Kg. peso .....	C.I. C.D.	2,53 2,89	2,64 3,00	2,63 2,96	2,61 2,86	— 3,05*	— 3,0*
Espesor del tocino dorsal (m.m.) .....	C.I. C.D.	12,3 20	12,9 20	10,8 18,3	9 14,9	— 19*	— 21*
Rendimiento a la canal (%) (3) .....	C.D.	73,9	73,9	76,4	76,5	75*	74*
Longitud de la canal (cm.) (3) .....	C.D.	102	104	99	93	96*	95*
Peso de piezas nobles (jamón-lomo) por 1/2 canal (Kg.) .....	C.D.	21,0	21,1	23,0	23,9	22*	21*
Peso piezas grasas (tocino-bacon) por 1/2 canal (Kg.) .....	C.D.	5,0	5,1	4,3	3,5	4,6*	5,0*
Porcentaje de magra en la canal (%) .....	C.D.	52,7	53,0	56,8	60,2	55*	52*

(1) Salvo indicación contraria, estas cifras se han establecido a partir de los balances anuales 1983 y 1984 de las estaciones públicas de control de rendimientos, publicados por el Instituto Técnico del Cerdo (cerdos provenientes de granjas de selección).

(2) C.I.: Verracos de las estaciones públicas de control individual (control de 35 a 90 Kg. en alimentación semi-ad libitum, espesor del tocino medido con ultrasonidos).

C.D.: Hembras de las estaciones públicas de control de descendencia (control de 35 a 100 Kg. en alimentación ad libitum, despiece parisino normalizado de una media canal).

(3) Rendimiento: peso de la canal sin cabeza/peso vivo de sacrificio.

Longitud: medida entre el atlas y el borde anterior de la sínfilis pubiana.

(\*) Medias aproximativas calculadas a partir de diversas fuentes de información: Brascamp et al. (1979), Johnson (1980), Sellier (1981, 1982).

inicial compuesta por animales de la raza Landrace, Berkshire y Chester White. Las líneas consanguíneas americanas provienen de líneas sintéticas. En Francia, la línea Pen Ar Lan (P77) fue creada en los años 70 fusionando tres razas (Large White, Hampshire y Pietrain) que ha alcanzado cierto éxito entre los porcicultores españoles.

### 3. Planes de cruzamiento discontinuos

En una especie utilizada para la producción de carne, como es el cerdo, se califican de discontinuos los planes de cruzamientos con vista a obtener una generación de animales destinados en totalidad al sacrificio ("productos terminales").

Se distinguen clásicamente el cruzamiento simple y el cruzamiento a doble etapa, según que los productos terminales se obtengan de una sola generación de cruzamiento o de dos generaciones de cruzamiento.

En el **cruzamiento simple** (cruzamiento a 2 vías o industrial) se basa en el apareamiento de verracos de la raza A con cerdas de la raza B, siendo destinados a sacrificio todos los productos A x B.

Este cruzamiento permite beneficiarse de los efectos de la heterosis directa y de la complementariedad existente entre las aptitudes de la raza paternal A y la raza maternal B. Como ejemplo de este tipo de cruzamiento podemos citar el realizado en Francia, en la década de los sesenta, entre verracos Pietrain y cerdas Large White. El factor limitante del interés del cruzamiento simple es que no se beneficia de los efectos de heterosis maternal, ya que la madre del producto terminal es de raza pura.

En el **cruzamiento a doble etapa**, se obtiene una primera generación destinada a producir cerdas híbridas A x B, siendo los productos de una segunda generación los cerdos destinados a sacrificio. Según el número de razas implicadas, se distinguen el cruzamiento "retrógrado" (participan sólo dos razas), el cruzamiento triple y el cruzamiento cuádruple.

Los sistemas de cruzamiento a base de madres  $F_1$  son los más explotados en la actualidad en los países europeos.

**CUADRO 4. Porcentajes de sangre en los productos terminales, según los diferentes sistemas de cruzamiento discontinuos**

Sistema	Progenitores		% de sangre en el producto				
	M	H	A	B	C	D	
1) Cruzamiento simple ..	A	x	B	50	50	—	—
2) Cruzamiento retrógrado	A	x	AB	75	25	—	—
3) Cruzamiento triple ...	A	x	BC	50	25	25	—
4) Cruzamiento cuádruple	AB	x	CD	25	25	25	25

En tales sistemas, la "pirámide" de difusión del progreso genético, que será motivo de análisis en el próximo capítulo, presenta clásicamente tres niveles:

1. El nivel de **selección**, que comprende los núcleos de selección de razas puras (2, 3 ó 4 según el número de razas implicadas) donde se crea el progreso genético.
2. El nivel de **multiplicación**, donde se realizan los primeros cruces para crear las cerdas híbridas futuras reproductoras (y eventualmente el cruce que da lugar a los verracos finalizadores).
3. El nivel de **producción**, donde se realiza la 2.<sup>a</sup> generación de cruzamientos que darán lugar a los productos terminales.

En las figuras 1 y 2 esquematizamos los cruces más explotados en la actualidad, mientras que en las figuras 3 y 4 representamos dos ejemplos de la estructura demográfica que presentarían los cruzamientos triple y cuádruple para abastecer de reproductores a una población base de 10.000 cerdas.

#### 4. Planes de cruzamiento continuos

Se habla de planes de cruzamiento continuos cuando no existe, propiamente, una generación terminal en el sistema.

Entre estos tipos de cruzamiento se citan, como más representativos, los cruzamientos rotativos que, en el caso de utilizar sólo dos razas, reciben el nombre de **alternativos**. Se trata de sistemas de cruzamiento que se benefician de la heterosis pero no así del efecto de la complementariedad, ya que cada una de las razas participantes en la rotación ocupan, alternativamente, la misma posición en el plan de cruzamiento, de modo que las nociones de raza paternal y maternal no existen en este caso.

