ISSN: 1130-6009

ITEA

PRODUCCIÓN ANIMAL

Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario

2002 – Vol. 98A N.º 2



I T E A

Información Técnica Económica Agraria
Revista de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario

2002 - AÑO XXXIII Vol. 98A N.° 2	**DIRECCIÓN Y REDACCIÓN** Montañana, 176 - Apartado 727 50080 ZARAGOZA (ESPAÑA) Tel.: 34-976 716325 Fax.: 34-976 716335 E-mail: enotivol@aragob.es andreu@eead.csic.es cmmarin@aragob.es	Depósito legal: Z-577-82 ISSN: 1130-6009 INO Reproducciones, S.A. Polígono Miguel Servet, nave 13 50013 Zaragoza

COMITÉ DE REDACCIÓN

DIRECTOR: Eduardo Notivol Paíno
SUBDIRECTOR: Joaquín Uriarte Abad
EDITORES: Producción Vegetal: Pilar Andreu Puyal
Producción Animal: Clara M.ª Marín Alcalá
VOCALES: José Álvarez Álvarez
Rafael Delfa Belenguer
Joaquín Gómez Aparisi
Emilio Manrique Persiva
José Luis Alabart Álvarez
Juan A. Marín Velázquez
Azucena Gracia Royo
M.ª Dolores Quílez Sáez de Viteri
Marisol Arnedo Andrés
Pere Alberti Lasalle

JUNTA DIRECTIVA DE A.I.D.A.

PRESIDENTE: Leonardo Plana Claver
VICEPRESIDENTES: 1.° Ángel Ruiz Mantecón
2.° Rafael Socias i Company
SECRETARIO: José Álvarez Álvarez
TESORERO: Joaquín Uriarte Abad
VOCALES: Pere Alberti Lasalle
Ignacio Delgado Enguita
Clara M.ª Marín Alcalá
Joaquín Gómez Aparisi
Antonio Felipe Mansergas
Emilio Manrique Persiva
Rafael Delfa Belenguer

Prohibida toda reproducción total o parcial sin autorización expresa
de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario, editor titular del Copyright.

ITEA no se responsabiliza necesariamente con las opiniones vertidas en los artículos firmados
que publica, cuya responsabilidad corresponde a sus autores.

Suscripciones y Distribución

Información Técnica Económica Agraria publica tres números en volumen. En 2002 se publicarán los volúmenes 98A y 98V correspondientes a las series Producción Animal y Producción Vegetal.

El precio de la suscripción para 2002 será de 27 € para una serie y de 36 € para las dos series.

Se acepta el intercambio con otras revistas.

ITEA. Apartado 727. 50080 Zaragoza (ESPAÑA)

EDITORIAL

Los días 13 y 14 de junio de 2002 se celebró en Pamplona la XI Reunión Nacional de Mejora Genética Animal. En total, participaron investigadores y técnicos de unos veinte centros (Universidades, Centros de Investigación, Institutos Técnicos, etc.) relacionados de forma directa con la Mejora Genética aplicada a la Producción Animal.

En esta ocasión, el objeto de la Reunión se centró en analizar el estado actual de los programas de mejora de las principales especies animales de interés económico, y reflexionar sobre los principales cambios que se están produciendo. Distintos especialistas responsables o colaboradores de algunos programas de mejora fueron presentando la situación de los programas de vacuno de leche (R. Alenda, M.J. Carabaño), ovino de leche (E. Ugarte), vacuno de carne (C. Díaz, R. Quintanilla), ovino de carne (J. Altarriba), porcino (J. Tibau), gallinas (A. Francesch) y conejos de carne (M.A. Santacreu).

Por otra parte, se introdujeron dos temas cada vez más importantes en el contexto actual de la Producción Animal, bienestar y patología, para discutir las posibles aportaciones de la Mejora Genética. En este número de ITEA se publican los trabajos de revisión presentados sobre distintos aspectos relacionados con el bienestar de los animales (J.L. Campo, J. Piedrafita) y sobre los aspectos epidemiológicos de las enfermedades (C. Ortega). Finalmente, se contó con algunas comunicaciones libres de los participantes en la Reunión.

Como en ocasiones anteriores, queremos mostrar nuestro agradecimiento a ITEA por la posibilidad de difundir los contenidos de la Reunión a todo el sector de la Producción Animal. Finalmente, debemos agradecer la ayuda económica de Caja Navarra y de la Universidad Pública de Navarra, y a esta última, además, el apoyo recibido para la celebración de esta undécima Reunión.

Leopoldo Alfonso Ruiz
Coordinador de la XI Reunión Nacional de Mejora Genética Animal

ÍNDICE

Página

PONENCIAS

R. ALENDA, M.J. CARABAÑO.- Estado y demandas actuales de los programas de mejora. Vacuno de leche 83

E. UGARTE, M. SERRANO, L.F. DE LA FUENTE, M.D. PÉREZ-GUZMÁN, L. ALFONSO, J.P. GUTIÉRREZ.- Situación actual de los programas de mejora genética en ovino de leche 102

C. DÍAZ, R. QUINTANILLA.- Estado y nuevas demandas de los programas de mejora de vacuno de carne 118

J. ALTARRIBA.- Estado y demandas actuales de los planes de mejora de la producción ovina de carne 140

J. TIBAU I FONT.- Estado y demandas actuales de los programas de mejora del porcino..... 154

M.A. SANTACREU.- Estado y demandas actuales de los programas de mejora del conejo de carne 163

A. FRANCESCH.- Mejora genética de razas de gallinas catalanas 173

J.L. CAMPO, M.G. GIL, S.G. DÁVILA.- El bienestar de los animales domésticos..... 185

J. PIEDRAFITA, X. MANTECA.- Mejora genética del comportamiento y del bienestar del ganado rumiante 195

C. ORTEGA.- Ecopatología de las enfermedades animales..... 216

COMUNICACIONES

M.E. MIRANDA, M.Y. BOSCHER, J. CAÑÓN, F. MÉNISSIER, M. VALLEJO, S. DUNNER.- Expresión de la hipertrofia muscular y polimorfismo del gen de la miostatina en razas bovinas de producción cárnica..... 233

C. FERNÁNDEZ, M. GEORGES, L. GROBET, J. CAÑÓN, S. DUNNER.- Generación en células *es* murinas de un alelo del gen de la miostatina susceptible de activación bajo la dependencia de Cre 239

W.M. RAUW.- Cambios en la redistribución de recursos nutritivos debidos a la selección por tamaño de camada 243

L. VARONA, W.M. RAUW, L. GÓMEZ-RAYA, J.L. NOGUERA.- Un modelo bayesiano para la estimación individual de la eficiencia biológoca 247

A. FERNÁNDEZ, M.A. TORO, M.C. RODRÍGUEZ, L. SILIÓ.- Epistasia para asimetría fluctuante en el número de mamas en cerdos 251

B. SILVA, J. CAÑÓN.- Análisis de variables categóricas mediante el procedimiento CATMOD de SAS®: Aplicación a datos de cruzamiento industrial en bovino..... 256

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 83-101

ESTADO Y DEMANDAS ACTUALES DE LOS PROGRAMAS DE MEJORA. VACUNO DE LECHE

Rafael Alenda* y M.ª Jesús Carabaño**

* Departamento de Producción Animal, ETSI Agrónomos, 28040 Madrid, España

** Departamento Mejora Genética Animal, INIA Ctra. de La Coruña, km 7, 28040 Madrid, España

RESUMEN

Se describe el estado actual de la mejora Genética del vacuno de leche en España en tres apartados, objetivos de selección, evaluación genética y apareamientos.

El objetivo de selección más utilizado en la actualidad en España es el ICO que es un índice que combina caracteres de tipo y de producción. Es posible que en el futuro el sector utilice otros índices como son los económicos o subíndices que mejoren aspectos directamente relacionados con la rentabilidad. Por último, se menciona la posibilidad de realizar una predicción genética de la rentabilidad.

Los ganaderos españoles utilizan las valoraciones genéticas oficiales de Conafe para los caracteres de producción y de tipo y las valoraciones internacionales de Interbull. En España se realizan además valoraciones genéticas de la facilidad de parto, velocidad de ordeño y del recuento de células somáticas en una subpoblación española. Se prevé que próximamente se valore el carácter longevidad. En el trabajo se describe la problemática y evolución previsible de las evaluaciones genéticas. Tanto para caracteres de producción como de recuento de células somáticas se prevé la implantación de modelos 'test day' que permiten un análisis directo de los datos recogidos en los controles mensuales en lugar de la medida resumen lactacional. En el carácter dificultad de parto también se prevén cambios sustanciales hacia la inclusión de componentes directa y materna en el modelo, analizados bajo metodología de modelos umbral. Para el carácter longevidad, las técnicas de análisis de supervivencia parecen ser las teóricamente óptimas y es previsible su utilización dentro de le valoración nacional.

Brevemente se describe cómo se realizan los apareamientos por parte de un ganadero para obtener hembras y por parte de un centro de inseminación artificial para obtener machos.

Palabras clave: Objetivo de selección, Evaluación genética, Apareamiento.

SUMMARY

PRESENT STATE AND DEMANDS OF BREEDING PROGRAMS: DAIRY CATTLE

The current status of the breeding scheme for dairy cattle in Spain is described in three sections, breeding goals, genetic evaluations and mating design. The production-type index, ICO, is the mostly used selection objective in Spain. It is likely that in the near future other indices such as the profit index or sub-indices directly aimed at improving some of the profitability components are used. Direct selection for profitability is also discussed.

CONAFE, the Friesian Association, provides national evaluations for production and type traits. International evaluations provided by Interbull for those traits are also available in the Spanish scale. Besides the national and international evaluations for production and conformation traits, genetic evaluations for somatic cell score, milking speed and calving difficulty are carried out in a subpopulation of the Friesian breed. The longevity evaluation is expected to be developed in the near future. In this work, current problems and future perspectives of genetic evaluations in dairy cattle are discussed. Test day models are expected to be the method of evaluation for production traits and somatic cell score evaluations, replacing the use of a lactational value, previously used. The use of models that include direct and maternal components of calving difficulty analysed under threshold models is to be expected for this trait. Survival analysis techniques are the preferred method for the genetic evaluation of longevity.

In the last part of this work, the mating strategy at the farm level to produce the replacement heifers and for the artificial insemination centre to produce sires are briefly commented.

Key words: Breeding goal, Genetic evaluation, Mating.

Introducción

La ganadería del vacuno de leche en España, ante la implantación de la cuota lechera en la UE tuvo que afrontar un reto: el aumento de la competitividad. En la actualidad se puede afirmar que este reto se ha superado con éxito gracias al importante papel desempeñado por el programa de mejora genética que se ha implantado en España, sobre todo en los últimos años.

La producción de leche por lactación de la población española de vacas en control lechero ha aumentado un 60%, pasando de 5.294 litros en 1985 a 8.287 litros en 1999 (INTERBULL, 2000). El progreso genético anual de esta población está asociado a la evolución tecnológica del sector. En el periodo 1985-1989, el progreso genético por año de nacimiento de la población de vacas en control lechero ha sido de 39 kg, 1,6 kg y 1,0 kg de leche, grasa y proteína respectivamente (PENA *et al.*, 2000). En el periodo 1990-1995 se duplicó, obteniéndose un progreso anual de 75 kg, 3,5 kg y 2,9 kg respectivamente, obteniéndose el mayor progreso relativo en los kilos de proteína, que es el carácter más importante en una población con cuota lechera.

El progreso genético conseguido se debe a un elevado número de factores asociados a la evolución tecnológica de la ganadería española, como es el uso adecuado de los apareamientos junto con una mejora espectacular de la relación calidad/precio de las dosis de semen, motivado por la creación de programas competitivos en los centros de inseminación en España. Existen en la actualidad tres programas de testaje de sementales en nuestro país, el primero en establecerse fue el del centro de inseminación ABEREKIN, seguido por el programa que lleva a cabo la Xunta de Galicia y del programa de la cooperativa ASCOL (Asturiana de Control lechero).

Hay que destacar que en las ultimas valoraciones genéticas realizadas por INTERBULL, de las que se hablará más adelante,

se encuentran toros españoles entre los 100 mejores de una población mundial que supera los 77.000 sementales. En la valoración realizada en febrero de 2002, los tres programas existentes en España tienen 7 toros entre los 200 mejores por el índice combinado tipo-producción ICO, ocupando el mejor toro español la octava posición de toda la población compuesta por la valoración de 23 países.

Con la implantación de la cuota lechera, los países europeos sustituyeron la población frisona europea por la Holstein norteamericana, estableciéndose en todos los países programas de testaje. Unos años mas tarde el flujo de genes es en ambas direcciones del Atlántico. Al igual que Holanda, Francia, Italia y Alemania, España está exportando en la actualidad a Norteamérica semen de toros de élite de sus centros de inseminación.

En los próximos años se ha de mejorar la forma de ordenar los animales por su mérito genético de rentabilidad y conseguir la predicción genética de más caracteres y con una mayor precisión para seguir con la competitividad de la ganadería del vacuno de leche.

El sector ganadero es consciente de que en un próximo futuro las diferencias en la rentabilidad entre los animales no van a ser debidas a caracteres productivos porque los sementales ofertados por todos los centros de inseminación artificial poseen un alto potencial genético para los caracteres de producción. Serán los caracteres secundarios o funcionales los que marcarán las diferencias entre los animales. De hecho, el sector ya está demandando que los toros ofertados produzcan vacas longevas sin problemas de fertilidad, de locomoción, que se ordeñen fácilmente y posean unas ubres que permitan producir leche sin problemas durante toda la vida productiva.

Por ello se considera imprescindible para el buen éxito de un programa de testaje la existencia de un control de rendimientos adecuado, que permita la mejora de la rentabilidad de las explotaciones considerando todas las disciplinas de la producción animal. Para ello, inicialmente en la Comunidad Autónoma Vasca y después en los otros programas de testaje en Galicia y Asturias, se estableció una organización a nivel autonómico de recogida de información que permite una gran adaptación a nuevos objetivos o una mejor aproximación a la rentabilidad de una explotación.

En este trabajo se aborda la situación actual y la problemática a resolver en cuanto a objetivos de selección y evaluación genética. También se describe la forma de realizar los apareamientos.

Objetivos y criterios de mejora

Con la implantación del BLUP-Modelo Animal y la publicación de sus resultados en el catalogo de sementales en 1988 por parte de ANFE (Asociación Nacional de Frisona Española), se inició en España el uso de índices genéticos en base a datos españoles.

Paralelamente a los países de nuestro entorno, se estableció en 1991 el índice compuesto ICO, que combinaba valores genéticos de caracteres productivos y de conformación. Este índice se definió por consenso por la junta de Gobierno de CONAFE (Confederación de Asociaciones de Frisona Española) en base a las respuestas genéticas esperadas, y se ha ido adaptando a las circunstancias de producción en

1995, 1997 y 2001. La aceptación mayoritaria del ICO como principal criterio para ordenar los animales ha sido uno de los motivos del mayor progreso genético obtenido los últimos años.

Actualmente, el ICO se compone de un índice de producción (ICOP) y de un índice de tipo (ICOT) con una ponderación de 2:1 (CHARFEDDINE y PENA, 2000). El 66% del ICO es ICOP con una ponderación de un 10% de kilos de grasa, 51% de kilos de proteína y 5% de porcentaje de proteína. Se prevé que los componentes y ponderaciones de los caracteres productivos sean modificadas en un próximo futuro. El ICOT lo componen 3 subíndices: un Índice de Patas y Pies (IPP), un Índice de Compuesto de Ubre (ICU) y un Índice Global de Tipo (IGT), con una ponderación de 24%, 50% y de 26% respectivamente. CHARFEDDINE y PENA (2000) detallan los caracteres que componen dichos subíndices.

Posteriormente surgieron los índices por mérito económico, en los que las ponderaciones de los caracteres a incorporar en el índice se calculan en base a una función de beneficio en la que se expresan los ingresos y los gastos de la producción de leche. Como ocurrió con los índices de producción y tipo, los países de nuestro entorno establecieron índices económicos, siendo el pionero EE.UU. (Net Merit Index). En España, CHARFEDDINE (1998) propuso un índice por mérito económico global llamado MEG.

Un índice económico posee ventajas frente a los índices convencionales porque el valor del índice se expresa en unidades monetarias, está basado en criterios objetivos y posee una mayor versatilidad cuando se desea incorporar otros caracteres. A pesar de ello, en la actualidad el índice MEG es poco utilizado en España.

Hasta ahora, el índice económico utilizado en España sólo lo componen caracteres de tipo y de producción, aunque PÉREZ-CABAL (2002) incorpora en el índice caracteres de fertilidad (intervalo entre partos) y el peso adulto.

La ganadería del vacuno de leche ha experimentado un cambio espectacular en los últimos años en cuanto a la respuesta a la selección de la producción de leche. El sector comienza a demandar que se incluyan otros caracteres para ser más eficientes en la mejora de la rentabilidad. Es frecuente oír la frase "que todos los animales producen mucho pero lo importante es que no den problemas".

Se prevé que en un futuro próximo se modifiquen los objetivos de selección y puede que el enfoque de un índice producción-tipo no sea suficiente. Este índice selecciona por caracteres de producción para obtener una alta productividad por unidad de tiempo y los caracteres de tipo para obtener animales funcionales o longevos. Es más lógico que existan subíndices relacionados con objetivos concretos en sustitución de un objetivo de producción y de longevidad, y que estos índices sean ponderados por su contribución económica en un índice global utilizado para la ordenación de los animales en los principales listados.

Algunas Comunidades Autónomas han organizado una amplia recogida de datos en las explotaciones de vacuno de leche que permite la incorporación de otros caracteres en el programa de mejora. Por ejemplo, los catálogos de ABEREKIN incluyen las valoraciones genéticas del recuento de células somáticas, la velocidad de ordeño y la facilidad de parto. Se han iniciado valoraciones genéticas de los caracteres relacionados con la fertilidad en las hembras, como son la edad al primer parto y el intervalo entre par-

tos. El carácter más importante relacionado con la fertilidad de la hembra es la tasa de no retorno. La información necesaria para realizar la predicción del valor genético está recogida pero se necesita una labor importante de preparación de los datos.

Los índices ICO y MEG pretenden seleccionar por una alta productividad por unidad de tiempo y que ésta sea longeva. En un futuro próximo se realizará una predicción genética del carácter longevidad. La valoración específica del carácter longevidad refleja la acción de varios factores y permitirá el conocimiento del motivo de una buena o mala longevidad.

Con toda la información que se está recogiendo en una explotación ganadera en algunas Comunidades, sería posible realizar un estudio económico completo que permitiera obtener la ponderación de todos los caracteres de interés en el objetivo de selección, que es la rentabilidad. Es previsible que en un próximo futuro se desarrollen varios subíndices relacionados con la rentabilidad:

• Índice de producción, que combina los caracteres de producción según el pago de la leche y la situación de cuota lechera.

• Índice de salud de ubre relacionado con la resistencia a la mamitis, que combina caracteres de tipo de la ubre con el recuento de células somáticas y con la velocidad de ordeño.

• Índice de locomoción, que combina caracteres de tipo relacionados con los miembros y aplomos.

• Índice relacionado con el peso corporal, que combina caracteres de tipo que predigan el peso adulto.

• Índice relacionado con la fertilidad de la hembra, que combina caracteres relacionados con la tasa de no retorno, el intervalo entre parto y la edad al primer parto.

• Índice relacionado con la facilidad de parto, en principio, en base a una valoración subjetiva del parto y, posiblemente, caracteres de tipo.

Por otro lado, y dado que en bastantes explotaciones se recoge gran cantidad de información, es posible conocer la rentabilidad real de un animal. Según PÉREZ-CABAL y ALENDA (2002) la rentabilidad como carácter posee una heredabilidad de 0,25. La predicción de la rentabilidad se podría hacer directamente mediante un análisis multicarácter en el que se combinase el carácter de la rentabilidad real de los animales desechados con los caracteres predictores de la rentabilidad a edades tempranas con producciones en curso. La correlación entre la predicción de la rentabilidad con un modelo multicarácter y la rentabilidad real ha sido de 0,49 (PÉREZ-CABAL, 2002).

El carácter rentabilidad es más completo que un índice tipo-producción y se encuentra próximo al objetivo real de un programa de mejora. En una población en control lechero las diferencias entre el carácter rentabilidad y un índice ICO o MEG serían las mostradas en el cuadro 1.

Evaluaciones genéticas

Según se ha comentado previamente, los caracteres de más peso en el beneficio de las explotaciones lecheras son los caracteres de producción. Sin embargo, debido a los condicionantes de producción, como es la implantación del sistema de cuotas, y a que la fuerte selección ejercida sobre estos caracteres puede deteriorar aspectos de la funcionalidad que también tienen un peso

Cuadro 1. Diferencias entre el carácter rentabilidad y los índices de selección en cuanto a la información considerada

Table 1. Differences in information considered by profitability trait and selection indices

	Rentabilidad	Índice ICO	Índice económico
Fertilidad 1.ª concepción	sí	no	no
Producción	real	Ajustada 305d	Ajustada 305d
Días en lactación	sí	no	no
Días secos	sí	no	no
Coste energía mantenimiento	sí	no	sí
Coste energía producción	sí	no	sí
Coste mamitis	sí	no	sí

económico importante, los caracteres funcionales o no productivos están tomando cada vez más interés. Ello implica que además de las evaluaciones genéticas para caracteres productivos se estén desarrollado sistemas de evaluación genética para un amplio número de caracteres no productivos.

Las evaluaciones genéticas nacionales oficiales en España para el ganado Frisón, se llevan a cabo en CONAFE, para caracteres de producción y morfología. Existen además sistemas de valoración para recuento de células somáticas, velocidad de ordeño y facilidad de parto a nivel de entorno regional.

Para las evaluaciones nacionales de Producción y Conformación se presentan en este trabajo datos basados en información de la valoración de Enero-2002 (CATÁLOGO DE SEMENTALES, 2002; http://www.conafe.com).

Además de las valoraciones nacionales, en ganado vacuno lechero existen evaluaciones genéticas internacionales que lleva a cabo INTERBULL. La información que se suministra en este trabajo se refiere a la última valoración de mayo de 2002 (obtenida a través de la página de internet http://www-interbull.slu.se/)

Caracteres de Producción

Las evaluaciones genéticas para caracteres productivos en vacuno Frisón en España están basadas en el análisis de la producción total acumulada durante un tiempo estándar, establecido en 305 días. Actualmente, se utilizan tanto lactaciones finalizadas o procedentes de animales desechados, como datos de lactaciones en curso, que en ambos casos se extienden para dar la producción estimada en 305 días si la duración de la lactación es inferior a 215 días para lactaciones finalizadas o cuando el tiempo en lactación supera los 65 días para lactaciones en curso. El procedimiento de extensión está basado en la curva media esperada para el animal en función del nivel de producción, edad y época de parto y del dato recogido en el último control disponible para ese animal (REKAYA *et al.*, 1996).

Actualmente, se realizan evaluaciones genéticas directas de los caracteres kg de leche, grasa y proteína, obteniéndose las

evaluaciones de porcentaje de grasa y proteína de forma indirecta a partir de las evaluaciones y medias fenotípicas de la población base para producciones en 305 días. Las evaluaciones genéticas se llevan a cabo dos veces al año de forma rutinaria.

Modelo de evaluación

El modelo utilizado en las evaluaciones genéticas es un modelo animal unicarácter en el que las lactaciones de un mismo animal (sólo se utiliza información de un máximo de 5 lactaciones por vaca) se consideran como medidas repetidas. La ecuación del modelo incluye:

- Efectos ambientales sistemáticos:
  - Grupo de manejo formado por animales del mismo rebaño y en un periodo de tiempo no superior al año. Dependiendo del número de lactaciones presentes en el rebaño en un año, éste grupo se subdivide o no según las vacas sean importadas o españolas, el parto (primero o superior) y la época de parto.
  - Mes de parto dentro de clase de lactación (1ª y resto); región (Cornisa Cantábrica y resto); periodo y nivel de producción del rebaño en el primer parto (288 clases).
  - Edad al parto dentro de lactación (1, 2, 3, 4, 5), región, periodo de tiempo y nivel de producción del rebaño en el primer parto (456 clases).
- Efecto ambiental permanente.
- Efecto genético aditivo ligado al animal que produce el dato.
- Grupos genéticos: definidos según la vía de selección, año de nacimiento, país de origen (9 países) y región de origen para los animales nacidos en España.

El modelo se resuelve utilizando un procedimiento BLUP. Para los tres caracteres evaluados directamente se usa una heredabilidad de 0,28 (PENA *et al.*, 2001) y una repetibilidad de 0,50. Las observaciones se ponderan de manera diferente en función de la duración de la lactación a través de una estructura de varianza residual heterogénea.

Heterogeneidad de varianzas

Estudios previos sobre la población española de ganado Frisón (HERNÁNDEZ *et al.*, 1999; IBÁÑEZ *et al.*, 1999) han encontrado una heterogeneidad de la varianza de los caracteres productivos ligada al nivel de producción del rebaño, área geográfica, tamaño de los rebaños y periodo de tiempo en el que se ha obtenido el dato. Este mismo fenómeno ha sido observado en otras poblaciones y es práctica común en las evaluaciones de caracteres productivos en ganado vacuno lechero realizar una corrección de la heterogeneidad de varianza, que de no hacerse produciría sesgos en las evaluaciones genéticas, reduciría el progreso genético y resultaría en un número desproporcionado de animales seleccionados de ambientes con una mayor variabilidad asociada (HILL, 1984; VINSON, 1987; MEUWISSEN y VAN DER WERF, 1993). Si bien la aproximación más correcta desde un punto de vista teórico sería la de incorporar al sistema de valoración BLUP los componentes de varianza correspondientes a cada ambiente (GIANOLA, 1986), la dificultad de estimar estos parámetros con una precisión adecuada y la mayor complejidad de los modelos a emplear ha llevado a implementar procedimientos más sencillos en las eva-

luaciones nacionales. En general, la corrección de heterogeneidad de varianza se hace mediante el cálculo de factores de ajuste que se aplican de forma multiplicativa y buscan la estabilización de la varianza fenotípica (BROTHERSTONE y HILL, 1986; KACHMAN y Everett, 1993, WEIGEL y GIANOLA, 1993; MEUSISSEN *et al.*, 1996) o residual (ROBERT-GRANIÉ *et al.*, 1999), asumiendo heredabilidad constante, o de la heredabilidad y la varianza fenotípica (WIGGANS y VAN RADEN, 1991), en los grupos de comparación. Los procedimientos de estimación de estos factores se basan en algunas ocasiones en el uso de modelos estructurales sobre las varianzas (FOULLEY *et al.*, 1990, 1992) y pueden estimarse previamente o simultáneamente al proceso de resolución de las ecuaciones BLUP (KACHMAN y EVERETT, 1993; MEUWISSEN *et al.*, 1996), de forma que en el cálculo de los factores multiplicativos se tiene en cuenta la variabilidad adicional que introducen factores como la selección, al incorporar relaciones de parentesco entre ambientes

En nuestro país se emplea un procedimiento basado en el método propuesto por MEUWISSEN *et al.* (1996) en el que los factores de ajuste se estiman dentro del proceso de evaluación genética, haciendo uso de un modelo estructural sobre esos factores (PENA, 2002).

Cambios previstos en un futuro próximo. El modelo 'test-day'

Recientemente, se ha puesto de manifiesto el interés por el uso explícito de las producciones tomadas en el día del control (PDC) en lugar de la medida lactacional calculada a partir de ellas. La utilización de los datos de los controles mensuales para la valoración de caracteres productivos presenta varias ventajas en relación al uso del dato resumen de producción en 305 días. Por un lado, permite identificar mejor los factores ambientales que inciden en el dato observado (la producción en el día de control y no la producción en 305 días, que es un dato calculado a posteriori), y por otro, permite utilizar más información, tanto desde el punto de vista cuantitativo (utilización de hasta 10 o más datos por lactación y animal frente a uno en la producción en 305 días y evitando el desecho de información que se hace al calcular el dato a 305 días por falta de controles) como cualitativo (proporciona información no sólo sobre la cantidad de leche producida sino además sobre la forma en que se produce a lo largo de la lactación, es decir, sobre la persistencia, pico de la lactación, etc.). Además, se evitan los problemas asociados a la extensión de lactaciones incompletas (precisión del método de extensión y generación de datos con menor variabilidad que las lactaciones completas). En contrapartida, la modelización de este tipo de información es, potencialmente, más compleja y los costes computacionales asociados a la aplicación de estos modelos se incrementa de forma muy importante. A pesar de estas desventajas, varios países (Alemania, Canadá, Estonia, Holanda, Finlandia y Suiza. INTERBULL, 2002) ya han desarrollado y adaptado a su situación estructural nuevos modelos matemáticos de valoración genética basados en el análisis directo de las PDC y se espera que a medio plazo se haya producido una reconversión en el campo de la valoración genética del ganado vacuno lechero a sistemas de evaluación basados en el análisis de las PDC.

La forma de modelizar los datos de los controles mensuales ha sido objeto de numerosos estudios. La modelización más simple la constituye un modelo de repetibilidad en

el que se consideran que todas las PDC son medidas repetidas del mismo carácter con varianza constante a lo largo de la lactación (PTAK y SCHAEFFER, 1993). REENTS *et al.* (1995a y b) desarrollaron un modelo que considera los datos de controles dentro de una misma lactación como medidas repetidas y como caracteres diferentes cuando se trata de datos de distintas lactaciones. Un refinamiento con respecto al modelo de repetibilidad simple son los modelos de regresión aleatoria (SCHAEFFER y DEKKERS, 1994), o, equivalentemente, el uso de funciones de covarianza (KIRKPATRICK y HECKMAN, 1989). En este tipo de modelos se reconoce la posibilidad de ajustar distintas curvas individuales para cada animal, tanto en relación a efectos ambientales no sistemáticos como a los efectos genéticos, reconociendo, por ejemplo, la existencia de diferencias en el potencial genético para factores como la persistencia de las curvas de lactación. Además, estos modelos contemplan la existencia de (co)varianzas que cambian con el tiempo, tanto a nivel del componente genético, como de componentes ambientales no sistemáticos.

Otros procedimientos propuestos en este área, como los modelos de los caracteres de proceso (*'character process models'* desarrollados en PLETCHER y GEYER, 1999) basados en considerar el proceso de generación de datos a lo largo del tiempo como una variable aleatoria sobre la que se especifica una determinada distribución que define su media y estructura de (co)varianzas, y, modelos jerárquicos basados en funciones no lineales que usan coeficientes con mayor sentido biológico (VARONA *et al.*, 1998; REKAYA *et al.*, 2000) están sujetos a técnicas computacionales más complejas y no han sido utilizados en evaluaciones nacionales.

Los modelos basados en regresiones aleatorias ajustadas tanto al efecto genético aditivo como al efecto ambiental permanente son los modelos usados en la actualidad en las evaluaciones nacionales, tanto en un contexto unicarácter como multicarácter, donde se incluyen simultáneamente los datos de producción de leche, grasa y proteína.

En nuestra población de Frisón se han realizado estudios sobre el uso de modelos de las PDC en la evaluación genética (REKAYA *et al.*, 1999; LÓPEZ ROMERO, 2002), observándose que la implementación de los MRA a nuestros datos produce unos resultados razonables en términos de adecuación de los modelos a los datos observados o a datos faltantes y son relativamente sencillos de implementar. Se prevé su implantación para la evaluación nacional de caracteres productivos dentro de los próximos 3 años.

Caracteres de conformación

En el sistema de valoración genética nacional para caracteres de conformación se evalúan 16 caracteres lineales y el carácter general Miembros y Aplomos. Los caracteres lineales son los 15 recomendados por la federación mundial de Holstein-Frisón y evaluados por Interbull más el carácter Colocación de Pezones Posteriores. A partir de las evaluaciones de los 16 caracteres lineales se obtienen unos índices sintéticos: índice de Capacidad, índice de Patas y Pies, índice Compuesto de Ubre, índice Global de Tipo, que permiten una apreciación de aspectos globales de la morfología (CATÁLOGO DE SEMENTALES, 2002).

En la evaluación genética sólo se utiliza información sobre una calificación (la primera) que exista para cada animal sobre cada carácter.

Modelo

El modelo que se usa en la evaluación genética es un modelo animal multicarácter que engloba a los 16 caracteres valorados. La ecuación del modelo para cada carácter incluye los siguientes factores:

- Efectos sistemáticos:
  - Rebaño-Visita-Calificador.
  - Ronda de calificación-Calificador-Parto (primero o superior).
  - Número de lactación-Edad en el momento de la calificación. El ajuste de este factor se considera anidado a la Zona (Cornisa Cantábrica y Resto) y al Nivel de producción del rebaño en el primer parto.
  - Estado de la lactación en el momento de la calificación, anidado a Parto (primero o superior), Zona (Cornisa Cantábrica y Resto) y Nivel de producción del rebaño en el primer parto.
- Efectos genéticos: efecto genético aditivo del animal que produce el dato.
- Grupos genéticos: definidos según el sexo, año de nacimiento y país de origen.

Las heredabilidades empleadas en la evaluación genética pueden consultarse en el Catálogo de sementales 2002 (CONAFE).

Cambios previstos en un futuro próximo

Para caracteres de conformación también se ha detectado heterogeneidad de varianzas ligada al efecto del calificador (ROBERT *et al.*, 1997) y al grupo de comparación (KOOTS *et al.*, 1994; WEIGEL *et al.*, 1994). Se espera que en el futuro se lleve a cabo un ajuste de la heterogeneidad de varianzas en los caracteres de conformación en las evaluaciones genéticas del Frisón español mediante un procedimiento similar al utilizado para caracteres de producción.

Otros caracteres evaluados a nivel regional

Además de las evaluaciones nacionales que se llevan a cabo por CONAFE para los caracteres de producción y conformación, se están realizando en nuestro país evaluaciones para otros caracteres, recuento de células somáticas, velocidad de ordeño y facilidad de parto asociadas al programa de testaje del centro de inseminación de ABEREKIN. En la evaluación de recuento de células somáticas se emplea un modelo animal con medidas repetidas. Similarmente a los caracteres de producción, los datos tomados en los controles mensuales se promedian para obtener un dato lactacional, previa transformación logarítmica y preajuste por los efectos de número de lactación-estado de la lactación, fecha de control y producción de leche en el control como covariable. (FERNÁNDEZ *et al.*, 2000). Para la evaluación de recuento celular se está llevando a cabo un desarrollo paralelo al seguido para los caracteres de producción con la implantación de los modelos *'test-day'* en varios países (INTERBULL, 2002).

Las evaluaciones de velocidad de ordeño, cuyo dato se recoge en una escala categórica en primera lactación, se llevan a cabo mediante un modelo animal (FERNÁNDEZ *et al.*, 2000).