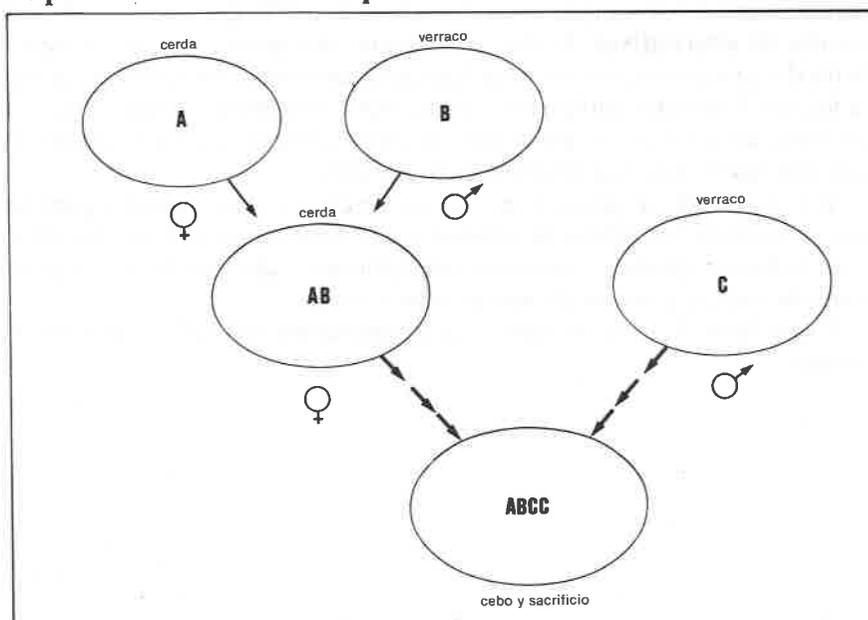
Por esta razón se propuso un sistema de cruzamiento **rotativo parcial** que consiste en no realizar la rotación o alternancia más que con las razas maternas para producir las cerdas que serán apareadas con los verracos de una sola raza paternal en el cruzamiento terminal.

Estos tipos de cruzamientos son ampliamente utilizados en Estados Unidos.

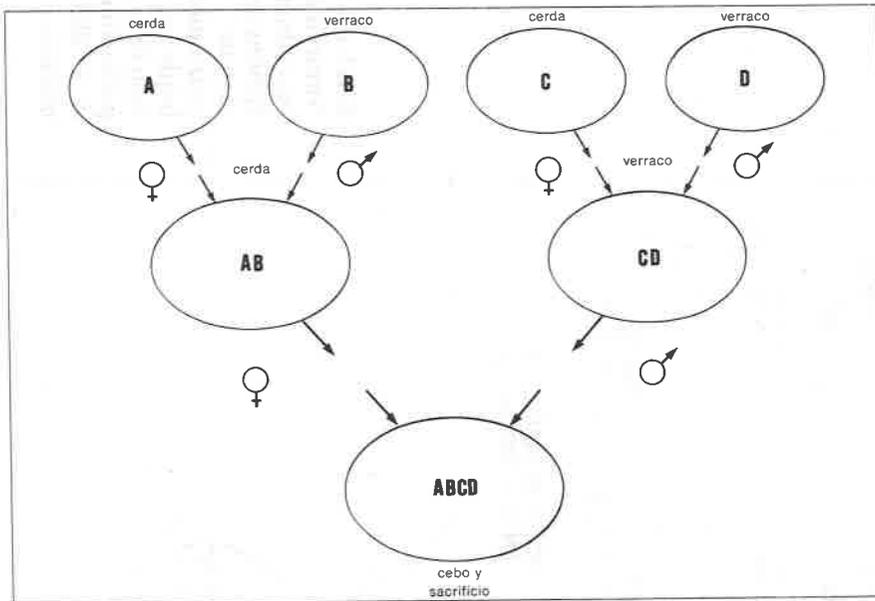
**CUADRO 5. Porcentajes de sangre en los productos terminales según los diferentes sistemas de cruzamiento continuos.**

Sistema	Producto		% de sangre en el producto			
	M	H	A	B	C	D
1. Cruzamiento alternativo .....	A(B)	x B(F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> )	66	33	—	—
2. Cruzamiento rotativo (3 razas) .....	A(ByC)	x B(F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> )	57	66	—	—
3. Cruzamiento rotativo parcial (3 razas) .....	C	x Alternativo (A,B)	33	16,5	50	—
4. Cruzamiento rotativo (4 razas) .....	A(B,C,D)	x B(F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> )	56,25 28,125 14,0625 7,03125	6,25 53,125 26,5625 13,28125	12,5 6,25 53,125 26,5625	25 12,5 6,25 53,125
5. Cruzamiento rotativo parcial (4 razas) .....	D	x Rotativo (A,B,C)	28,5 14 7,5	14 7,5 28,5	7,5 28,5 14	50 50 50