En cuanto a la facilidad de parto, también de tipo categórico, se evalúa mediante un modelo macho con metodología de modelos lineales (ALDAY y UGARTE, 1997). La evolución del sistema de evaluación para el

carácter facilidad de parto es previsible que vaya hacia la aplicación de metodología de modelos umbral considerando el componente genético directo (peso al nacimiento del ternero) como el materno (facilidad de parto de la madre), según se realiza en otros sistemas de evaluación nacional (ver, p. ej., DUCROCQ, 2000).

Otros caracteres cuya evaluación genética está en proceso de desarrollo: Longevidad

La longevidad o vida productiva es uno de los caracteres funcionales de mayor importancia económica, según se ha comentado previamente

La evaluación genética de este carácter plantea dos problemas fundamentalmente. Uno es la necesidad de buscar medidas del carácter o métodos de análisis que permitan la evaluación temprana del mismo. El otro es la baja heredabilidad del carácter, que hace poco precisas las evaluaciones genéticas. Esto ha generado una diversidad notable en los procedimientos de evaluación genética.

En relación a la necesidad de obtener evaluaciones genéticas tempranas, en primer lugar se propuso la utilización de medidas de supervivencia (0 ó 1) al comienzo de una lactación determinada, a una cierta edad o en un momento dado después del primer parto (ver, p.ej. revisión en STRANDBERG y SÖLKNER, 1996 sobre los umbrales más utilizados). Cuanto antes se fije el umbral en el que se mide la supervivencia, menor será el intervalo generacional, pero más información sobre la vida productiva total será despreciada. Para evitar los problemas de arbitrariedad en la definición del umbral que define la longevidad y de pérdida de información de animales aún vivos en el momento de medirse la supervivencia, MADGWICK y GODDARD (1989) propusieron, para la evaluación de la población australiana, considerar las medidas de supervivencia en lactaciones sucesivas tras el primer parto como medidas múltiples para cada animal. Estas medidas, que incluyen registros de animales desechados y no desechados, pueden considerarse como medidas repetidas del mismo carácter en un modelo de repetibilidad o como medidas de caracteres diferentes en un modelo multicarácter (JAIRATH *et al.*, 1998, para la evaluación canadiense).

Otra alternativa que permite el uso de datos incompletos es la predicción fenotípica de la longevidad de los animales aún no desechados, a partir de regresores poblacionales. Dentro de este tipo de aproximación están los procedimientos propuestos por VAN RADEN y KLAASKATE (1993) para la evaluación en EE.UU. y BROTHERSTONE *et al.* (1997) para la evaluación en Gran Bretaña. En el primer trabajo, se propone un procedimiento de extensión de los datos incompletos de duración de la vida productiva similar al aplicado a la extensión de las lactaciones incompletas para los caracteres de producción de leche. Este procedimiento ha sido criticado porque es muy posible que los indicadores en los que se basa la extensión de la vida productiva no sean tan buenos como los que se usan en la extensión de la lactación para producción de leche (ESSL, 1998) y porque los coeficientes de determinación asociados a la predicción a partir de datos de edades tempranas son bastantes bajos (STRANDBERG y SÖLKNER, 1996). En el trabajo de BROTHERSTONE *et al.* (1997), se propone la predicción del número de lactaciones en la vida del animal a partir del dato de lactaciones reales y las probabilidades de sobrevivir a cada lactación, calculadas sobre la población total.

Todos los procedimientos mencionados hasta ahora se basan en la utilización de modelos lineales y métodos tipo BLUP y REML para llevar a cabo la valoración genética y para la estimación de componentes de varianza. VUKASINOVIC (1999) argumenta que el análisis del carácter longevidad requiere la utilización de métodos especiales por varias razones. En primer lugar, la distribución de la longitud de la vida productiva es muy asimétrica y a menudo desconocida. En segundo lugar, los efectos que actúan sobre la longevidad no lo hacen de forma lineal (BEILHARZ *et al.*, 1993) y varían con el tiempo (como es el caso de la producción de leche utilizada en la obtención de longevidad funcional, el tamaño del rebaño o el manejo). La utilización de técnicas de análisis de supervivencia (p.ej. KALBFLEISCH y PRENTICE, 1980) permite tener en cuenta estas peculiaridades y hace un tratamiento más adecuado de los datos incompletos o censurados, evitando los problemas mencionados para los procedimientos de extensión. Este tipo de técnicas han sido desarrolladas en nuestra área para el análisis del carácter longevidad (principalmente por DUCROCQ (1987), DUCROCQ y SÖLKNER, 1994 y 1998) y son consideradas como el método teóricamente óptimo (STRANDBERG y SÖLKNER, 1996 y ESSL, 1998 en revisiones bibliográficas y BOETTCHER *et al.*, 1998 en un estudio de comparación con otros métodos).

La complejidad de cálculo de este tipo de análisis es notablemente superior a la de los métodos anteriores, basados, según se ha comentado, en la resolución de las ecuaciones del modelo mixto. Esto limita, al menos por el momento (DUCROCQ, 1999), la utilización del modelo animal y de modelos más complejos como los modelos multicarácter o modelos que permitan obtener méritos genéticos diferentes en función del tiempo. La existencia de un paquete informático denominado "Survival kit" (DUCROCQ y SÖLKNER, 1998) ha facilitado enormemente la aplicación de estas técnicas a la valoración nacional en varios países bajo un modelo macho (DUCROCQ y SÖLKNER, 1998b, en Francia y Austria; DE JONG *et al.*, 1999, en Holanda; PASMAN y REINHARDT, 1999, en Alemania; VUKASINOVIC, 1999, en Suiza).

En cuanto al problema de baja heredabilidad y baja precisión de las evaluaciones, se ha propuesto el uso de caracteres indicadores con una heredabilidad más alta, como son los caracteres de conformación, con el fin de aumentar la información disponible y la fiabilidad, dentro de análisis multicarácter.

En España se prevé la implementación de un sistema de evaluación nacional para longevidad basado en el uso de técnicas de análisis de supervivencia dentro del año próximo, habiéndose realizado estudios previos sobre la definición del modelo de evaluación y de estimación de parámetros genéticos (CHIRINOS *et al.*, 2002)

Evaluación internacional en ganado vacuno lechero

El intenso intercambio de material genético (semen y embriones) entre países hace obvio el interés de establecer comparaciones del mérito genético entre animales de distintos países, tanto desde el punto de vista de optimizar el progreso genético, como de establecer un nivel de precios más justo que adecue la cotización a la calidad genética de los animales. Sin embargo, los índices genéticos de un mismo carácter publicados en distintos países no son directamente comparables y ha sido necesario

desarrollar procedimientos que permitan la comparación internacional del mérito genético. En ganado vacuno lechero, esto se ha hecho dentro del marco de un organismo internacional, INTERBULL. En el momento actual se llevan a cabo por parte de este organismo evaluaciones internacionales del mérito genético de los sementales de vacuno lechero por el método denominado MACE (Multiple Across Country Evaluation) (SCHAEFFER, 1994). Hasta el momento, los caracteres evaluados son caracteres de producción, caracteres de morfología y caracteres de sanidad de la ubre

El modelo de valoración

El modelo en el que se basa la valoración internacional es un modelo macho multicaracter (siendo el mérito genético en cada país un carácter diferente), cuya ecuación es:

$$y = c + u + e$$

donde:

- y es un vector que contiene los valores genéticos obtenidos en cada país, pero corregidos . por los factores que luego tendrá en cuenta el procedimiento de valoración. Esto es, hay que obtener lo que se llaman *"pruebas desregresadas"*, que son las pruebas de las valoraciones nacionales corregidas por la cantidad de información (número de hijas del semental) y los parentescos conocidos entre los toros (BANOS *et al.*, 1990).

En el cuadro 2 se presenta el modelo y la heredabilidad empleadas en las evaluaciones nacionales y el número de datos que se han incluido en la valoración internacional de mayo de 2002, para caracteres de producción.

- c es el efecto país, que se incluye para considerar los distintos niveles genéticos medios de la base de referencia en cada país. Las soluciones para este efecto añadidas a la solución de la valoración para el mérito genético internacional, permite expresar éste en la base correspondiente a cada país.

- u es el vector de méritos genéticos de los sementales participantes en la escala de cada país. Será predicho para todos los toros que participan en la valoración tanto con datos propios o a través de la genealogía. Además, se incluyen grupos genéticos definidos para los ancestros desconocidos según su país de origen, raza, año de nacimiento del toro y vía de selección –padre, abuelo materno y abuela materna–. La inclusión de un grupo genético para la abuela materna suple parcialmente la falta de información sobre las madres.

Al ser un modelo multicarácter, u tiene tantos componentes como países participantes, teniendo en cuenta así la distinta variabilidad genética entre países, y que la correlación entre éstos puede no ser igual a la unidad. Las desviaciones típicas y las correlaciones entre países utilizadas en la valoración son obtenidas por INTERBULL, previo a la realización de la evaluación internacional, a partir de las pruebas de los toros, su fiabilidad, la información genealógica y el valor de la heredabilidad asumido en la evaluación nacional, por un procedimiento tipo REML (SIGURDSSON *et al.*, 1996).

- e es el efecto residual.Tiene también tantos componentes como países, reconociendo las diferencias en variabilidad residual. La varianza residual de cada país se obtiene a partir de la varianzas genética calculada y de la heredabilidad. El modelo también aplica distintos pesos a las pruebas nacionales de los toros según su fiabilidad.

Cuadro 2. Datos de las evaluaciones nacionales considerados en la evaluación rutinaria de Interbull para caracteres de producción de mayo de 2002 (Tomado de http://www-interbull.slu.se/eval/table1-022.html)

Table 2. National evaluation data considered in ordinary Interbull evaluation for production traits in may 2002 (From http://www-interbull.slu.se/eval/table1-022.html)

País	h^2	Modelo evaluación nacional	Nº datos prod. Leche
Australia	0,25	M. animal	3.362
Bélgica	0,30	M animal	1.093
Canadá	0,31-0,42	M. animal, '*test-day*'	5.144
República Checa	0,32-0,35	M. animal multicarácter	1.510
Dinamarca	0,30	M. animal	4.491
Estonia	0,23-0,27	M. animal, '*test-day*'	242
Finlandia	0,33-0,44	M. animal, '*test-day*'	626
Francia	0,30	M. animal	8.258
Alemania	0,30-0,39	M. animal, '*test-day*'	10.687
Hungría	0,20-0,25	M. animal	992
Irlanda	0,35	M. animal	640
Israel	0,25	M. animal	559
Italia	0,30	M. animal	4.004
Holanda	0,51-0,64	M. animal, '*test-day*'	5.915
Nueva Zelanda	0,28-0,35	M. animal	2.739
Polonia	0,20-0,26	M. animal multicarácter	3.639
Sudáfrica	0,19-0,35	M. animal	456
Eslovenia	0,21-0,28	M. animal	75
España	0,28	M. animal	822
Suecia	0,30	M. animal	1.323
Suiza	0,34-0,36	M. animal, '*test-day*'	503
Reino Unido	0,35	M. animal	2.917
Estados Unidos	0,30-0,35	M. animal	17.364

Debido a que ésta no se calcula exactamente de la misma forma en cada país, INTERBULL actualmente utiliza el número de hijas de cada toro junto con la estima de la varianza residual en cada país, como medida de precisión de la prueba nacional.

Bajo el modelo descrito, las incógnitas se estiman mediante metodología de modelos mixtos (SCHAEFFER, 1994).

Control y diseño de los apareamientos

En una explotación ganadera de vacuno de leche, se diseña un apareamiento pensando en la obtención de una hembra de reposición utilizando una dosis seminal suministrada por un centro de inseminación artificial. A su vez, el centro de inseminación artificial busca hembras en las explotaciones comerciales para diseñar un apareamiento

que permita obtener un macho con el suficiente potencial genético que pueda ser utilizado por las explotaciones para obtener hembras. Estas dos decisiones son las responsables del progreso genético de la población del ganado vacuno de leche.

En el ganado vacuno de leche es simple realizar los apareamientos, pero existen matices que determinan el éxito del programa en una situación mundial enormemente competitiva.

Apareamiento a nivel de una explotación

En la actualidad existe una gran objetividad para la elección de los sementales. Todos los sementales de todos los programas existentes en el mundo son evaluados cuatro veces al año por INTERBULL y ordenados en cada país por el índice tipo-producción.

Cada ganadero suele decidir qué sementales utilizar en su ganadería. Mayoritariamente, la exigencia por parte del ganadero en la selección del semental es un alto índice tipo-producción (en España, un alto valor del ICO) y con valores positivos, o altos, en las valoraciones genéticas del sistema mamario y de los miembros y aplomos, ya que los apareamientos se suelen realizar buscando la corrección de los defectos, fundamentalmente en las ubres y las patas. También es importante el conocimiento de la facilidad de parto porque en la inseminación de las novillas sólo se utilizan sementales de parto fácil.

El programa de mejora genética puede aportar al ganadero unos índices específicos relacionados con los costes e ingresos. Estos índices podrían incorporar en la toma de decisión del semental deseado el precio del semen (PÉREZ *et al.*, 2000).

Apareamiento a nivel de un centro de Inseminación Artificial

La descripción de cómo se realiza el testaje de un toro se puede encontrar en UGARTE (2000).

Los tres centros de inseminación españoles pondrán en testaje durante el año 2002 cerca de 100 sementales. Se busca que cada semental tenga al menos 80-100 hijas en control lechero con lactación completada, que obtenga un alto valor del índice compuesto ICO y con valores positivos en el sistema mamario y en los miembros y aplomos. Un alto valor en ICO significa que en la valoración de INTERBULL el semental se encuentra entre los 100 mejores de los más de 3.000 que aportan anualmente todos los 23 países que integran la valoración genética de INTERBULL.

Cada año menos de 10 sementales son padres de, al menos, el 80% de los toros que se ponen en testaje en todo el mundo. Actualmente la madre de los sementales es la que marca la diferencia para que un toro en prueba se convierta semental, o lo que es lo mismo, que su primera prueba sea alta en INTERBULL.

Cuando se iniciaron los programas de testaje, fundamentalmente el programa de ABEREKIN y posteriormente el programa de Galicia, estos se basaban en la detección de hembras norteamericanas con altos índices genéticos y en la importación de 4 embriones que se implantaban en España con objeto de obtener un macho (figura 1). El reto de la selección era la detección de tratamientos preferenciales que motivasen errores en los altos índices genéticos de las hembras. Paralelamente, el programa español impulsaba el MOET en las hembras en explotaciones españolas con alto índices de pedigrí. Hoy se puede afirmar que los pro-

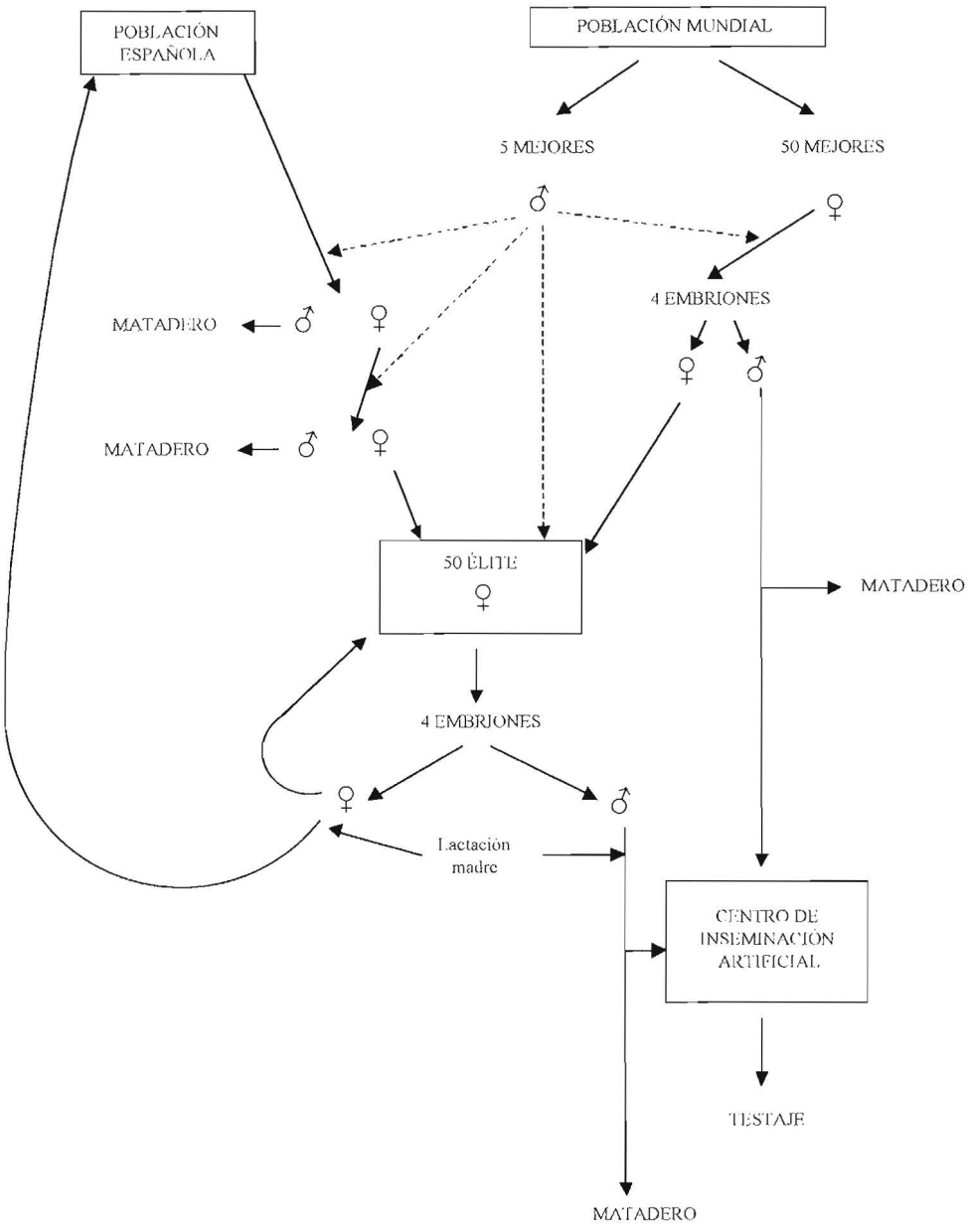


Figura 1. Programa de testaje de ABEREKIN
Figure 1. ABERKIN test program

gramas de obtención de sementales han sido enormemente exitosos, dado que el programa español solo ponía en testaje varias decenas de machos frente a los miles que se ponían por todos los países integrantes de INTERBULL.