**FIGURA 1. Esquema de cruzamiento triple.**



**FIGURA 2.**  
**Esquema de cruzamiento cuádruple.**



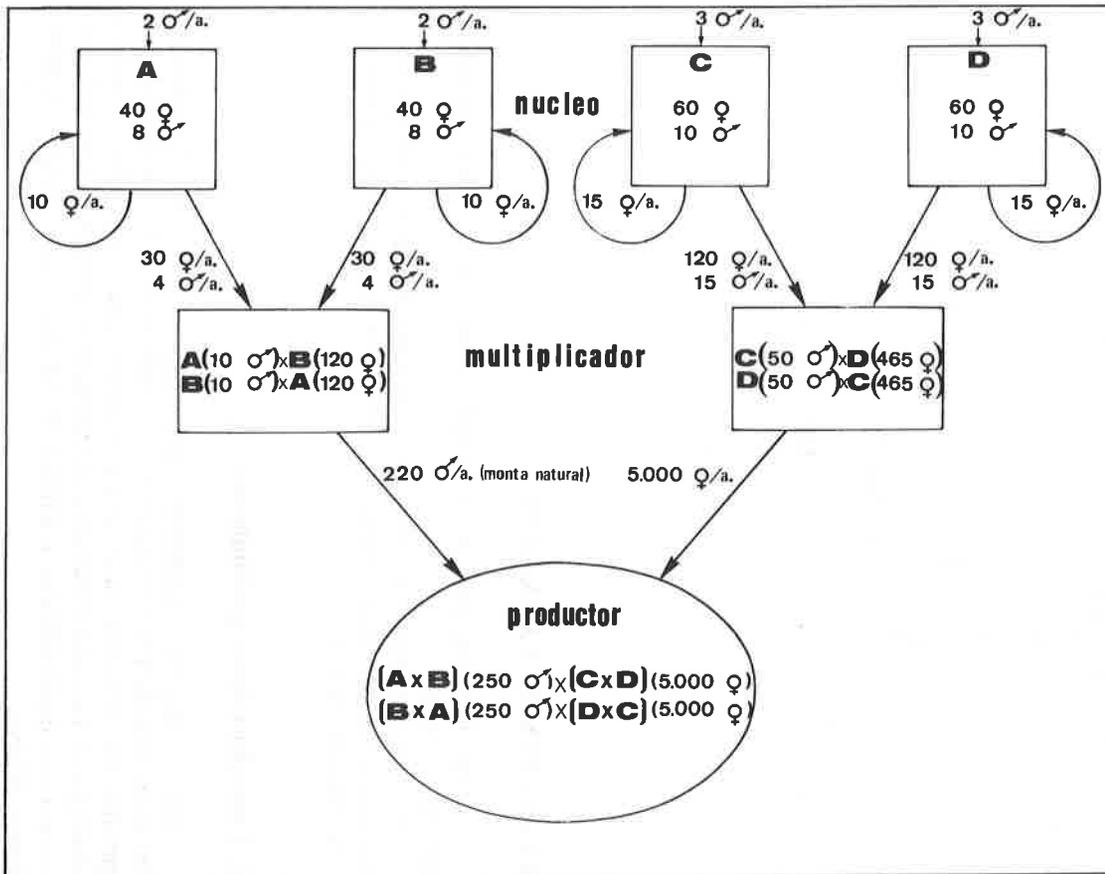
## ELECCION DE LAS RAZAS

Veamos los principales aspectos teóricos para la elección de un sistema de cruzamiento.

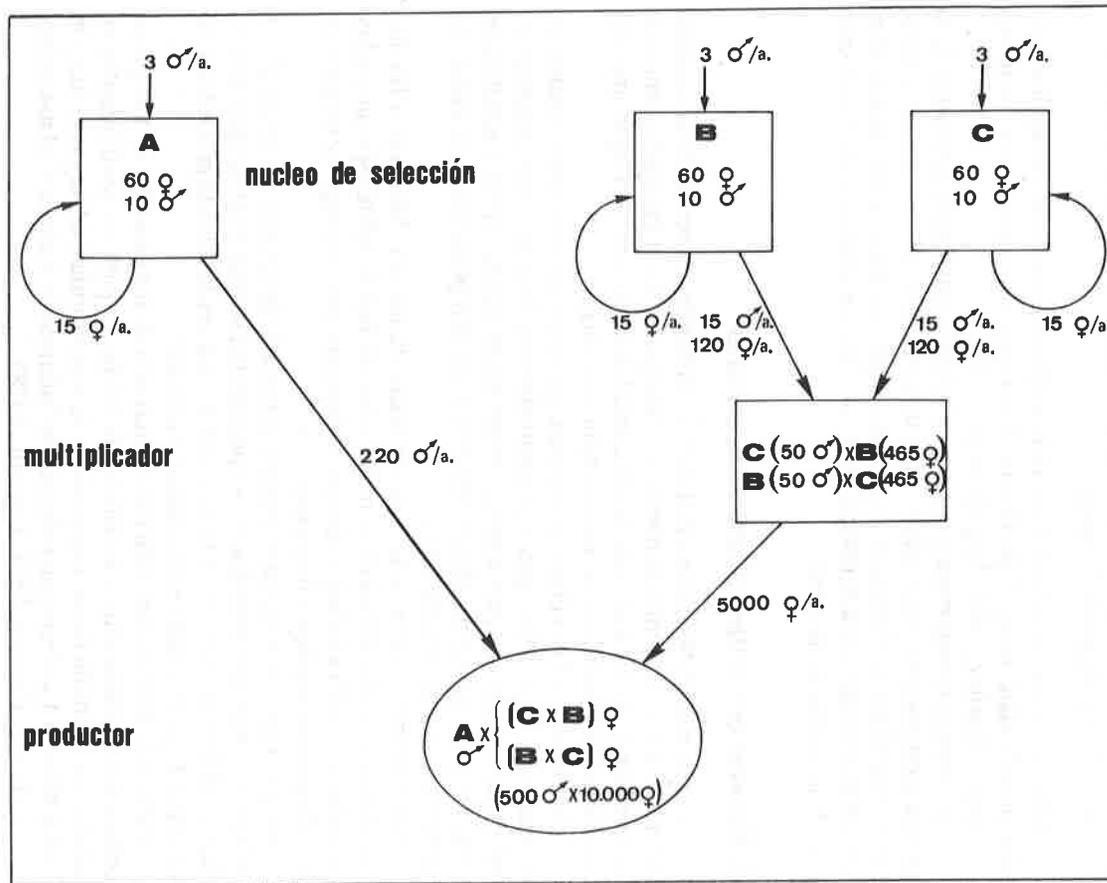
Nos remitiremos a citar las ventajas e inconvenientes de cada sistema, en función del beneficio que pueden obtener de los efectos de la heterosis y la complementariedad.