Los criterios de selección de los reproductores por un centro de inseminación son similares a los que realizan los ganaderos en sus explotaciones. Se buscan animales con altos índices en kilos de proteína y, a su vez, que tengan un alto índice en el sistema mamario, sin olvidar los miembros y aplomos. Un semental que destaque en producción y tenga algún defecto morfológico puede ser utilizado apareándolo con una hembra excepcionalmente buena en el defecto morfológico del semental.

Normalmente la selección de las hembras era realizada por técnicos del propio centro de inseminación. Hoy, esta labor se está realizando por empresas multinacionales que ofrecen a cualquier centro de cualquier país terneros ya creados por la empresa. La ventaja de este sistema es la reducción del intervalo generacional en un año con lo que se reducen los costos de detección de madres de futuros sementales y los riesgos de cambios en los índices. La labor de un experto en la selección de madres de futuros sementales persiste y es su responsabilidad en el éxito del programa.

Con la experiencia de estos años se piensa que los sementales que destacan proceden de madres con altos índices pero además, suelen tener otros familiares hembras que han producido algún descendiente destacado. Esto se conoce en términos ganaderos como "familias de vacas". Esta información familiar está dispersa por varios países, siendo difícil su utilización.

Otros aspectos

El programa de mejora genética del ganado vacuno de leche no explota ni la varianza no aditiva ni la complementariedad y, no existen estrategias específicas para el control de la consanguinidad. Simplemente, se evita realizar apareamientos que evite machos comunes hasta el nivel de abuelos. El sector español no posee ningún temor a la perdida de la variabilidad genética y a la posible pérdida futura de la competitividad de la raza Holstein. Existe un alto control de la productividad en una población de más de 25 millones de vacas que, automáticamente, descarta los animales con problemas. Y se piensa que se posee una alta capacidad de cambio en los objetivos de selección y que estas modificaciones si fuesen necesarias tendrían un éxito inmediato.

Agradecimientos

Se agradece a M.A. Pérez-Cabal la lectura y sugerencias aportadas a este trabajo.

Bibliografía

ALDAY S., UGARTE E., 1997. Genetic evaluation of calvin ease in Spanish Holstein population. Proc. International Workshop on Genetic Improvement of Functional traits in cattle; Fertility and Reproduction. Interbull Bull. 18: 21-24.

BANOS G., SHAEFFER L.R., BURNSIDE E.B., 1990. North American genetic evaluation of Ayrshire bulls with a linear model. 4th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod. 14: 62-65.

BEILHARZ R.G., LUXFORD B.G., WILKINSON J.L., 1993. Quantitative genetics and evolution: Is our understanding of genetics sufficient to explain evolution? Journal of Animal Breeding and Genetics. 100: 161-170.

BOETTCHER P.J., DEKKERS J.C.M., KOLSTAD B., 1998. Development of an udder health index for sires selection based on somatic cell score, udder conformation and milking speed. J. Dairy Sci. 81: 1157-1168.

BROTHERSTONE S., HILL W.G., 1986. Heterogeneity of variance amongst herds for milk production. Anim. Prod. 42: 297-303.

BROTHERSTONE S., VEERKAMP R.F., HILL W.G., 1998. Genetic parameters for a simple predictor of the lifespan of Holstein-Friesian dairy cattle and its relationship to production. Animal Science. 65: 31-37.

CATÁLOGO DE SEMENTALES, 2002. CONAFE.

CHIRINOS Z., CARABAÑO M.J., HERNÁNDEZ D., 2002. Longevity analysis in Spanish Holstein-Friesian cattle. 7th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Montpellier (Francia). 19-23 Agosto, 2002.

DE JONG G., VOLLEMA A.R. , VAN DER BEEK S., HARBERS A., 1999. Breeding value for functional longevity in the Netherlands. Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle-Longevity-. Interbull Jouy-en-Josas, France. Interbull Bull.21: 68-72.

DUCROCQ V.P., 1987. An analysis of length of productive life in dairy cattle. PhD. Thesis, Cornell University., Ithaca, New York, USA.

DUCROCQ V.P., 1999. Topics that may deserve further attention in survival analysis applied to dairy cattle breeding-some suggestions. Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle-Longevity-. Interbull Jouy-en-Josas, France. Interbull Bull. 21: 181-190

DUCROCQ, V.P., 2000. Calving ease evaluation of French dairy bulls with a heteroskedastic threshold model with direct and maternal effects. Proceedings of the 2000 Interbull meeting. Bled, Slovenia. Interbull Bull. 25: 123-130.

DUCROCQ V.P., SÖLKNER J., 1994. "The survival kit". A fortran package for the analisys of suvival data. In 'Proc. 5th World Congr. on Geneti. Appl. to Livest. Prod. Vol. 22, p. 51.

DUCROCQ V.P., SÖLKNER J., 1998. 'The Survival Kit V3.0'-a package for large analysis of survival data. In 'Proc. 6th World Congr. on Genet. Appl.to Livest. Prod. 27: 447-448.

ESSL A. 1998. Longevity in dairy cattle breeding: a review. Livest. Prod. Sci. 57, 79-89.

FOULLEY J.L., GIANOLA D., SAN CRISTOBAL M., IM S., 1990. A method for assessing extent and sources of heterogeneity of residual variances in mixed linear models. J. Dairy Sci. 73: 1612-1624.

FOULLEY J.L., SAN CRISTÓBAL M., GIANOLA D., IM S., 1992. Marginal likelihood and bayesian approaches to the analysis of heterogeneous residual variances in mixed linear Gaussian models. Computational Statistics & Data Analysis 13: 291-305.

GIANOLA D., 1986. On selection criteria and estimation of parameters when the variance is heterogeneous. Theor. Appl. Genet. 72: 671-677.

HERNÁNDEZ D., LÓPEZ P., CARABAÑO M.J., ALENDA R., 1999. Aplicación de la metodología Bayesiana en la estima de parámetros genéticos para la producción de leche. ITEA Volumen Extra, 20: 318-320.

HILL W.G., 1984. On selection among groups with heterogeneous variance. Anim. Prod. 39: 473-477.

IBÁÑEZ M.A., CARABAÑO M.J., ALENDA R., 1999. Identification of sources of heterogeneous residual and genetic variances in milk yield data from the Spanish Holstein-Friesian population and impact on genetic evaluation. Livest. Prod. Sci.; 59: 33-49.

JAIRATH L., DEKKERS J.C.M., SCHAEFFER L.R., LIU L.R., BURNSIDE E.B., KOLSTAD B., 1998. Genetic evaluation for herd life in Canada. J. Dairy Sci. 81: 550-562.

KACHMAN S.D., EVERETT R.W., 1993. A multiplicative mixed model when the variances are heterogenous. J. Dairy Sci. 76: 859-867.

KALBFLEISCH J.D., PRENTICE R.L., 1980. The statical analysis of failure time data. Wiley, New York, N. Y.

KOOTS K.R., WADE K.M., KENNEDY B.W., DEKKERS J.C.M., SMITH G.C., BURNSIDE E.B., 1994. Method and effect of adjustment for heterogeneous variance of Holstein conformation traits. J. Dairy Sci. 77: 294-302.

KIRKPATRICK M., HECKMAN N., 1989. A quantitative genetic model for growth, shape, reaction norms, and other infinite-dimensional characters. J. Math. Biol. 27: 429-450.

LÓPEZ-ROMERO P., 2002. Evaluación y comparación de modelos de regresión aleatoria aplicados al análisis de producciones en el día del control de primeras lactaciones para la evaluación genética del ganado vacuno de leche. Tesis doctoral. E.T.S.I.A. Universidad Politécnica de Madrid (pendiente de defensa).

MADGWICK P.A., GODDARD M.E., 1989. Genetic and phenotypic parameters of longevity in Australian dairy cattle. J. Dairy Sci. 72: 2624-2632.

MEUWISSEN T.H.E., VAN DER WERF J.H.J., 1993. Impact of heterogeneous within herd variances on dairy cattle breeding schemes: a simulation study. Livest. Prod. Sci. 33: 31-41.

MEUWISSEN T.H.E., JONG G., DE ENGEL B., 1996. Joint estimation of breeding values and heterogeneous variances of large data files. J. Dairy Sci. 79: 310-316.

PASMAN E., REINHARDT F., 1999. Genetic evaluation for length of productive life of Holstein cattle in Germany. Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle-Longevity-. Interbull Jouy-en-Josas, France. Interbull Bull. 21: 55-59

PENA J., IBÁÑEZ M.A., CARABAÑO M.J., 2001. New genetic parameters for national evaluations of production traits in Spanish Holsteins excluding selected base animals from the estimation of genetic variance. Interbull Bull. No. 26: 18-26

PENA J., 2002. Heterogeneous variance adjustment for production traits in Spanish Holsteins. Interbull Annual Meeting. Interlaaken (Suiza). 26-27 mayo, 2002.

PLETCHER S.D., GEYER C.J., 1999. The genetic analysis of age-dependent traits: Modelling the character process. Genetics: 151: 825-835.

PTAK E., SCHAEFFER L.R.. 1993. Use of test day yields for genetic evaluation of dairy sires and cows. Livest. Prod. Sci. 34: 23-34

REENTS R., JAMROZIK J., SCHAEFFER L.R., DEKKERS J.C.M., 1995a. Estimation of genetic parameters for test day records of somatic cell score. J. Dairy Sci. 78: 2847-2857.

REENTS R., DEKKERS J.C.M., SCHAEFFER L.R., 1995b. Genetic evaluation for somatic cell score with a test day model for multiple lactations. J. Dairy Sci. 78: 2858-2870.

REKAYA R., BÉJAR F., ALENDA R., CARABAÑO M.J., 1996. La nueva metodología de extensión de la lactación. Frisona Española. 94: 33-41.

REKAYA R., CARABAÑO M.J., TORO M.A., 1999. Use of test day yields for the genetic evaluation of production traits in Holstein-Friesian cattle. Livest. Prod. Sci. 57: 203-217.

REKAYA R., CARABAÑO M.J., TORO M.A., 2000. Bayesian analysis of lactation curves of Holstein-Friesian cattle using a nonlinear model. J. Dairy Sci. 83: 2691-2701.

ROBERT C.B., DUCROCQ V.P., FOULLEY J.L., 1997. Heterogeneity of variance for type traits in the Montbéliarde cattle. Genet. Sel. Evol. 29: 545-570.

ROBERT-GRANIÉ C., BONAÏTI B., BOICHARD D., BARBAT A., 1999. Accounting for variance heterogeneity in French dairy cattle genetic evaluation. Livet. Prod. Sci. 60: 343-357.

SCHAEFFER L.R. 1994. Multiple country comparison of dairy sires. J. Dairy Sci. 77: 2671-2678.

SCHAEFFER L.R., DEKKERS J.C.M., 1994. Random regression in animal models for test-day production in dairy cattle. Proc. 5th World Congr. Genet. Appl. Livest. Prod., Guelph, vol. 18: 443-446.

SIGURDSSON A., BANOS G., PHILIPSSON J., 1996. Estimation of genetic (co)variance components for international evaluation of dairy bulls. Acta Agric. Scand. Sect. A 46: 129-136.

STRANDBERG E., SÖLKNER J., 1996. Breeding for longevity and survival in dairy cattle. Proceedings International Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle. Interbull Gembloux, Belgium. Interbull Bull. 12: 111-119.

VANRADEN P.M., KLAASKATE, E.J.H., 1993. Genetic Evaluation of lenght of productive life including predicted longevity of live cows. J. Dairy Sci. 76: 2758-2764.

VARONA L., MORENO L.A., GARCÍA CORTES L.A., ALTARRIBA J., 1998. Bayesian analysis of Woodd's curve for Spanish dairy cows. J. Dairy Sci. 81: 1469-1478.

VINSON W.E., 1987. Potential bias in genetic evaluation from differences in variation within herds. J. Dairy Sci. 70: 2450-2455.

WEIGEL K.A., GIANOLA D., 1993. A computationally simple bayesian method for estimation of heterogeneous within-herd phenotypic variances. J. Dairy Sci. 76: 1455-1465.

WEIGEL K.A., LAWLOR T.J., 1994. Adjustment for heterogenous variance in genetic evaluations for conformation of United States Holsteins. J. Dairy Sci. 77: 1691-1701.

WIGGANS G.R., VAN RADEN P.M., 1991. Method and effect of adjustment for heterogeneous variance. J. Dairy Sci. 74: 4350-4347.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 102-117

SITUACIÓN ACTUAL DE LOS PROGRAMAS DE MEJORA GENÉTICA EN OVINO DE LECHE

E. Ugarte*, M. Serrano, L.F. De la Fuente***, M.D. Pérez-Guzmán****, L. Alfonso*****, J.P. Gutiérrez********

* NEIKER, A.B., Granja Modelo de Arkaute, Apdo. 46, 01080 Vitoria-Gasteiz, España

** INIA, Dpto. de mejora genética animal, Carretera de La Coruña, km. 7,5, 28040 Madrid, España

*** Universidad de León, Dpto. de Producción Animal, 24071 León, España

**** CERSYRA, Avda. del Vino, 2, 13300 Valdepeñas, Ciudad Real, España

***** Univ. Pública de Navarra, Dpto. de Producción Agraria, Campus de Arrosadía, 31006 Pamplona, España

****** Univ. Complutense de Madrid, Facultad de Veterinaria, Dpto. de Producción Animal, 28040 Madrid, España

RESUMEN

Se presenta una revisión de los programas de mejora genética en ovino de leche. En la mayor parte de los casos la explotación de esta especie se ha basado en razas autóctonas adaptadas a sus zonas y sistemas de explotación. Los programas de mejora genética son, en todos los casos, programas de selección en raza pura. En este trabajo se describen sus programas de control lechero, el uso de la inseminación artificial, las evaluaciones genéticas y los objetivos y criterios de selección. Se presentan también los nuevos caracteres de interés dentro de los programas de ovino de leche, concretamente la morfología mamaria y el recuento de células somáticas. El uso de nuevas tecnologías de tipo reproductivo y/o molecular es hoy en día muy limitado en esta especie.

Palabras clave: Ovino leche, Mejora genética, Selección, Revisión.

SUMMARY
CURRENT STATE OF BREEDING DAIRY SHEEP PROGRAMS

Review about dairy sheep breeding programs. Traditionally, dairy sheep production has been closely related to native breeds very adapted to local aerea and production systems. All breeding programs are based on pure breed selection. This work shows milking recording programs, use of artificial insemination, genetic evaluations and selection objectives and criteria. The situation of new traits (udder morphology and somatic cell count) is also described. Nowadays, the use of new reproductive and/or molecular techniques is very low.

Key words: Dairy sheep, Genetic improvement, Breeding, Review.

Introducción

La importancia económica del ovino de leche es limitada. Así, la producción de leche de ovino apenas supone el 2% de la producción total de leche (FAO, 2001). Es el área mediterránea (sur y este de Europa y norte de Africa) donde se concentra de forma más importante esta actividad ganadera llegándose a producir en esta región el 60% de la producción total de leche de oveja. Dentro de Europa es Italia el país que destaca como productor de leche de ovino seguido por Grecia, Rumania y España en cuarto lugar. En España la producción de leche de ovino alcanza el 4% de la producción total de leche concentrándose el 97% de esa producción en cuatro Comunidades Autónomas: Castilla y León, Castilla-La Mancha, País Vasco y Navarra. Aunque no existen censos oficiales que permitan conocer de forma exacta el número de cabezas, se calcula que hoy en día existen en España aproximadamente 5 millones de cabezas de ovino destinadas a la producción de leche (UGARTE *et al.*, 2001a).

En general, la producción de ovino de leche se ha basado en razas autóctonas muy bien adaptadas a sus respectivas zonas de origen. Este el caso en España de la raza Manchega en Castilla-La Mancha, las razas Churra y Castellana en Castilla y León o las raza Latxa y Carranzana en el País Vasco y Navarra. Lo mismo sucede en Francia con la raza Lacaune en la zona de Roquefort o con la raza Corsa en la isla de Córcega y en Italia con la raza Sarda en Cerdeña. Tradicionalmente, este sector ha ocupado zonas desfavorecidas aprovechando recursos naturales no utilizados por otras especies. Esto ha contribuido al mantenimiento del paisaje y del equilibrio ecológico así como al mantenimiento de la población y de actividad económica en zonas rurales. Estos aspectos confieren al ovino de leche valores de tipo social y ecológico que son difícilmente valorables.

El ovino de leche tiene una serie de particularidades que condicionan la puesta en marcha y los resultados que se obtienen a través de un programa de mejora genética. Una de ellas es que, en la mayoría de los casos, tiene producciones estacionarias. Ello es consecuencia del anoestro reproductivo que presentan. Otra particularidad es el hecho de que, también en la mayoría de los casos, existe un periodo variable de amamantamiento del cordero que hace que el control de producciones no pueda iniciarse hasta que dicho periodo concluya. Por otro lado, las características fisiológicas y biológicas de las ovejas limitan de forma importante el uso de la inseminación artificial y la monta natural adquiere un papel muy importante como medio reproductivo y como medio de difusión de la mejora genética.