### 1. Consideraciones preliminares

Bajo la óptica del cruzamiento, las características propias de cada una de las razas disponibles, en función de sus rendimientos de reproducción y de producción, permiten hacer la clasificación antes mencionada donde se distingue entre razas paternas especializadas (ejemplo: Pietrain), razas maternas especializadas (ejemplo: Meishan) y razas mixtas (ejemplo: Large White).



**FIGURA 3.**  
 Número de  
 reproductores  
 óptimo para el  
 caso de  
 cruzamiento  
 triple que  
 beneficia a una  
 población base  
 de 10.000  
 madres.



**FIGURA 4.** Número de reproductores óptimo para el caso de cruzamiento cuádruple que beneficia a una población base de 10.000 madres.

La amplitud de variación entre razas porcinas para unos caracteres como la prolificidad, por una parte (con valores entre 9 y 14 lechones por parto) y el porcentaje de magra en la canal, por otra (con valores que oscilan entre el 35% y 60%) nos indica el interés de buscar la complementariedad por la vía del cruzamiento entre razas especializadas.

En la práctica, dos factores intervienen en esta elección (Sellier, 1986):

1. El número y las características de las razas disponibles.
2. El estado de la producción porcina y, en particular, el significado económico de la calidad de la canal.

Sobre el primer punto, el acercamiento posible hacia las razas chinas de alta prolificidad, sitúa el problema del cruzamiento en nuevas fronteras (Legault y Caritez, 1983; Legault et al., 1985).

En cuanto a la importancia de la calidad de la canal en la economía de la producción porcina, ésta varía en gran medida según el país de que se trate, pues, en definitiva, el mercado demanda, según los hábitos del consumidor, un cerdo con unas características determinadas en cuanto a engrasamiento y conformación de la canal.

## **2. Elección de los tipos genéticos maternos**

Las cualidades buscadas en el caso de la hembra parental de un sistema de cruzamiento discontinuo obedece, principalmente, a los rendimientos en la reproducción. El tipo genético maternal determinante persigue una alta productividad numérica de cruzamiento terminal.

Sin embargo, las cerdas participan, también, en los rendimientos de producción: 50% de los genes relacionados con los caracteres productivos del producto terminal provienen de la madre, por lo que el nivel genético de ésta, para los caracteres de crecimiento y de composición de la canal, no deben ser excesivamente bajos.

En principio, dejemos de lado las razas chinas tipo Meishan o Jiaying que, aunque son las únicas razas maternas verdaderamente especializadas, no están a nuestro alcance y aún queda bastante que investigar y mejorar en lo referente a caracteres de producción.

Es de todos conocido la importancia notable de los efectos de heterosis sobre los caracteres reproductivos (precocidad sexual, prolificidad, fertilidad) justificándose, pues, la utilización de una cerda híbrida procedente de un cruce  $F_1$  como madre del producto terminal.

Partiendo de esta constatación, la mayoría de los estudios en los que se comparan diferentes tipos genéticos de cerdas  $F_1$  para los rendimientos en caracteres reproductivos, demuestran la superioridad de la combinación Large White x Landrace para el carácter "número de lechones" al nacimiento y al destete (Sellier, 1974; Legault, 1978).

Algunos resultados norteamericanos, así como los primeros datos recogidos en Europa, indican a su vez que los cruces Duroc x Large White y Duroc x Landrace dan lugar a cerdas que poco tienen que envidiar a la cerda Landrace x Large White, en cuanto a productividad numérica se refiere (Sellier, 1981).

Volviendo al problema que suscita la utilización de razas chinas, hay que considerar el notable retraso genético que éstas poseen en lo referente a caracteres de producción (eficacia alimentaria, rendimiento en magra), por lo que se desaconseja su utilización en pureza. Las posibilidades de utilización de cerdas parentales, productos del cruzamiento entre una raza china y una raza europea mixta (por ejemplo: Meishan x Large White), están actualmente en vías de investigación (Legault y Caritez, 1983; Lagault et al., 1985).

### 3. Elección de los tipos genéticos paternos

Realizando un repaso a los componentes del mérito genético de una línea macho, el más importante concierne a la influencia del verraco terminal sobre los caracteres de producción que determinan el margen económico bruto por descendiente llevado a engorde: índice de transformación, ganancia media diaria, tasa de mortalidad durante el cebo —comprendido el transporte al matadero (mortalidad debida al stress)—, rendimiento de la canal, porcentaje de grasa y desarrollo muscular de la canal, calidad de la carne.

Otro factor importante a tener en cuenta es la influencia del verraco sobre la productividad numérica, debido a su aptitud reproductora (líbido, fertilidad), por su "prolificidad", definida como el número medio de lechones nacidos vivos por parto que él engendra, y por su efecto sobre la tasa de mortalidad de los lechones durante la lactación.

No podemos olvidar tampoco la longevidad del verraco, la cual puede verse afectada por la predisposición al síndrome de hipertemia maligna (riesgo de mortalidad debida al stress) y por el síndrome de debilidad de aplomos que representa una de las causas de reposición precoz de reproductores en las explotaciones porcinas.

El problema de la elección de un verraco terminal no es simple, no sólo porque las cualidades buscadas son variadas y de importancia desigual, según el punto de vista desde el que se analice (engorde, cría-engorde, selección), sino también porque las posibilidades son numerosas.

Podemos citar, como razas más representativas, un número de seis: Landrace Belga, Duroc, Large White, Landrace Francés, Pietrain y Hampshire que, a su vez, nos dan 36 tipos genéticos diferentes de verraco terminal (6 razas puras y 30 combinaciones F<sub>1</sub>).

En principio, las razas paternas especializadas, Landrace Belga y Hampshire, dan en cruzamiento el resultado más favorable en términos de velocidad de crecimiento del tejido magro y el índice de transformación del alimento en tejido magro.

Sin embargo, parecen proliferar los verracos terminales procedentes de un cruce previo. La razón de esta elección no reside tanto en la utilización de un efecto de heterosis eventual sobre la precocidad sexual o la fertilidad del macho (heterosis paternal para la productividad numérica) como en la busca de una combinación entre dos razas con aptitudes complementarias.

De todas formas, la justificación más importante de la utilización de un verraco cruzado se basa en el problema de la predisposición al síndrome de la hipertermia maligna, detectada por la sensibilidad al halotano. Esta sensibilidad radica en un carácter recesivo, por lo que el objetivo buscado es asociar en el genotipo del verraco terminal  $F_1$  una "raza no sensible" (Large White o Hampshire) y una "raza sensible" (Pietrain o Landrace Belga) de modo que, el verraco finalizador, garantice una menor probabilidad de transmitir dicha sensibilidad.

**BIBLIOGRAFÍA**

- BRASCAMP, E. W.; COP, W. A. G.; BUITING, G. A. J., 1979. Evaluation of six lines of pigs for crossing. I. Reproduction and fattening in pure breeding. *Z. Tierz. Züchtungsbiol.*, 96, 160-169.
- COLLEAU, J. J.; OLLIVIER, L., 1971. Aspects théoriques de l'amélioration génétique des animaux d'élevage. *Bull. Tech. Inf., Minist. Agric.* 258, 247-263.
- CORREAU, J. F.; SELLIER, P.; BOULARD, J.; BRETON, T.; GULLIEUX, P.; GUERIN, G., 1985. Marqueurs sanguins (Phi et Pgd) et sensibilité à l'halothane chez le porc Landrace Français. *Journées Rech. Porcine en France*, 17, 95-104.
- FRANCESCHI, P. F.; OLLIVIER, L., 1981. Fréquences de quelques gènes importants dans les populations porcines. *Z. Tierz. Züchtungsbiol.* 98, 176-186.
- HOVIX, Y.; SELLIER, P.; MONING, G., 1983. Effets de la sensibilité à l'halothane sur les caractères de croissance et de composition corporelle chez le Porc. *Journées Rech. Porcine en France*, 15, 245-254.
- JOHNSON, R. K., 1980. Heterosis and breed effects in swine. North Central Regional Publication n.º 262, University of Nebraska, Lincoln, U.S.A., 51 pp.
- LEGAULT, C., 1978. Génétique et reproduction chez le Porc. *Journées Rech. Porcine en France*, 10, 43-60.
- LEGAULT, C.; CARITEZ, J. C., 1983. L'expérimentation sur le porc chinois en France. 1. Performances de reproduction en race pure et en croisement. *Génét. Sél. Evol.* 15, 225-240.
- LEGAULT, C.; SELLIER, P.; CARITEZ, J. C.; DANDO, P.; GRUAND, J., 1985. L'expérimentation sur le porc chinois en France. 2. Performances de production en croisement avec les races européennes. *Génét. Sél. Evol.* 17, 133-152.
- LEGAULT, C.; GRUAND, J., 1981. Effets additifs et non-additifs des gènes sur la précocité sexuelle, le taux d'ovulation et la mortalité embryonnaire chez la jeune truie. *Journées Rech. Porcine en France*, 13, 247-254.

- MASON, J. L., 1969. A World Dictionary of Livestock Breeds, Types and Varieties (2nd ed.), 149-177. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal., G.B.
- SELLIER, P., 1974. Le croisement dans l'espèce porcine. In: 1er Congrès Mondial de Génétique Appliquée à l'Élevage, Vol. I, 859-871. Ed. Garsi, Madrid.
- SELLIER, P., 1981. Une première évaluation de la race Duroc. Journées Rech. Porcine en France, 13, 299-306.
- SELLIER, P., 1982. Le choix de la lignée male du croisement terminal chez le Porc. Journées Rech. Porcine en France, 14, 159-182.
- SELLIER, P., 1986. Amélioration Génétique. Le Porc et son élevage, 159-230. MALOINE. Paris.
- WEBB, A. J.; CARDEN, A. E.; SMITH, C.; IMLAH, P., 1982. Porcine stress syndrome in pig breeding. In: 2nd World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, vol. V, 588-608. Edit. Garsi. Madrid.

# 7. ESTRUCTURA PIRAMIDAL DE LA MEJORA GENÉTICA: DISEÑO DE PROGRAMAS DE MEJORA

## INTRODUCCIÓN

Cualquier intento de selección artificial, en una población animal determinada, lleva consigo la realización de un esfuerzo económico a todas luces inviable en el total de la población.

La infraestructura de control, más o menos sofisticada, que es preciso establecer para realizar una selección seria y coherente, necesita de unas importantes inversiones que sólo están justificadas cuando el progreso genético obtenido puede difundirse a un gran número de explotaciones, pero nunca en el caso de una explotación cerrada.

¿Cómo puede organizarse, pues, un plan de mejora genética que beneficie a una población animal? Como estrategia de diseño surge la concepción piramidal de la población, estructurándola en diferentes niveles en función de las inversiones y necesidades en infraestructura y manejo de diferencias a estos niveles.

Bichard (1971) presenta un estudio muy completo sobre esquemas de mejora genética que han servido posteriormente para diseñar, desde esquemas simples: *núcleo-productor*, hasta los más sofisticados: *núcleo-criador-multiplicador-productor*, utilizado por Yadav y Dempfle (1986, 1988) en el diseño de un programa de mejora en conejos de Angora.