A diferencia del vacuno de leche en el que la raza Holstein o Frisona se ha extendido por todo el mundo, en el ovino de leche hoy en día todavía se mantienen una gran variedad de razas productivas. Ello puede deberse, entre otras, a la siguientes causas: la buena adaptación de las razas locales al propio sistema de producción, a la implantación en las mismas de programas de selección que han permitido incrementar sus producciones, a las dificultades de las razas foráneas para adaptarse a dichos sistemas y al hecho de que en muchos casos la producción de la raza local va unida a determinadas marcas de calidad tanto en el caso del queso como en el del cordero. Sin embargo, en muchos casos, y concretamente en España, la superioridad productiva de razas foráneas como la Lacaune, Assaf o Awasi es indiscutible aunque la explotación de dichas razas suponga un cambio en los sistemas de producción tradicionales hacia sistemas de producción más intensivos que harían per-

der esos valores de tipo ecológico y social de los que hemos hablado anteriormente. Se calcula que actualmente en España, el 45% del ovino de leche pertenece a razas foráneas y a sus cruces (UGARTE *et al.*, 2001a)

En España existen consolidados 3 programas de mejora genética de ovino de leche. Son los relacionados con las razas Manchega, Churra y Latxa y Carranzana. Pero además, es inevitable hablar de los núcleos formados por las razas extranjeras (Assaf y Lacaune) que de forma incipiente pero con gran fuerza están comenzando a trabajar en el control de rendimientos y están iniciando los primeros pasos para implantar un programa de mejora genética. En este trabajo se presenta una perspectiva general de la situación de ellos y se comparará la misma con la situación de otras razas europeas de ovino lechero. Para ello se abordarán los pilares fundamentales de los programas de mejora genética (control lechero, inseminación artificial y evaluación genética de los animales). Asimismo, se abordarán aspectos como la introducción de nuevos caracteres en los esquemas de selección y el uso de nuevas tecnologías reproductivas y moleculares.

Control lechero

En el cuadro 1 se muestran datos sobre el tamaño poblacional y el censo en control lechero de diferentes razas de ovino lechero.

Cuadro 1. Censos de distintas razas de ovino lechero
Table 1. Population size of different dairy sheep breeds

Raza	País	Tamaño poblacional	Rebaños en control	Población en control	% en control	Producción media (días)
Assaf y Awassi	Israel	46.200	17	10.950	23,7	320 530
Churra	España	750.000	72	27.150	3,6	119 (120)*
Manchega	España	950.000	100	38.844	4,2	153 (120)*
Latxa Cara rubia	España	160.800	61	21.695	13,5	126 (120)*
Latxa Cara negra	España	277.400	166	61.747	22,3	126 (120)*
Lacaune	Francia	825.000	384	165.932	20,1	270 (165)**
Manech Basque-Bearnesa	Francia	470.000	352	98.673	21	125 (141)
Corsa	Francia	100.000	71	16.942	16,9	108 (170)**
Sarda	Italia	4.700.000	1168	195.610	4,2	193**
Comisana	Italia	750.000	724	101.220	13,5	176**
Valle del Belice	Italia	60.000	365	48.229	80,4	188**
Karagouniki	Grecia	210.000	258	17.750	8,5	
Lesvos	Grecia	180.000	94	10.300	5,7	

(*) Leche producida.
(**) Leche ordeñada.
Fuente: Astruc y Barillet, 2000.

Destacan claramente las producciones obtenidas por las razas Assaf y Awassi. Razas como la Lacaune o Sarda también obtienen producciones altas aunque sin llegar a los niveles de las primeras y son las razas autóctonas españolas las que presentan unas medias inferiores (entre 1 y 1,2 l/día). Estos datos concuerdan con las producciones controladas de estas razas foráneas en España. Así, el núcleo de Lacaune de Navarra (4000 ovejas y 6 explotaciones) tiene unas producciones medias de 266 litros en 120 días (ALFONSO, comunicación personal). Los datos aportados por diversos núcleos de raza Assaf como Asovino, Calpor, Camporreal, Cogala, Covisurle, Santa María del Páramo, Diputación de León, Diputación de Valladolid, Astega, Tol, etc. que reúnen un total de 410.000 ovejas Assaf, 86.000 de ellas en control no oficial, indican producciones muy dispares que se sitúan entre los 154 litros en 120 días de lactación y los 410 litros en 220 días. Aunque estas producciones superan las producciones medias de las razas autóctonas están lejos de las medias que presentan dichas razas en los países de origen. Sin embargo, estos datos deben de tomarse de forma orientativa ya que, como se ha mencionado, dichos núcleos no disponen de control lechero oficial y además, hay que tener en cuenta que los mismos no están formados en su totalidad por animales en raza pura existiendo un alto grado de cruzamiento (UGARTE *et al.*, 2001a) y que hasta hace pocos años tampoco disponían de dirección y asesoramiento técnico.

En cuanto a la metodología utilizada para realizar el control lechero en Francia utilizan la metodología AC que supone el control mensual de uno de los ordeños del rebaño (siempre el mismo) y la corrección por la cantidad de leche que ha obtenido el rebaño en el día de control. En España se utiliza tanto la AT (se controla mensualmente de forma alternada uno de los dos ordeños del rebaño) como la AC, en Grecia la AC mientras que en Italia utilizan la AT, la AC y la A4 (se controlan mensualmente los dos ordeños del rebaño). Es Israel el único país que utiliza la metodología B4.

Inseminacion artificial

A diferencia del vacuno de leche donde la inseminación se utiliza como técnica reproductiva, en ovino de leche esta técnica se usa fundamentalmente como difusor de genes mejorantes y para el testaje de machos. El cuadro 2 muestra el número de inseminaciones que se realizan en aquellas razas que tiene un esquema de selección implementado

Los núcleos españoles de Assaf y Lacaune también utilizan la inseminación artificial. Concretamente, en el núcleo de la Lacaune el porcentaje de hembras inseminadas se sitúa en torno al 40% (ALFONSO, comunicación personal) mientras que en los núcleo de Assaf ese porcentaje se sitúa en torno al 21% (DE LA FUENTE, comunicación personal)

El uso de la inseminación como elemento de difusión genética es muy importante en ovino lechero donde la fertilidad media en inseminación artificial está en torno al 50%. Esto condiciona de forma importante el grado de conocimiento que se pueda tener sobre la genealogía ya que incide sobre el porcentaje de hembras de reposición de las que se conoce la paternidad influyendo en la estimación de los valores genéticos y en la de los componentes de varianza. Concretamente, en la raza Latxa este porcentaje se sitúa en torno al 37% (ARRESE, 2001) y es del 28% (DE LA FUENTE, 2000) y del 27% (PÉREZ-GUZMÁN, comunicación personal) en las razas Churra y Manchega respectivamente.

Cuadro 2. Uso de la Inseminación artificial en diferentes razas
Table 2. Use of artificial insemination in different breeds

Raza	País	Año de inicio	Inseminaciones	Porcentaje sobre el censo en control
Lacaune	Francia	1968	135.000	81
Manech	Francia	1977	53.000	54
Corsa	Francia	1992	5.200	31
Sarda	Italia	1986	23.100	12
Manchega	España	1988	22.437*	58
Churra	España	1985	9.988	32
Latxa	España	1985	21.422	24
Assaf	Israel	1980	70.000**	50

(*) datos del año 2001.
(**) datos obtenidos teniendo en cuenta 2 inseminaciones en cada aplicación y 1,2 inseminaciones al año.
Fuente: ASTRUC y BARILLET, 2000. Inseminaciones correspondiente al año 1999.

Evaluación genética

Clásicamente, en los programas de selección de ovino lechero el objetivo de selección ha sido el incremento de la producción de leche por oveja y para ello se ha utilizado como criterio de selección una medida estandarizada de dicho carácter. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la mayor parte de la producción de leche de oveja se destina a la producción de queso y que en este proceso los contenidos de la leche son muy importantes y además, que las centrales están incluyendo los componentes de la leche al establecer el precio de la misma. Estos hechos, unido a la existencia de una correlación genética negativa entre la cantidad de leche y los contenidos de la misma, han influido para que algunos esquemas incluyan dichos contenidos dentro del criterio de selección. Este es el caso de la razas Lacaune y Churra. Otras razas como la Manchega no incluyen estos caracteres dentro del criterio de selección aunque si realizan las valoraciones genéticas correspondientes y dicha información puede ser utilizada. En las otras razas, aunque se realice un control cualitativo éste no se realiza sobre el total de la población (ASTRUC y BARILLET, 2000).

Para la predicción de los valores genéticos, se utiliza en todos los casos la metodología BLUP aplicando un modelo animal con medidas repetidas (ASTRUC y BARILLET, 2000). También en todos los casos se tienen en cuenta dentro del modelo los siguiente efectos fijos aunque no siempre de la misma forma: longitud de la lactación, rebaño-año, edad y número de parto, mes de parto, número de corderos nacidos e intervalo entre el parto y primer control.

Los programas de mejora genética están dando buenos resultados obteniendo progresos genéticos anuales de entre 1 y 2 litros para el caso de las razas Churra y Manchega, entre 2 y 3 para las razas Sarda y Latxa y de más de 6 litros en el caso de la Lacaune. Aunque en la mayoría de los casos los resultados fenotípicos han sido parejos, esto no ha ocurrido siempre. Este es el caso de la raza Sarda donde los progresos fenotípicos han sido

mucho menores (SANNA *et al*, 2000) como consecuencia de una situación económica desfavorable para la producción de leche.

En cuanto a los parámetros genéticos para producción de leche y porcentajes de grasa y de proteína, los mismos se pueden ver en el cuadro 3.

Se puede observar que en general, las heredabilidades son medias para los caracteres de producción y altas para los caracteres de composición aunque llama la atención que en las razas españolas las heredabilidades correspondientes para estos caracteres son claramente inferiores. También es inferior la heredabilidad para producción de leche estimada en el núcleo de raza Assaf de Camporreal que es de 0,15 (GUTIÉRREZ, comunicación personal). Estas bajas estimas podrían deberse a la existencia de una mayor variabilidad asociada al método de estimación de la media lactacional que se basa en muestreos parciales a lo largo de la lactación. Sin embargo, esta metodología también se utiliza en las razas foráneas y no presentan estos valores tan bajos. Otra razón podría ser la existencia de una mayor variabilidad asociada a la propia toma de muestra o al sistema de producción

Las mismas fuentes indican que las correlaciones genéticas entre producción de leche y cantidad de grasa y proteína son positivas y cercanas a uno siendo negativas las correlaciones entre producción de leche y porcentajes de grasa y proteína. En el caso de las correlaciones genéticas, la variabilidad observada es mucho mayor que la observada en el caso de las heredabilidades pudiéndose encontrar correlaciones que oscilan entre –0,27 y –0,63 entre el porcentaje de grasa y producción de leche y entre –0,32 y –0,53 entre porcentaje de proteína y producción de leche.

Cuadro 3. Estimas de heredabilidades para producción de leche, kg. de grasa, kg. de proteína y porcentajes de grasa y proteína para diferentes razas europeas de ovino de leche
Table 3. Heritability estimates for milk production, fat kg, protein kg, and fat and protein percentages in different European dairy sheep breeds

Raza	Leche	Kg. de grasa	Kg. de proteína	% de grasa	% de proteína	Fuente
Manchega	0,33			0,23	0,35	SERRANO *et al.*, 1996
Manchega	0,28			0,23	0,35	JURADO *et al.*, 1997
Lacaune	0,32	0,28	0,27	0,49	0,47	BARILLET y BOICHARD, 1987
Lacaune	0,30	0,28	0,29	0,35	0,46	BARILLET, 1997
Sarda	0,30	0,24	0,26	0,48	0,55	SANNA *et al.*, 1997
Latxa	0,21					UGARTE *et al.*, 1996
Latxa	0,20	0,16	0,18	0,14	0,38	LEGARRA y UGARTE, 2001
Latxa	0,21					
	0,19	0,17	0,18	0,17	0,47	LEGARRA, 2002
Manech	0,35	0,32	0,35	0,31	0,48	SICA_CREOM, 1999
Churra	0,24				0,17	EL-SAIED y col., 1999
Churra	0,23			0,08	0,28	OTHMANE, 2000

Otros caracteres

La producción de leche es uno de los aspectos más importantes en la rentabilidad económica de las explotaciones de ovino de leche (GABIÑA *et al.*, 2000) y por ello, como se ha indicado anteriormente, en los programas de selección se trabaja fundamentalmente sobre producción de leche y, en algunos casos, sobre composición de la misma. Sin embargo, existen otro tipo de caracteres que están adquiriendo una importancia creciente dentro de dichos programas. Entre ellos cabe destacar los relacionados con la morfología de la ubre y el recuento de células somáticas (RCS).

Morfología de ubre

El interés de los caracteres de morfología mamaria se basa fundamentalmente en su relación con el ordeño y aunque estos caracteres han adquirido especial importancia en los últimos años, los primeros trabajos sobre el tema se remontan a la década de los 80 (LABUSSIÈRE, 1983, 1988). La generalización del uso de máquinas de ordeño (MARIE-ETANCELIN *et al.*, 2001; UGARTE *et al.*, 2001b) ha influido en el interés de los esquemas de selección en ovino de leche sobre estos caracteres. El hecho de poder disponer de un sistema de calificación lineal (DE LA FUENTE *et al.*, 1996) que permite su aplicación dentro de una rutina de control salvando los problemas que planteaban otro tipo de sistemas de calificación definidos con anterioridad basados en medidas métricas (LABUSSIÈRE *et al.*, 1981) ha permitido que numerosos equipos comiencen a trabajar sobre este carácter. Además del interés que puede existir en obtener ubres adecuadas al ordeño mecánico y que no distorsionen la rutina de ordeño, la morfología mamaria tiene interés por la relación que puede presentar con las características de la cinética de ordeño (velocidad de ordeño, tiempo de latencia, etc.). Estudios realizados en la raza Lacaune indican que dicha relación es escasa (MARIE *et al.*, 1999) y en cambio muestran que la selección para producción de leche mejora las características de cinética de ordeño. Otros aspectos que pueden estar relacionados con la morfología mamaria aunque apenas han sido estudiados en ovino lechero serían la sanidad de la ubre (resistencia a mastitis) o la longevidad funcional. En relación a la resistencia a mastitis medida a través del recuento de células somáticas, estudios realizados en la oveja de raza churra (FERNÁNDEZ *et al.*, 1997) no encontraron ningún tipo de relación entre estas características.

Las razas que actualmente trabajan sobre morfología mamaria utilizan la escala definida por DE LA FUENTE *et al.* (1996) aunque las metodologías utilizadas en los diferentes países no son exactamente iguales (MARIE-ETANCELIN *et al.*, 2001). En el gráfico 1 se observan las diferencias existentes entre las escalas utilizadas en los diferentes países. Las estimas de heredabilidad obtenidas para estos caracteres en diferentes razas se observan en el cuadro 4.

Aunque existe una gran variabilidad, se observa que en general, las heredabilidades son medias. Las diferencias apreciadas entre las diferentes estimas probablemente están asociadas a la subjetividad de la escala, a las diferencias existentes entre las metodologías de calificación y, evidentemente, a las diferencias en la morfología mamaria de las razas. En cuanto a las correlaciones genéticas con producción de leche, la profundidad presenta una correlación positiva y variable (entre 0,38 y 0,82), la inserción de ubre y el tamaño del pezón presentan correlaciones en torno a cero, la posición del pezón nulas o negativas (entre 0,01 y –0,39), y por último, el surco intramario también presenta correlaciones en torno a cero.

Cuadro 4. Heredabilidades obtenidas para los caracteres de morfología mamaria en diferentes razas europeas de ovino lechero

Table 4. Heritability estimates for udder morphology traits in different European dairy sheep breeds

Raza de ubre	Profundidad de ubre	Inserción de pezón	Posición de pezón	Tamaño intra-mamario	Surco	Fuente
Churra	0,16	0,17	0,24	0,18		FERNÁNDEZ *et al.*, 1997
Churra	0,18	0,19	0,29	0,20		DE LA FUENTE, 2000
Manchega	0,19	0,06	0,20	0,10		SERRANO *et al.*, 2002a
Lacaune	0.32		0,49		0,55	MARIE-ETANCELIN *et al.*, 2001
Sarda	0,26	0,27	0,37		0,20	CARTA *et al.*, 2001
Latxa	0,23	0,20	0,40	0,36		LEGARRA, 2002
Latxa	0,23	0,23	0,37	0,35		UGARTE *et al.*, 2001b

Hoy en día los programas de selección de ovino de leche están controlando y estudiando estos caracteres pero no son considerados como prioritarios y como tal no se contempla la inclusión de los mismos en el criterio de selección de los diferentes esquemas. Si embargo, si se considera de gran interés el control de su evolución como consecuencia de los progresos obtenidos para leche o el estudio de las relaciones que dichos caracteres presentan con otros de mayor interés como pueden ser la mastitis o la longevidad funcional, etc.

Recuento de células somáticas

El recuento de células somáticas (RCS) ha sido frecuentemente usado en programas de mejora en vacuno cómo criterio para mejorar la resistencia a la mastitis aunque la relación genética entre ambos caracteres (BANOS y SHOOK, 1990; MRODE y SWANSON, 1996, RUPP y BOICHARD, 1999) no indica que sean exactamente el mismo carácter. La relación entre ambos caracteres ha sido todavía mucho menos estudiada en ovino de leche debido fundamentalmente a que existen pocos datos recogidos sobre mastitis y también debido al hecho de que las mastitis clínicas presentan una incidencia en torno al 5% (BARILLET *et al.*, 2001), menor que en vacuno donde la incidencia está se sitúa el 20 y el 40% (MRODE y SWANSON, 1996; RUPP y BOICHARD, 1999). Los trabajos realizados en este campo (MAVROGENIS *et al.*, 1999; BARILLET *et al.*, 2001) sugieren que también en ovino de leche es posible realizar una selección contra mamitis utilizando como indicador el recuento de células somáticas. Aunque es habitual el uso de una media lactacional, los trabajos realizados en este sentido (SERRANO *et al.*, 2002b; BARILLET *et al.*, 2001; EL-SAIED *et al.*, 1998) indican la conveniencia de trabajar con los modelos que contemplan los datos control a control en lugar de una media lactacional.

El siguiente cuadro (cuadro 5) muestra los valores de heredabilidad encontrados para el recuento de células somáticas en diferentes razas.

Se observa que las heredabilidades estimadas para RCS son bajas. También han

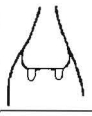
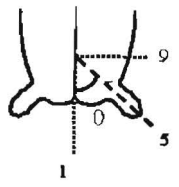
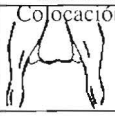
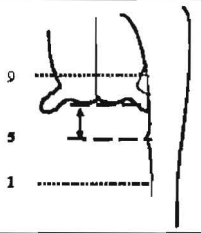
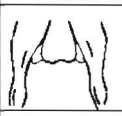
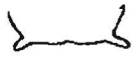
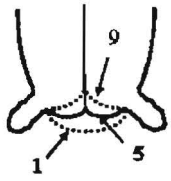
	ESPAÑA DE LA FUENTE *et al.*, 1996		FRANCIA MARIE *et al.*, 1999	ITALIA CASU *et al.*, 2000	
POSICIÓN DE PEZÓN		9			1
		1			9
	Colocación de pezón		**Ángulo**	**Altura a la cisterna**	
PROFUNDIDAD DE UBRE		1			9
		9			1
	Altura repecto al suelo		**Distancia al corvejón**	**Distancia al corvejón**	
INSERCIÓN DE UBRE		9	X		9
		1			1
	Perímetro de inserción			**Relación altura / perímetro**	
SURCO INTRAMAMARIO	X				9
					1
			Surco	**Separación de mamas**	
TAMAÑO DE PEZÓN		1	X	X	
		9			
	Tamaño				

Figura 1. Diferencias entre los sistemas de calificación mamaria utilizados en España, Francia e Italia
Figure 1. Differences between the udder evaluation systems used in Spain, France and Italy

Cuadro 5: Estimas de heredabilidades para recuento de células somáticas obtenidos en diferentes razas europeas de ovino de leche

Table 5. Heritability estimates for somatic cell count in different European dairy sheep breeds

Raza	RCS (media lactacional)	RCS (test-day)	Fuente
Lacaune	0,15	0,08 (0,04-0,11)	BARILLET *et al.*, 2001
	0,11-0,23		RUPP *et al.*, 2001
Churra		0,08	EL SAIED *et al.*, 1998
		0,04	EL SAIED *et al.*, 1998
		0,11	OTHMANE, 2000
	0,12		BARO *et al.*, 1994
Manchega	0,04		SERRANO *et al.*, 2002b
Latxa	0,10		UGARTE y LEGARRA, 2002

sido estimadas las correlaciones genéticas con producción de leche mostrando una gran variabilidad que oscila entre –0,11 y 0,16. Hoy en día ningún programa de mejora genética en ovino de leche tiene en cuenta este carácter en el criterio de selección. Sin embargo, este dato resulta de gran interés ya que por un lado, las centrales lecheras tienen en cuenta el nivel de RCS cuando establecen el precio del litro de leche y por otro, esta información resulta de gran interés para el ganadero ya que dicha información es utilizada para detectar ovejas con posibles mamitis subclínicas. Además, es de prever que la Comunidad Económica Europea establezca en breve un umbral mínimo como indicador de la calidad higiénica de la leche de ovino y caprino de la misma forma que lo hay para la leche de vacuno. En este sentido, en EE.UU. existen ya esos umbrales que en el caso del ovino se sitúan en 75.0000 cel/ml (PAAPE *et al.*, 2001)

Eficiencia alimentaria

Este carácter ha sido abordado de forma muy puntual desde el punto de vista genético a pesar de que el beneficio económico que puede aportar un animal se basa tanto en la cantidad de leche que puede producir como en su eficiencia alimentaria. Este hecho se debe principalmente a que este carácter resulta de muy difícil medida en un número elevado de animales. Estudios realizados en la raza Lacaune en un rebaño experimental durante 4 años muestran que la línea seleccionada para alta producción que produce un 22% más de leche que la línea seleccionada para baja producción mejora también la eficiencia alimentaria mostrando que la selección para una mayor producción de leche produce también un mayor beneficio por animal. (BARILLET *et al.*, 2001).

Resistencia a enfermedades

Resistencia a parásitos

La forma tradicional de luchar contra enfermedades provocadas por parásitos ha sido la limpieza de pastos (donde se acumulan las heces y en ellas los huevos transmisores de la enfermedad) o el tratamiento de los animales con productos antiparasitarios.

El uso y limpieza controlada de los pastos no siempre es posible ya que depende de la disponibilidad que tengan los ganaderos de los mismos y el uso generalizado de antiparasitarios además de ser económicamente costoso lleva asociado un aumento de la resistencia de los parásitos a dichos productos. Clásicamente, este carácter se ha medido a través de la carga parasitaria que presentan los animales medida como el número de huevos excretados con las heces (PÉREZ *et al.*, 2002). Investigaciones realizadas en Nueva Zelanda (MORRIS *et al.*, 1998) y Australia (WOOLASTON y WINDON, 2001) han demostrado que la resistencia a nematodos tiene un control genético con heredabilidades en torno a 0,30 y que la correlación genética con caracteres productivos es cercana a 0. Existen también trabajos que demuestran que puede reducirse el número de parásitos a través de programas de selección (NIEUWHOF y EVANS, 2002).

Este problema también ha sido abordado tratando de buscar directamente los genes que están implicados en la resistencia o susceptibilidad. En la actualidad, la resistencia genética a parásitos se asocia a un carácter poligénico del que entra a formar parte un antígeno linfocitario del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC) trasmisible genéticamente. En ovino el MHC se conoce como sistema OLA (Ovine Limphocye Antigen) o *Mhc-Ovar* y se conoce que dicho sistema está situado en el cromosoma 20. En este sentido, la mayor parte de los trabajos genéticos han ido encaminados a detectar asociaciones entre determinados alelos y la resistencia a parásitos y se han obtenido resultados muy alentadores (CRAWFORD *et al.*, 1997; COLTMAN *et al.*, 2001).

A pesar de las posibilidades existentes para trabajar sobre este carácter desde un punto de vista genético, hoy en día, los programas de ovino lechero no contemplan el mismo dentro de sus esquemas de selección

Resistencia al Scrapie

La resistencia genética al Scrapie está relacionada con el polimorfismo del gen PrP. Esta asociación se ha demostrado tanto a nivel experimental (GOLDMANN *et al.*, 1991) como en poblaciones naturales del Reino Unido (HUNTER *et al.*, 1994), Holanda (BELT *et al.*, 1995) y Francia (CLOUSCARD *et al.*, 1995). Concretamente, la resistencia/susceptibilidad al Scrapie viene asociada al polimorfismo del gen en 3 codones: el codón 136, el 154 y el 171. Esta asociación plantea nuevas alternativas frente a la alternativa clásica del sacrificio de animales como método para erradicar la enfermedad. Por ejemplo, en Francia en el año 2001 se puso en marcha un programa nacional que incluye a todas las razas de ovino (tanto de aptitud cárnica como lechera) con 4 objetivos: erradicación del alelo hipersensible, producción de machos homocigotos resistentes para ser usados como machos de monta natural, selección a favor del alelo resistente en todos los programas de mejora genética como un objetivo adicional y generalización del uso de machos homocigotos resistentes en rebaños comerciales (FRANCOIS *et al.*, 2002). En España, ningún programa de ovino de leche ha introducido este objetivo dentro del esquema de selección aunque, por ejemplo, en la raza Latxa, se genotipan los machos de IA (SANZ *et al.*, 2001). Sin embargo, queda por analizar el efecto que la puesta en marcha de un programa similar al de Francia puede tener sobre el progreso genético para la producción de leche. Los primeros estudios realizados en Francia parecen indicar que no existe efecto negativo (BARILLET *et al.*, 2002b). En este sentido, en

España se ha presentado a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) un proyecto coordinado entre la mayor parte de las razas de ovino que tiene como objetivo además de conocer la estructura genética de las poblaciones para este carácter conocer cómo pueden afectar al progreso para leche las diferentes estrategias de lucha genética contra el Scrapie y, en su caso, determinar cual puede ser la estrategia óptima en cada raza. Además, es necesario comprobar que el incremento de la frecuencia del alelo resistente no causa efectos no deseados en otros caracteres debido tanto a un efecto directo del propio gen como a un efecto de ligamiento entre genes.

Uso de nuevas tecnologías reproductivas

La inseminación artificial vía cervical con semen refrigerado es la técnica reproductiva más ampliamente utilizada en ovino de leche. En la inseminación artificial intrauterina la necesidad de una operación quirúrgica para poder obtener resultados aceptables con el semen congelado limita de forma importante el uso de esta técnica aunque en algunos casos, como el caso de la raza Churra en España, es el método más utilizado.

Las técnicas de superovulación y transplante de embriones que están puestas a punto en la mayoría de las razas no se están utilizando de forma rutinaria dentro de los programas de selección. Y lo mismo cabe decir de técnicas como el sexaje del semen que está ya desarrollada y que se ha demostrado que da lugar a corderos normales.

En cuanto a la producción de animales transgénicos y/o clónicos esta técnica está siento investigada a nivel experimental. Hoy por hoy no se plantea su uso en programas de mejora genética.

Uso de técnicas moleculares

La aparición y desarrollo de las técnicas moleculares, especialmente de la PCR, y la aparición de los microsatélites como marcadores polimórficos ha permitido conocer a través de mapas de ligamiento el genoma tanto del ovino como de otras especies ganaderas y ello ha permitido definir regiones cromosómicas que son responsables de una parte de la varianza asociada a un carácter cuantitativo. Dichas regiones se conocen como QTL (Quantitative Trait Loci) y la selección de animales portadores de QTL relacionados con la producción de leche o con la composición de la misma podría convertirse en un arma muy importante dentro de los programas de mejora genética.

Existen dos aproximaciones para lograr localizar estos QTL: a través de mapas de ligamiento o a través de genes candidatos. La primera aproximación se basa en la detección de familias que se encuentren segregando para determinados marcadores. Para la detección de dichos QTLs pueden utilizarse diseños experimentales que crean poblaciones híbridas o utilizar las poblaciones abiertas que están sometidas a un proceso de selección. Actualmente, en ovino de leche, existe un diseño experimental de gran envergadura cruzando las razas Lacaune y Sarda en la que se tratan de buscar QTL no solo para los caracteres de producción de leche sino también para otro numeroso grupo de caracteres como son la resistencia a la mastitis, la morfología mamaria, la velocidad de ordeño, estacionalidad, etc. (BARILLET *et al.*, 2002a). La utilización de poblaciones abiertas para la detección

de QTL tiene, en ovino de leche, muchas limitaciones en comparación con el vacuno de leche ya que en general, son poblaciones de tamaño mucho menor y en las que los programas de selección se han aplicado mucho más tarde. Concretamente en España, las tres razas autóctonas de ovino de leche más importantes tienen planteados proyectos más o menos desarrollados para la búsqueda de QTL y en la raza churra se han obtenido ya unos primeros resultados (DÍAZ-TASCON *et al.*, 2001). El mismo proyecto mencionado anteriormente que busca QTL entre Sarda y Lacaune está investigando sobre genes candidatos aunque hoy por hoy no se han obtenido resultados exitosos.

La utilización de las técnicas moleculares si está generalizada en todas las razas de ovino lechero para realizar el control de paternidades.

Consideraciones finales

La revisión de los programas de mejora genética en ovino de leche muestra que la mayor parte de ellos están basados exclusivamente en la producción de leche. Sin embargo y unido a un cambio de concepción de la producción animal no tan enfocada al aumento de la producción en si misma sino a un aumento de la calidad de los productos, el interés que dichos programas muestran por otros caracteres como la composición de la leche, la morfología mamaria o el recuento de células somáticas va en aumento.

Por otro lado, las particularidades propias del ovino de leche, principalmente el uso limitado de la inseminación artificial y como consecuencia la falta generalizada del conocimiento de la genealogía paterna, condiciona de forma importante los progresos obtenidos en dichos programas. Además, la posible incorporación de diferentes métodos de lucha genética contra el Scrapie dentro de los programas que actualmente se están llevando a cabo, puede condicionar los progresos que se están obteniendo y plantea grandes incertidumbres sobre las estrategias a adoptar

Asimismo, al analizar los programas de ovino lechero llama la atención el mantenimiento de gran variedad de razas locales. Ello no es fácil de entender sin la adaptación que cada raza presenta a su sistema de producción particular y al hecho de que en numerosas ocasiones cada raza está asociada productos (queso y cordero) amparados bajo marcas de calidad que protegen razas, sistemas y zonas geográficas de producción. Sin embargo, y a pesar de ello, las razas mas productoras (Assaf y Lacaune) están extendiéndose con fuerza fuera de sus zonas de origen lo que en muchas ocasiones lleva a cambiar el sistema de producción hacia sistemas más intensivos con las repercusiones que ello tiene a nivel social y medio ambiental.

Por último, la utilización de nuevas tecnologías tanto reproductivas como moleculares es aún muy limitada a pesar de que ofrecen grandes expectativas. A medida que dichas expectativas se vayan confirmando y el coste económico asociado a las mismas sea más accesible, es de esperar que dichas tecnologías se vayan introduciendo en los programas de selección de ovino lechero.

Bibliografía

ARRESE F., 2001. Resultados de la campaña de inseminación 2000 en la CAPV. Jornadas para técnicos y controladores de ovino lechero. Arkaute, 7 Noviembre 2001.

ASTRUC J.M., BARILLET F., 2000. Report of the working group on milk recording of sheep. 32nd bien-

nial session of ICAR. Bled, Slovenia. 14-19 may, 2000

BANOS G., SHOOK G.E., 1990. Genotype by environment interaction and genetic correlations among parities for somatic cell count and milk yield. Journal of dairy Science, 73: 2563-2573.

BARILLET F., 1997. Genetics for milk production. In: The genetics of the sheep. Ed.: L. Piper and A. Ruvinsky. CAB International.

BARILLET F., BOICHARD D., 1987. Studies on dairy production of milking ewes. I- Estimates of genetic parameters for total milk composition and yield. Genetics, Selection, Evolution, 19: 459-474.

BARILLET F., RUPP R., MIGNON-GRASTEAU S., ASTRUC J.M., JACQUIN M., 2001. Genetic analysis for mastitis resistance and milk somatic cell score in French Lacaune dairy sheep. Genetic, Selection, Evolution, 33: 397-415.

BARILLET F., BODIN L., CHEMINEAU P., CHILLIARD Y., CRIBIU E., ELSEN J.M., GRUNER L., LEROUX L., MALPAUX B., MARIE-ETANCELIN C., MARTIN P., SOLLET S., RUPP R., SCHIBLER L., JACQUIET P., PREVOT F., BISHOP S., WALLING C., ARRANZ J.J., BAYÓN Y., DE LA FUENTE L.F., GONZALO C., MAINAR-JAIME R., MEANA A., SAN PRIMITIVO F., ROJO-VÁZQUEZ F.A., CARTA A., CASU S., FRAGHI A., LIGIOS S., MURA L.M., PIREDDA G., SANNA S., SCALA A., STEAR M., KERR A., MITCHELL S., 2002a. QTL detection and candidate genes study for traits related to quality and safety food in the seep (meat and dairy) production within the framework of a research European contract called "genesheepsafety". Proceedings of the meeting of the joint FAO/CIHEAM Network on Sheep and Goats. Subnetwork on Animal Resources. Sassari (Sardegna), Italy. 9-11 may 2002.

BARILLET F., ANDREOLETTI O., PHALHIERE I., AQUERRE X., ARRANZ J.M., MINERY S., SOULAS C., BELLOC J.P., BRIOIS M., FRÉGEAT G., TEINTURIER P., AMIGUES Y., ASTRUC J.M., BOSCHER M.Y., SCHELCHER F., 2002b. Breeding for scrapie resistence using PrP genotyping in the French dairy sheep breeds. Proceeding od the 7th WCGALP. Monteplier.

BARÓ A., CARRIEDO J.A., SAN PRIMITIVO F., 1994. Genetic parameters of test-day measures for somatic cell count, milk yield and protein percentage of milking ewes. Journal of Dairy Science, 77: 2658-2662.

BELT P.B.G.M., MUILEMEAN I.H., SCHEREUDER B.C.E., RUIJTER J., GILEKENS A.L.J., SMITS M.A., 1995. Identification of five allelic variants of the sheep PrP gene and their association with natural Scrapie. Journal of General Virology, 76: 509-517.

CARTA A., CASU S., SANNA S.R., 2001. Genetics aspects of udder morphology in the Sarda breed: relation with milk yield. Proceeding of XIV A.S.P.A. Congress, Firenze.

CASU S., DEIANA S., TOLU S., CARTA A., 2000 . Linear evaluation of udder morphology in sarda dairy sheep: relationship with milk yield. In: Atti VIX Congr. Naz. SIPAOC, 1: 195-198.