El grado de sofisticación de la estructuración en diferentes niveles, depende de la ambición del programa, es decir, del tamaño de la población y de la inclusión o no de sistemas de cruzamiento en el programa de selección.

## DIFUSIÓN DEL PROGRESO GENÉTICO

### 1. Principios básicos

La puesta en marcha de un programa de mejora genética lleva consigo un esfuerzo considerable en organización, medios y visión económica o empresarial.

Previo a cualquier diseño, es imprescindible una definición clara del objetivo económico perseguido, basado en las condiciones de mercado que afecta a los productos generados en la explotación de ganado porcino.

Una vez definido el objetivo económico, es cuando podemos establecer un objetivo de selección como meta hacia donde debemos dirigir nuestros esfuerzos. Sólo ahora es cuando se pueden realizar los cálculos pertinentes para estructurar la población susceptible de una mejora genética en una dirección previamente definida.

Por último, el ritmo de reproducción y la prolificidad característica de la especie porcina, permite disponer relativamente rápido de animales mejorados. Si esto sabemos coordinarlo entre los diferentes niveles, podremos llegar a una verdadera mejora en los rendimientos genético-económicos de la población.

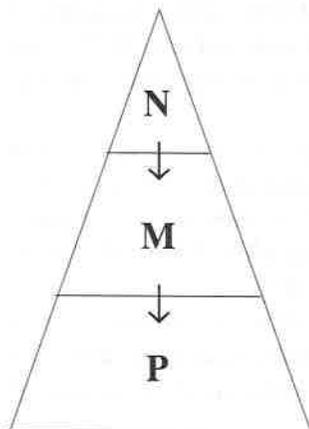
### 2. Organización piramidal de la difusión del progreso genético

El objeto de esta organización piramidal es que cada nivel en la que se estructura la pirámide, se abastezca, sistemáticamente, de reproductores procedentes de un nivel superior.

En definitiva, se establece en la pirámide un verdadero flujo genético pasando los genes presentes en los rebaños seleccionados de forma progresiva a los demás niveles.

La estructura normalmente utilizada en los programas de selección del ganado porcino obedece al siguiente esquema:

#### CUADRO 1. Esquema general de difusión de la mejora genética



##### Núcleo de Selección:

- Controles de rendimientos múltiples.
- Métodos precisos de valoración.
- Intensidad de selección elevada.
- Nivel genético elevado.

##### Multiplicador:

- Controles de rendimiento rutinarios.
- Métodos menos precisos de valoración.
- Intensidad de selección moderada.
- Nivel genético medio.
- Reproductores procedentes del núcleo.

##### Productor:

- Ausencia de controles de rendimiento.
- Nivel genético moderado.
- Reproductores procedentes del núcleo y multiplicador.

## Núcleo de Selección

Puede estar constituido por explotaciones que posean animales en pureza y dispongan de buenas instalaciones y un sistema de control más o menos completo, o bien por explotaciones construidas para tal fin, en régimen cooperativo.

En cualquiera de los casos antes mencionados, lo importante es que deben concurrir una serie de circunstancias que enunciaremos a continuación:

- 1.ª) La ubicación de las explotaciones debe garantizar la ausencia de riesgos sanitarios por proximidad a establecimientos que puedan ser focos patógenos en potencia (mataderos, industrias cárnicas, granjas...).
- 2.ª) El personal responsable del funcionamiento de la explotación necesita de una cualificación elevada en lo que a manejo se refiere.
- 3.ª) El apoyo técnico es indispensable, abarcando desde:
  - Veterinarios que garanticen el control sanitario de la explotación.
  - Controladores que verifiquen los rendimientos de los candidatos a reproductores de modo riguroso.
  - Genetistas que interpreten los resultados obtenidos mediante el diseño de modelos matemáticos que estimen con precisión el mérito genético obtenido por los candidatos a reproductores y el reflejo de aquél en los niveles inferiores.

¿Qué debe ofrecer un núcleo de selección al resto de los niveles de la pirámide?

Un núcleo de selección no tiene justificación si no es para beneficiar a una población animal perteneciente a ganaderos de base, por lo que lo primero que tiene que ofrecer es credibilidad, y ésta sólo se consigue con transparencia e información detallada de las actividades y resultados que se obtienen en el núcleo.

Por tanto, los reproductores seleccionados en el núcleo con destino al multiplicador y/o productor, deben acompañarse de una información exhaustiva de sus cualidades, pero una información en términos que el ganadero pueda interpretar fácilmente para decidirse por los servicios de tal o cual verraco o reproductora.

## Multiplicador

El objetivo de este nivel es poner a disposición del productor el número de cerdas reproductoras necesarias para su reposición, manteniendo, en la mayor medida posible, el nivel genético alcanzado en el núcleo de selección.

La justificación del multiplicador es meramente económica, ya que si el núcleo de selección tuviera el tamaño suficiente para abastecer, directamente al productor, de un gran número de animales, habría supuesto una inversión de ningún modo justificable.

Por tanto, la misión del multiplicador es sencillamente "multiplicar" el número de reproductoras disponibles, con la menor pérdida posible del potencial genético alcanzado en el núcleo de selección.

En la actualidad, normalmente se utiliza para realizar los cruzamientos de las líneas puras seleccionadas en el núcleo, es decir, para obtener las madres híbridas que se utilizan en el productor.

## **Productor**

El productor, representado en la base de la pirámide, es el único beneficiario del programa de selección y, en definitiva, el que justifica la presencia del núcleo y del multiplicador.

En el productor es donde realmente puede apreciarse el éxito del programa de selección, aunque si la adquisición de reproductoras no se acompaña de un manejo adecuado en unas instalaciones convenientes y con una buena alimentación y un control sanitario estricto, los resultados que se obtengan difícilmente podrán ser satisfactorios.