CLOUSCARD C., BEAUDRY P., ELSEN J.M., MILAN D., DUSSAUCY M., BPUNNEAU C., SCHELCHER F., VHATELAIN J., LAUNAY J.M., LAPANCHE J.L., 1995. Different allelic effect of the codons 136 and 171 of the prion protein gene in sheep with natural Scrapie. Journal of general virology, 76: 2097-2101.

CRAWFORD A.M., PHUA S.H., MCEWAN J.C., DODDS K.G., WIRGTH C.C., MORRIS C.C., BISSET S.A., GREEN R.S., 1997. Finding disease resistance QTL in sheep. Animal biotechnology, 8: 13-22.

COLTMAN D.W., EILSON K., PILKINGTON J.C., STEAR M.C.J., PEMBERTON J.M., 2001. A microsatellite polymorphism in the gamma interferon gene is associated with resistance to gastrointestinal nematodes in a naturally-parasitized population in Soay sheep. Parasitology, 122: 571-582.

DE LA FUENTE L.F., FERNÁNDEZ G., SAN PRIMITIVO F., 1996. A linear system evaluation for udder traits of dairy ewes. Livestock Production Science, 45: 171-178.

DE LA FUENTE L.F., 2000. Memoria del proyecto docente. Universidad de León.

DÍEZ-TASCÓN C., BAYÓN Y., ARRANZ J.J., DE LA FUENTE L.F., SAN PRIMITIVO F., 2001. Mapping quantitative trait loci for milk production traits on ovine chromosome six. J. Dairy Res. (in press).

EL SAIED U.M., CARRIERO J.A., SAN PRIMITIVO F., 1998. Heritability of test day somatic cell counts and its relationship with milk yield and protein percentage in dairy ewes. J. Dairy Sci. 81: 2956-2961.

EL-SAIED U.M., CARRIEDO J.A., DE LA FUENTE L.F., SAN PRIMITIVO F., 1999. Genetic parameters of lactation cell counts and milk and protein yields in dairy ewes. Journal of Dairy Science, 82: 639-644.

FAO, 2001. FAOSTAT statistical database. URL: http://apps.fao.org/default.htm.

FERNÁNDEZ G., BARÓ A., DE LA FUENTE L.F., SAN PRIMITIVO F., 1997. Genetic parameters for linear udder traits of dairy ewes. Journal of Dairy Science, 80: 601-606.

FRANCOIS D., ELSEN J.M., BARILLET F., LAJOUS D., EYCHENNE F., PALHIERE I., 2002. Breeding for scrapie resistance. Proceedings of the meeting of the joint FAO/CIHEAM Network on Sheep and Goats. Subnetwork on Animal Resources. Sassari (Sardegna), Italy. 9-11 may 2002.

GABIÑA D., UGARTE E., SANTAMARÍA P., 2000. The definition of breeding objectives in the Latxa dairy sheep breed. Cahiers Options Mediterréennes. Serie A, 43: 19-25.

GOLDMANN W., HUNTER N., BENSON G., FOSTER J.D., HOPE J., 1991. Different scrapie.asociated fibril proteins (PrP) are encoded by lines of sheep selected for different alleles of the sip gene. Journal of General Virology, 72: 2411-1471.

HUNTER N., GOLDMANN W., SMITH G., HOPE, J., 1994. The association of a codon 136 PrP gene variant with the concurrence of natural scrapie. Archives of Virology, 137: 171-177.

JURADO J.J., SERRANO M., MONTORO V., PÉREZ-GUZMÁN M.D., 1997. Estimas de componentes de varianza y de respuesta a la selección en la raza ovina manchega mediante muestreo de Gibbs. Investigación Agraria: Producción y Sanidad Animales. Vol 12 (1, 2 y 3). Pp.: 27-40.

LABUSSIÈRE J., 1983. Etude des aptitues laitières et de la facilité de traite des quelques races de brebis de Bassin Méditerranéen. Résultats preliminaires obtenus au 16 mai 1983. III Symposium internacional de ordeño mecánico de pequeños rumiantes. Valladolid, España. 780-803. Editado por Comité español, Servé-Cuesta. Valladolid.

LABUSSIÈRE J., 1988. Review of physiological and anatomical factors influencing the milking ability of ewes and the organisation of milking. Livestock Production Science, 18: 253-274.

LABUSSIÈRE J., DOTCHEWSKI D., COMBAUD J.F., 1981. Caractéristiques morphologiques de la mamelle des brebis Lacaune. Méthodologie por l'obtention des données. Relations avec l'aptitude à la traite. Annales de Zootechinie, 30: 115-136.

LEGARRA A., 2002. Optimización del esquema de mejora de la raza Latxa: análisis del modelo de valoración e introducción de nuevos caracteres en el objetivo de selección. Ph. D. Universidad Pública de Navarra. 169 pp.

LEGARRA A., UGARTE E., 2001. Genetic parameters of milk traits in Latxa dairy sheep. Animal Science, 73: 407-412.

MARIE C., JACQUIN M., AUREL R., PAILLE F., PORTE D., ALTRAN P., BARILLET F., 1999. Déterminisme génétique de la cinétique d'emission du lait selon le potenciel laitier en raca ovino de Lacaune et relations phénotypiques avec la morphologie de la mamelle. Milking and milk production on dairy sheep and goats. Proceeding of the sixth international symposium on the milking of small ruminants. Athens, Greece, EAAP Publication n.º 95: 381-388. Editado por F. Barillet y N. P. Zervas. Wageningen Pers. Wageningen, The Netherlands.

MARIE-ETANCELIN C., CASU S., RUPP R., CARTA A., BARILLET F., 2001. New objectives of selection related to udder health, morphology and milk ability in dairy sheep. Proceeding of the 52nd Annual Meeting of the EAAP. Budapest, Hungary.

MAVROGENIS A.P., KOUMAS A., GAVRIELIDIS G., 1999. The inheritance of somatic cell count (index of mastitis) in chios sheep. Proceeding of the sixth international symposium on the milking of small ruminants. Athens, Greece, 389-392. Editado por F. Barillet y N. P. Zervas. Wageningen Pers. Wageningen, The Netherlands.

MORRIS C.A., BISSET S.S., VLASOFF A., WEST J.C., WHEELER M., 1998. Faecal nematode egg counts in lactation ewes from Romney flocks selectively bred for divergence in lamb faecal count. Animal Science, 67: 283-188.

MRODE J.A., SWANSON G.J.T., 1996. Genetic and statistical properties of somatic cell count and its suitability as an indirect means of reducing the incidence of mastitis in dairy cattle. Animal breeding. Abstract 64: 847-857.

NIEUWHOLF G.J., EVANS J.L., 2002. Inclusions of selection for nematode resistance in britidh sheep reference schemes. Proceedings of the meeting of the joint FAO/CIHEAM Network on Sheep and Goats. Subnetwork on Animal Resources. Sassari (Sardegna), Italy. 9-11 may 2002.

OTHMANE M.H., 2000. Parámetros genéticos de la composición de la leche de oveja y del rendimiento

quesero en laboratorio. Tesis doctoral. Universidad de León.

PAAPE M.J., POUTREL B., CONTRERAS A., MARCO J.C., CAPUCO V., 2001. Milk somatic cells and lactation in small ruminants. Journal of Dairy Science. (E. Suppl.): E237-E244.

PÉREZ J., ROJO F.A., VALCARCEL F., OLMEDA A.S., GARCIA G., CORCHERO J., MEANA A., MAINAR R.C., ÁLVAREZ M.A., 2002. Variabilidad genética y resistencia a parasitosis en los animales.ovis, 80: 75-87.

RUPP R., BOICHARD D., 1999. Genetic parameters for clinical mastitis, somatic cell score, production, udder type traits and milking ease in first lactation Holstein. Journal of Dairy Science, 82: 2194-2204.

RUPP R., LAGRIFFOUL G., ASTRUC J.M., BARILLET F., 2001. Genetic parameters for milk somatic cell count across first three parities and relationships with production traits in French Lacaune dairy sheep. EAAP, Budapest, 2001.

SANNA S.R., CARTA A., CASU S., 1997. Covariance component estimates for milk composition traits in Sarda sheep using a bivariate model. Small Ruminant Research, 25: 77-82.

SANNA S.R., CARTA A., CASU S., 2000. Lo stato attuale dello schema di selezione della pecora di razza Sarda. L'Allevatore di ovini e caprini, n.° 4: p. 1-2

SANZ-PARRA A., BARANDIKA J., BELTRÁN DE HEREDIA I., ARRESE F., HURTADO A., JUSTE R., OPOTO B., GRACIA CRESPO D., GARCÍA-PÉREZ A., 2001. Patrón de resistencia genética al Scrapie en ganado ovino de raza Latxa. ITEA Vol Extra, 22: 66-68.

SERRANO M., PÉREZ-GUZMÁN M.D., MONTORO V., JURADO J., 1996. Genetic parameters estimation and selection progress for milk yields in Manchega sheep. Small Ruminant Research, 23: 51-57.

SERRANO M., PÉREZ-GUZMÁN M.D., MONTORO V., JURADO J.J., 2002a. Genetic analysis of udder traits in Manchega ewes. Livestock Production Science. (En prensa).

SERRANO M., PÉREZ-GUZMÁN M.D., MONTORO V., JURADO J.J., 2002b. Genetic analysis of somatic cell score and other milk traits in several lactations of Manchega ewes. Mean lactation approach. Proceedings of the meeting of the joint FAO/CIHEAM Network on Sheep and Goats. Subnetwork on Animal Resources. Sassari (Sardegna), Italy. 9-11 may 2002.

SICA-CREOM, 1999. Reflexion sur l'integration de la richesse dans le schema de sélection. In: travaux et recherches. Compte rendu d'activité 1998. 83-91. Ed: SICA.-CREOM. SICA-CREOM Pyrénées Atlantiques. Ordiarp, France.

UGARTE E., URARTE E., ARRANZ J., ARRESE F., RODRÍGUEZ C., SILIÓ L., 1996. Genetic parameters and trends for milk production of Blond-faced Latxa sheep using bayesian analysis. Journal of Dairy Science. 79: 2268-2277.

UGARTE E., RUIZ R., GABIÑA D., BELTRÁN DE HEREDIA I., 2001a. Impact of high-yielding foreign breeds on the Spanish dairy sheep industry. Livestock Production Science, 71: 3-10.

UGARTE E., LEGARRA A., BELTRÁN DE HEREDIA I., ARRANZ J., 2001b. Udder morphology: a new trait to introduce in the Latxa breeding program. Proceeding of the 52nd Annual meeting of the EAAP: Budapest, Hungary.

UGARTE E., LEGARRA A., 2002. Scientific background of the selection program in the Latxa breed. Proceedings of the meeting of the joint FAO/CIHEAM Network on Sheep and Goats. Subnetwork on Animal Resources. Sassari (Sardegna), Italy. 9-11 may 2002.

WOOLASTON R.R., WINDON R.G., 2001. Selection of sheep for response to *Trichostronggylus colubriformis* larvae: genetic parameters. Animal Science: 73, 41-48.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 118-139

ESTADO Y NUEVAS DEMANDAS DE LOS PROGRAMAS DE MEJORA DE VACUNO DE CARNE

C. Díaz[*], R. Quintanilla[**]

* INIA, Departamento de Mejora Genética Animal, Ctra. de la Coruña, km 7,5, 28040 Madrid, España
** INRA, Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas cedex, France

RESUMEN

En España, al igual que en otros países, la pasada década ha supuesto el afianzamiento de muchos de los programas de selección de las distintas razas de vacuno de carne. Hasta el momento los esquemas han hecho énfasis en incrementar la cantidad de producto final, seleccionando animales por peso a edades tipo. Sin embargo, las demandas del mercado actual imponen nuevas orientaciones a los objetivos de selección buscando una mayor eficiencia que permita reducir los costes de producción, así como una mayor calidad de producto. Las valoraciones genéticas deben adaptarse al contexto productivo contemplando la vida productiva del animal en su conjunto. Por otro lado la difusión cada vez más internacional de algunas las razas exige el desarrollo de valoraciones genéticas internacionales; con ello se retoman aspectos que, pudiendo ser importantes en los programas nacionales, adquieren ahora especial relevancia en el contexto internacional. Se revisan asimismo distintos aspectos a tener en cuenta para la evaluación y optimización del esquema de selección a corto y largo plazo. Por último, se destaca la utilidad potencial que la información molecular puede tener en el marco de los programas de mejora de vacuno de carne.

Palabras clave: Selección, Vacuno de carne, Objetivos, Valoración genética, Información molecular.

SUMMARY
CURRENT STAGE AND NEW DEMANDS OF THE BEEF CATTLE BREEDING PROGRAMS

In Spain, in the last decade beef cattle breeding programs have achieved a steady state. Up to now, selection programs have focused on increasing the amount of final product through the selection of animals according to weights at different ages. However, new market demands require new breeding goals. New objectives look for more efficiency to decrease production costs and obtain a better quality of meat. Genetic evaluation procedures tend to model the productive life of an individual as a whole. On the other hand, many beef breeds are now demanding international genetic evaluations. Different aspects related to optimization of selection programs in a short and long term are revised. Potential uses of molecular aspects in beef cattle breeding are briefly highlighted.

Key words: Selection, Beef cattle, Objectives, Genetic evaluation, Molecular information.

Agradecimientos: Los autores desean agradecer la colaboración prestada por el M.A.P.A., las asociaciones de ganaderos y personas involucradas en los distintos esquemas.

Introducción

El inicio de la nueva década ha coincidido con el afianzamiento de los esquemas de selección de vacuno de carne en muchos de los países del nuestro entorno. Según una encuesta realizada por ICAR, existe un gran número de países donde se recoge información productiva de manera sistemática, si bien es cierto que dicha información está relacionada mayoritariamente con la primera fase de la vida productiva del animal (SIMIANER *et al.*, 2001). Asimismo, en muchos paises se realizan de forma rutinaria valoraciones genéticas para el peso/crecimiento al destete y postdestete, algunos caracteres ligados a la reproducción (fundamentalmente facilidad de parto y de circunferencia escrotal) y la calidad de la canal (SIMIANER *et al.*, 2001).

En nuestro país, las Asociaciones de ganaderos han tenido como principal actividad la gestión de los Libros Genealógicos. No fue hasta la década de los 90 cuando muchas de ellas toman conciencia de la necesidad de establecer controles de rendimientos, así como de la utilidad de la información productiva para predecir el valor genético como herramienta de selección. Se estima que en razas como la Asturiana de los Valles, la Avileña Negra Ibérica, la Bruna dels Pirineus, la Limusín, la Pirenaica y la Retinta se han controlado al destete aproximadamente un 30-35 % de los animales registrados en los Libros Genealógicos en el periodo 1990-2000. Al igual que en otros países, la cantidad de información generada con posterioridad al destete es menos numerosa, en parte debido a los problemas de segmentación de la industria y/o de los sistemas de producción. No obstante, se puede afirmar que en general ha existido una evolución positiva en el grado de participación de los ganaderos en los distintos programas de selección.

Tanto en nuestro país como en otros, los nuevos desafíos están en poder ampliar la toma de datos a otros aspectos de la vida productiva del animal (vida productiva total) y llegar al producto final (la carne), en mejorar la calidad de la información y en la difusión del uso de las valoraciones genéticas. En muchos de los programas de selección se ha entrado en la fase de "control de calidad de la información", de manera que ésta pueda ser utilizada en su totalidad y permita adecuar los modelos a las realidades productivas de cada población. En los EE.UU. se calcula que entre un 25 y un 55 % de la información aportada por los ganaderos a los controles de producción es eliminada por errores en la toma de datos (BERTRAND y WIGGANS, 2002). Existen otros problemas relacionados con la recogida y aporte de datos de manera selectiva, así como con los movimientos incontrolados de animales y la incapacidad de los modelos para recoger estos movimientos, que pueden suponer una fuente de sesgo importante a la hora de realizar las valoraciones genéticas (BWG-ICAR, 2002). A este respecto, hay una iniciativa internacional con el objeto de establecer recomendaciones que permitan armonizar y sistematizar la obtención de información para satisfacer las necesidades presentes y futuras de los programas de mejora genética en el vacuno de carne (BWG-ICAR, 2002).

Nuevas orientaciones en los objetivos de selección

En la industria del vacuno de carne dos tipos de caracteres se han venido perfilando como los principales caracteres de interés económico: los caracteres cárnicos (crecimiento, morfología, eficiencia alimentaria y calidad de la canal) y el rendimiento maternal (fertilidad, facilidad de parto, aptitud a

la cría). Desde la perspectiva del conjunto de la población, la importancia económica relativa de cada uno de ellos dependerá de la proporción de rebaños de vacas madres (productores de terneros al destete) y de explotaciones de ciclo cerrado.

Los esquemas de selección han explotado tradicionalmente aquellos caracteres ligados al peso por varias razones: en primer lugar, porque el sistema de pagos ha estado fundamentado en el kg de peso vivo del animal; en segundo lugar, por la dificultad de generar información en la cadena de sacrificio (MARSHALL, 1999). En una situación de relativo libre mercado, como es el caso del mercado de la carne de vacuno en muchos países, el beneficio económico del productor depende en gran medida de la capacidad del sistema de producción para incrementar la cantidad de producto mediante el progreso genético (GIBSON y WILTON, 1998). Ello es así si el mercado es capaz de absorber todo lo que se produce. Si esto no ocurre, debe establecerse la búsqueda de la eficiencia de producción, minimizando los costes, y de la calidad para captar una franja del mercado que permita dar un valor añadido al producto (DÍAZ y CARABAÑO, 2000). Por otra parte, los análisis de sensibilidad de los pesos económicos a las variaciones de precios de mercado han puesto de manifiesto que, en una situación de mercado donde se produce una caída de precios de la carne, los caracteres de calidad cobran un papel protagonista frente a los otros caracteres (GIBSON y WILTON, 1998; PHOCAS *et al.*, 1998). Es en este contexto donde se plantea la evolución natural de los objetivos en los distintos programas de selección.