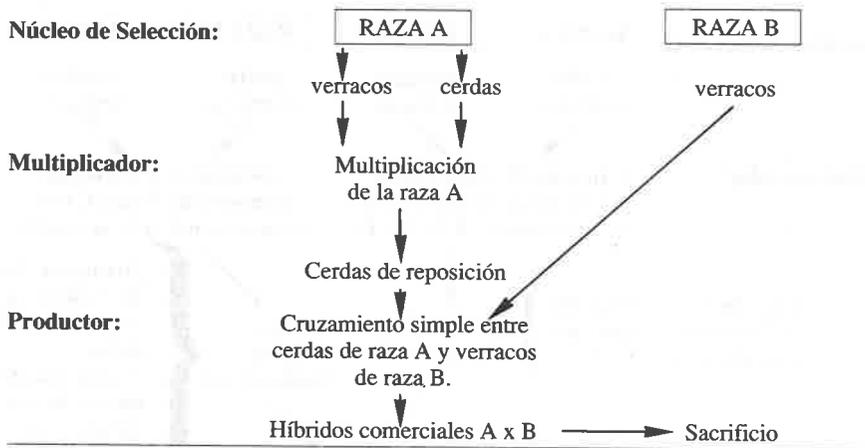
El esquema de circulación de animales, en una estructura piramidal de este tipo, se representa en los siguientes cuadros, en función de los sistemas de cruzamiento más usuales que se emplean en la obtención del producto terminal.

Por último, una vez escogida la estructura de la población más conveniente para las aspiraciones del programa, sólo queda determinar qué criterios de selección (ver capítulo 5) deben seguirse para optimizar el programa de mejora, es decir, aquel que nos proporcione el mayor progreso genético a nivel del productor en el menor tiempo posible.

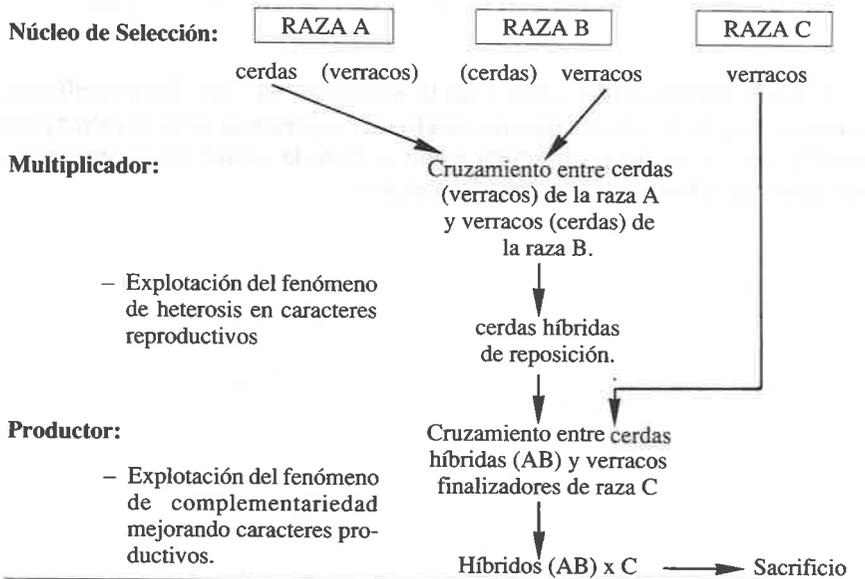
Para esta elección existen métodos matemáticos sofisticados que nos predicen los niveles genéticos que existirán en el núcleo, multiplicador o productor, en el transcurso del tiempo. Citaremos como la metodología más importante "*discounted gene flow*" (Brascamp, 1975; McClintock y Cunningham, 1974; Elsen y Mocquot, 1974; Hill, 1974) que calcula la respuesta a un ciclo de selección en cada vía de transmisión de genes acumulados durante varios años y actualizada al año 0.

Las bases matemáticas de estos métodos no son, debido a su complejidad, motivo de análisis en esta obra de divulgación, pero para quien desee ampliar sobre el tema recomendamos la monografía del Brascamp, E. W. (1978): "*Methods on economic optimization of animal breeding plans*". Report b-134. res. Inst. Anim. Husb. Schoonoord, Zeist, Holanda.

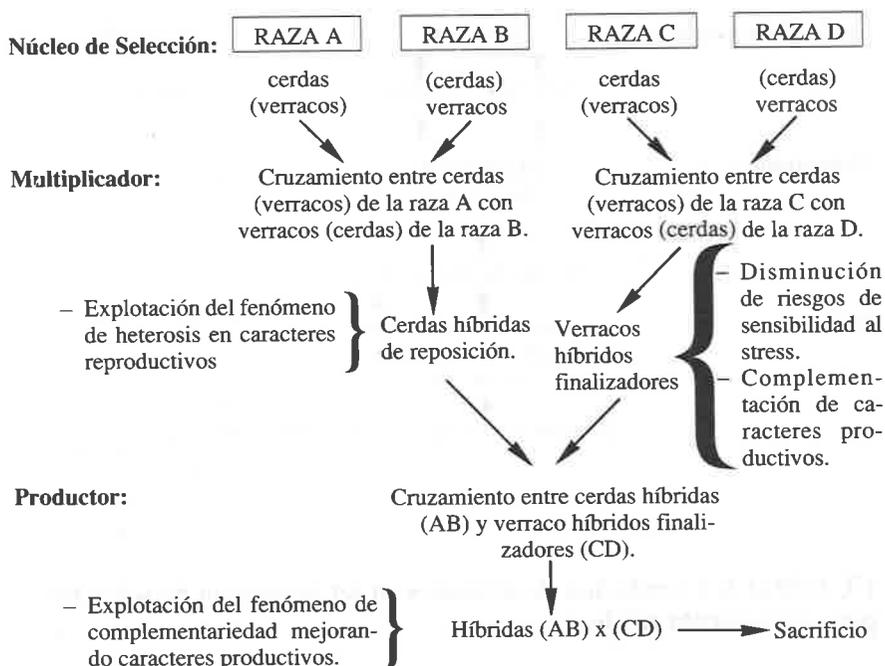
**CUADRO 2. Circulación de animales en un programa de selección por cruzamiento simple.**



**CUADRO 3. Circulación de animales en un programa de selección por cruzamiento triple.**

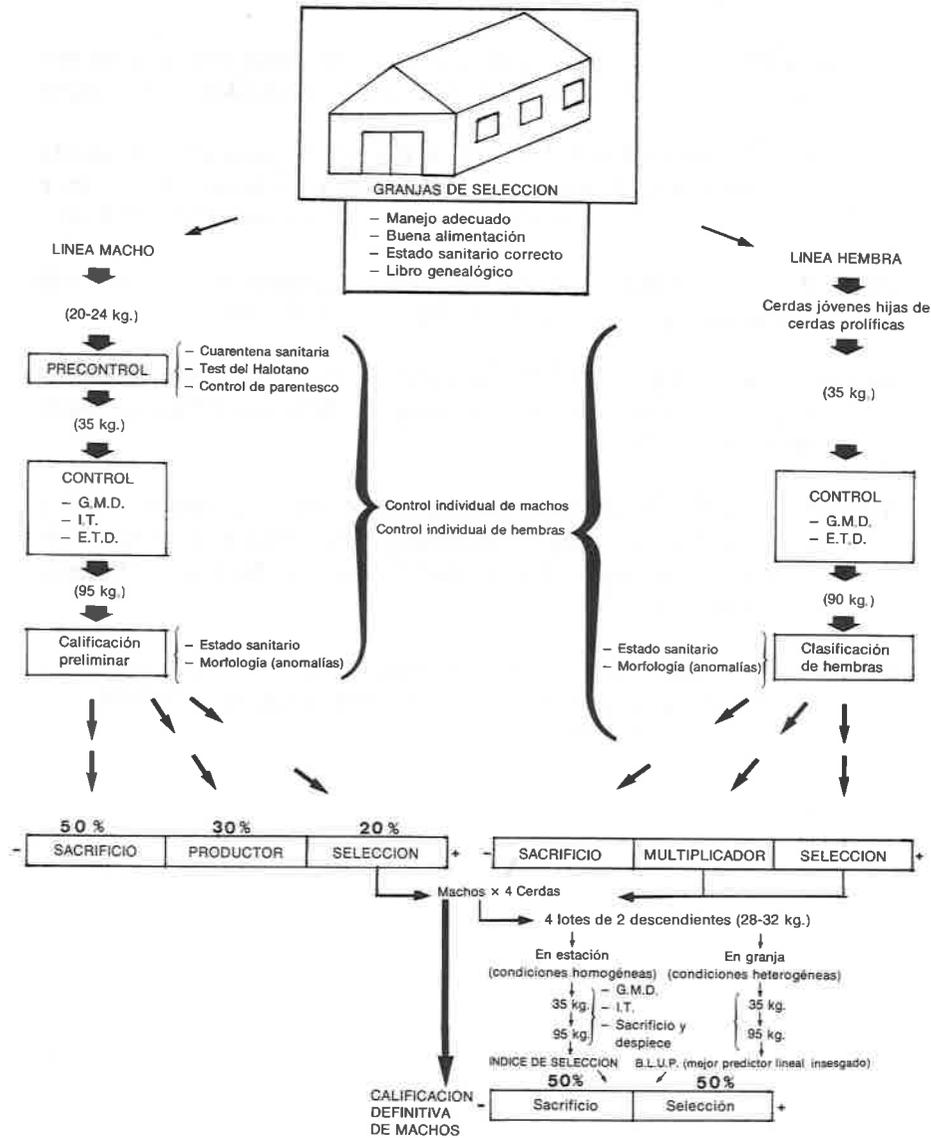


**CUADRO 4. Circulación de animales en un programa de selección por cruzamiento cuádruple.**



Como reflexión final sobre todo lo analizado en estos siete capítulos, presentamos un resumen esquematizado que esperamos sirva al lector para meditar los pasos más importantes que se han de seguir en un programa moderno de selección en el ganado porcino.

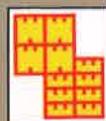
# CUADRO RESUMEN DE UN PROGRAMA DE SELECCION EN GANADO PORCINO



**BIBLIOGRAFIA**

- BICHARD, M., 1971. Dissemination of genetic improvement through a Livestock industry. *Anim. Prod.* 13: 401-411.
- BRASCAMP, E. W., 1975. Model calculations concerning economic optimalization of A.I. breeding with cattle. Tesis Doc. Wageningen.
- ELSEN, J. M.; MOCQUOT, J. C., 1974. Recherches pour une rationalisation technique et économique des schémas de sélection des bovins et ovins. *Bull. Tech. Dépt. Génét. anim.* (17). Dunod, Paris, 268 pp.
- HILL, W. G., 1974. Prediction and evaluation of response to selection with overlapping generations. *Anim. Prod.* 18: 117-139.
- McCLINTOCK, A.E., CUNNINGHAM, E. P., 1974. Selection in dual purpose cattle populations: Defining the Breeding Objective. *Anim. Prod.* 18: 237-248.
- YADAV, S., DEMPFLER, L., 1986. Optimum breeding structure for an angora rabbit breeding programme. 37 th Annual meeting of the European Association for Animal Production. Budapest, Hungary. September 1-4, 1986.
- YADAV, S., DEMPFLER, L., 1988. Optimum structure for genetic improvement of angora rabbits. *Livestock Prod. Science*, 18, 69-84.





**Región de Murcia**  
Consejería de Agricultura,  
Ganadería y Pesca