La calidad de la canal y de la carne

La adopción de los sistemas de clasificación de la canal de acuerdo a la conformación cárnica y el estado de engrasamiento, así como el pago diferencial en función de la categoría, ha supuesto en muchos países un avance importante en el espectro de caracteres de interés para el sector del vacuno de carne (MARSHALL, 1999). Si a todo esto le añadimos la tendencia del mercado, cada vez más orientada hacia la calidad de los productos por exigencia de los propios consumidores, queda mejorado el escenario donde los caracteres de calidad tienen cabida por su potencial repercusión económica.

Las características de la canal han sido incorporadas en algunos programas de mejora. El énfasis se ha puesto fundamentalmente en la conformación cárnica, el estado de engrasamiento, el rendimiento a la canal y el contenido en magro y en grasa. En estos caracteres se pone de manifiesto que la variabilidad genética asociada a las características de la canal es suficientemente elevada como para ser susceptibles de ser mejorados por selección (RENAND, 1993; KOOTS *et al.* 1994a; MARSHALL, 1999; RILEY *et al.*, 2002). En los países de la Unión Europea, la adopción del sistema de clasificación EUROP ofrece un marco para incluir caracteres de calidad de canal en los programas de selección. En otros países se han impuesto medidas indirectas de determinación de estas características sobre el animal vivo (GRASER y WILSON, 2002). Estas técnicas, que permiten determinar el rendimiento cárnico, el estado de engrasamiento y el porcentaje de grasa intramuscular, se están imponiendo como una alternativa a los controles de matadero en aquellos países donde es difícil tener acceso a dicha información (GRASER y WILSON, 2002).

La calidad de la carne es no obstante el mayor desafío. Los problemas que presenta la inclusión de los caracteres de calidad son de diversa naturaleza. En primer lugar nos enfrentamos con la definición del carácter.

Son muchos los caracteres de calidad de carne que se pueden considerar y muchos de ellos son mercado-dependientes (GIBSON y WILTON, 1998), es decir, dependen de la tradición, la cultura, la percepción, etc. del mercado receptor de la carne. En este contexto es difícil establecer tanto el carácter a seleccionar como la dirección en que se debe orientar la selección. En segundo lugar, otra dificultad radica en conocer la base genética de los caracteres de calidad de carne, así como la asociación entre ellos y con otros caracteres productivos. Por último, es crítico establecer estructuras organizativas que permitan una recogida sistemática de datos para la realización de valoraciones genéticas y el diseño de estrategias de mejora para dichos caracteres.

A pesar de la mencionada subjetividad ligada a la percepción de la calidad de la carne, existen una serie de características que, *a priori*, podrían ser percibidas por los consumidores de modo similar, como son todas aquellas que tienen un efecto potencial sobre la salud y/o la adquisición de hábitos saludables de consumo (YU-POTH *et al.*, 1999). Entre ellas están identificadas el colesterol, el w3 y el w6 presentes en la grasa (ENDRES *et al.*, 1995; ENSER *et al.*, 1998; YU-POTH *et al.*, 1999). Después de las características higiénicas y nutricionales, la percepción sensorial sería el principal criterio para comprar carne (SAÑUDO, 1995). Además del color (WOOD *et al.*, 1998), la terneza es la principal característica considerada por el consumidor como atributo de calidad (LOVE, 1994; BOLEMAN *et al.*, 1998).

La variabilidad ligada a los caracteres de calidad y las asociaciones genéticas entre ellos, así como su relación con otros caracteres productivos, son aspectos poco conocidos en las poblaciones de vacuno de carne (RENAND, 1993; KEMP, 1994; RENAND *et al.*, 1994; MARSHALL, 1999). Se han realizado diversos estudios sobre algunas características relacionadas con medidas objetivas de calidad, tales como el contenido en grasa intramuscular, la resistencia al corte, el color, la capacidad de retención de agua o el pH. Las estimaciones medias de heredabilidad asociadas a estos caracteres oscilaron entre 0,11 para el color y 0,54 para el porcentaje de grasa intramuscular. Por el contrario, las estimaciones medias de heredabilidad para características organolépticas son muy bajas dado el grado de subjetividad que implican (MARSHALL, 1999). Cuando se examinan las asociaciones entre las distintas características de calidad la situación es relativamente compleja. Parece ser que la grasa intramuscular podría estar positivamente asociada a la jugosidad y a la terneza, pero los rangos en las estimaciones no permiten ser nada concluyentes (MARSHALL, 1999).

En el sector ganadero existe una creciente preocupación sobre la existencia de asociaciones indeseables entre la calidad y la cantidad de carne, y el efecto que la selección por cantidad pudiera tener sobre la calidad. Poco se conoce sobre este tema. Algunos autores han puesto de manifiesto relaciones antagonistas entre distintos grupos de caracteres (*e.g.* RENAND, 1993 y MARSHALL, 1999), pero las conclusiones son muy distintas en función de si las comparaciones se hacen a peso o a edad constante. Por ejemplo, a peso constante existe un claro antagonismo entre el contenido de magro y de grasa de la canal, debido a que los animales de crecimiento más rápido tienen una madurez más tardía; sin embargo, si la comparación se hace a edad constante dicho antagonismo no existe o es muy débil (RENAND, 1993). Por otro lado, parece existir una asociación positiva entre el ritmo de crecimiento y el porcentaje de magro, y como consecuencia un efecto negativo

sobre la cantidad de grasa intramuscular (RENAND, 1993; RENAND *et al.*, 1994 ; MARSHALL, 1999). En relación a la asociación entre caracteres productivos y calidad de carne, la bibliografía no permite hoy por hoy establecer ningún *a priori*, dado que el número de estudios es aún reducido. La única asociación consistente encontrada es entre el color de la carne y el contenido de grasa intramuscular (RENAND, 1993), y en consecuencia con el ritmo de crecimiento (MARSHALL, 1999). De acuerdo a esta asociación sería esperable que la selección para el crecimiento reduzca la grasa intramuscular y haga la carne más pálida.

Aunque la demanda del sector por los caracteres de calidad es evidente, la incorporación rutinaria de esta información implica la reorganización de los esquemas de selección para adaptar sus elementos a las nuevas estructuras y demandas de mercado. El establecimiento de sistemas integrados, donde el esquema genera información a nivel de productor de vacas madres (pesos al destete), de cebadero (pesos en cebo y/o en Centros de Testaje), matadero y calidad de producto, es una vía de solución (DÍAZ y CARABAÑO, 2000). En algunos sistemas de producción la incorporación de la información posterior al destete ha sido y es posible, vía el cebo común de terneros y la comercialización conjunta de los mismos. En otros sistemas ello sólo es posible mediante los Centros de Control, donde se mimetizan las condiciones de explotación y los animales se destinan para vida. Los sistemas integrados garantizan la trazabilidad de los productos desde su origen (el animal) hasta su transformación en carne. Por otro lado, existen países donde la incorporación de esta información se basa en la adopción de sistemas oficiales de clasificación de canales y controles de calidad de la carne (BWG-ICAR, 2002).

Eficiencia de producción

En la situación actual, en que el mercado es imprevisible y puede haber drásticas caídas en el consumo (léase crisis de las vacas locas), la disminución de los costos de producción es una preocupación que implica la definición de caracteres que acentúen la eficiencia productiva de los animales (ARCHER *et al.*, 1999; ARTHUR *et al.*, 2001). En los países de la Unión Europea, la necesidad de limitar la producción se ha hecho evidente con el fomento que hace la PAC de la extensificación de la producción agraria, buscando el aprovechamiento de los recursos naturales en zonas sin otras alternativas claras de producción. No obstante, dicho aprovechamiento tiene que ser compatible con una intensificación sostenible de algunos sistemas de producción donde la tierra puede ser un factor limitante (OSORO, 1997).

Los estudios económicos que se han realizado en poblaciones de vacuno de carne han puesto de manifiesto la importancia de los caracteres productivos de peso (destete y postdestete) y fertilidad en el objetivo a la selección (PHOCAS *et al.*, 1998; FERNÁNDEZ y ALENDA, 1999). Asimismo se ha visto que la longevidad de las hembras reproductoras está en relación directa con el beneficio de la explotación (PHOCAS *et al.*,1998; QUINTANILLA *et al.*, 2000).

La longevidad funcional

La longevidad es una parte esencial del objetivo a la selección, dado que refleja la capacidad de un animal para adaptarse a las condiciones que le impone el sistema de producción. En un contexto productivo, el aspecto más interesante de la longevidad es la llamada longevidad funcional, también definida

por DUCROQ y SOLKNER (1998) como la capacidad del animal para evitar el sacrificio involuntario. Dicha longevidad contempla aspectos que tienen que ver con la capacidad del animal para mantener un buen estado sanitario, movilidad y la ausencia de problemas de fertilidad. De todo ello se deduce que la longevidad es un carácter complejo, lo cual queda reflejado en la baja heredabilidad del mismo. Dicha heredabilidad, junto con la dificultad metodológica que implica el tratamiento estadístico de este tipo de caracteres, son los dos grandes problemas para su incorporación en los programas de selección.

Según VUKASINOVIC (1999), el análisis del carácter longevidad requiere la utilización de métodos especiales por diversas razones. En primer lugar, la distribución de la longitud de la vida productiva es muy asimétrica y a menudo desconocida. En segundo lugar, los factores que actúan sobre la longevidad no lo hacen de forma lineal (BEILHARZ *et al.*, 1993) y varían con el tiempo. La utilización de técnicas de análisis de supervivencia (*e.g.* KALBFLEISCH y PRENTICE, 1980) permite tener en cuenta estas peculiaridades y hacer un tratamiento más adecuado de los datos incompletos o censurados, evitando los problemas mencionados para los procedimientos de extensión. Estas técnicas han sido desarrolladas para el análisis del carácter longevidad (principalmente por DUCROCQ, 1987, y DUCROCQ y SÖLKNER, 1994, 1998a), y son consideradas como el método teóricamente óptimo (STRANDBERG y SÖLKNER, 1996 y Essl, 1998 en revisiones bibliográficas, y BOETTCHER *et al.*, 1998b en un estudio de comparación con otros métodos). El análisis de supervivencia utiliza como observaciones los tiempos de desecho (*i.e.* momento de la venta) o el momento en el que se produce la censura (para los animales que siguen vivos en el momento de recoger los datos), combinadas con un indicador sobre si el dato es censurado o completo. Esta variable es modelizada por una función no lineal que representa el riesgo que tiene cada animal de ser desechado en función del tiempo. Recientemente, DÍAZ *et al.* (2002) han utilizado estas técnicas para realizar un estudio sobre la longevidad funcional en vacas de raza Avileña Negra Ibérica. En esta población se definió la longevidad como la longitud de la vida del animal desde su primer hasta su último parto. Las estimaciones de heredabilidad en la escala logarítmica son más bajas que las descritas en otras poblaciones de vacuno lechero (ver VOLLEMA, 1998) y en vacuno de carne (HYDE, 2000), si bien no ocurre lo mismo en la escala original (VOLLEMA *et al.*, 2000). Sin embargo, la inclusión de dicho carácter como criterio de selección exige de un estudio más exhaustivo acerca de la distribución de la función de riesgo base, del efecto de otros factores no genéticos no incluidos en el modelo, de la adecuada definición del carácter (DÍAZ *et al.*, 2002) y de la estrategia indicada para seleccionar.

El crecimiento y el consumo, su modificación para adecuarse a las demandas del sistema de producción

Biológicamente el desarrollo de un individuo es un proceso continuo, de manera que todo aquello que sucede en los estadíos tempranos puede condicionar el rendimiento de los individuos en estadíos posteriores, tanto de sí mismo como de sus descendientes. Debido en parte a los distintos intereses de la industria, la producción de carne se ha visualizado hasta el momento como un proceso por etapas: predestete, postdestete, peso adulto. La mayoría de los programas de selección han puesto énfasis principalmente en maximizar los pesos al principio de la vida del animal, sin importar los efectos que ello pudiera tener sobre otros periodos

(KOOTS *et al.*, 1994b). En este sentido, el peso adulto del animal, especialmente el de las hembras, tiene un impacto en muchos aspectos de la producción que incluyen las necesidades de mantenimiento, de reproducción y el valor de desecho. Esta información puede ser incluída en los objetivos de selección con la finalidad, en muchos casos, de mantener constante el peso adulto mientras se maximizan las anteriores etapas (KOOTS *et al.*, 1994a; RUMPH *et al.*, 2002). En la actualidad existen ya algunos programas de selección que incluyen el peso adulto como un carácter más en las evaluaciones genéticas. Por otro lado, en estos momentos en los que la reducción de los costes de producción adquiere una gran importancia, la mejora de los efectos maternos constituye todavía un objetivo. Sin embargo y a pesar de ser un tema con una larga historia, existen aún muchas cuestiones abiertas sobre cómo seleccionar estos caracteres asumiendo que existe un antagonismo genético entre efectos directos y maternos (PHOCAS *et al.*, 1995a).

Dentro de esta visión de eficiencia, el desarrollo de los individuos tiende a plantearse como un proceso continuo que puede modificarse vía selección en función de las demandas del sistema de producción (ALBURQUERQUE y MEYER, 2001). Estos autores ponen de manifiesto la utilidad de modelizar de manera continua los pesos de los individuos con el objeto de poder limitar las consecuencias de una selección temprana para incrementar pesos, además de permitir modelizar de forma adecuada el efecto de algunos factores ambientales que varía con el tiempo (ALBURQUERQUE y MEYER, 2001; SCHENKEL *et al.*, 2002).

Cada vez existe una mayor preocupación por los efectos que la selección para incremento de peso (maximizar outputs) pueda tener sobre el consumo de piensos y la economía del sistema productivo. En la bibliografía se encuentran estimaciones muy elevadas para la correlación genética entre el consumo y los pesos vivos del animal; en general, se observa que el consumo de pienso incrementa con el peso y que la eficiencia de conversión disminuye (KOOTS *et al.*, 1994b). En base a ello, parece claro que optar por animales más productores implica la selección de animales que requieren mayor aporte nutricional y que no necesariamente se traduce en un aprovechamiento más eficiente. Algunos autores han propuesto la utilización de caracteres tales como el consumo de pienso residual, es decir aquella cantidad de pienso que el animal consume por encima de sus necesidades de mantenimiento y de producción, como un carácter más cercano a la eficiencia del animal y que puede ser utilizado para seleccionar animales de una manera más sencilla que el índice de conversión, dado que es un índice lineal (KENNEDY *et al.*, 1993; ARCHER *et al.*, 1999; ARTHUR *et al.*, 2001). Sin embargo, el alto coste en cuanto a la recogida de datos del consumo individual de pienso hace que se estén buscando vías alternativas para la selección (ARCHER *et al.*, 1999).

Viejos y nuevos desafíos de las valoraciones genéticas en vacuno de carne

En la mayoría de los programas de mejora de vacuno de carne la evaluación genética se ha centrado principalmente en los caracteres de crecimiento, si bien en algunos de ellos se realizan también evaluaciones de caracteres relacionados con la reproducción, básicamente la facilidad de parto y la circunferencia escrotal. En el caso de los caracteres de crecimiento, las evaluaciones genéticas se han restringido hasta la fecha a los pesos ajustados a edades tipo y en ocasiones la morfología. Dado que muchos de los pesos

corresponden a la época de cría, el modelo animal con efectos maternos ha venido siendo el más ampliamente aceptado para la evaluación genética del ganado vacuno de carne, a pesar de que todavía presenta problemas en su definición. Por otro lado y como ya se ha mencionado anteriormente, la búsqueda de animales eficientes puede llevar a la modelización de la vida productiva de un animal como una función globalizadora cuyos parámetros pueden ser modificados vía selección, usando técnicas de datos longitudinales.

En otro contexto, la difusión internacional de algunas de las razas de vacuno de carne, junto con el alto nivel de competencia entre los distintos países, ha hecho que se tomen iniciativas para la realización de valoraciones genéticas internacionales en algunas razas. Con ello se retoman aspectos que, pudiendo ser importantes en los programas nacionales, adquieren ahora una especial relevancia en el contexto internacional. Dichos aspectos son los relacionados con la heterogeneidad de varianzas, la interacción genotipo ambiente y la conexión, que pueden ser de importancia capital para la obtención de valoraciones genéticas libres de sesgo. A continuación se tratarán con algo más de detalle algunos de los aspectos mencionados.

Los modelos con efectos maternos

Aunque el modelo animal materno (QUAAS y POLLAK, 1980; HENDERSON, 1988) se utiliza extensivamente en la evaluación genética de vacuno de carne, existe todavía una elevada incertidumbre acerca de los parámetros genéticos normalmente utilizados, y en consecuencia acerca de la respuesta a la selección cuando los efectos maternos están implicados. MEYER (1992b) señala que la cantidad de información y las estructuras familiares disponibles son a menudo insuficientes y que es esperable obtener estimaciones imprecisas o inconsistentes. Por su parte GERSTMAYR (1992) mostró que estructuras con pocos descendientes por madre y pocas madres con registro conducen a un aumento drástico del error estándar y las correlaciones de muestreo. La menor precisión afecta en mayor medida los parámetros maternos, especialmente la correlación genética entre efectos directos y maternos, para la que la mayoría de estimaciones en vacuno de carne muestran valores mediana o altamente negativos (*e.g.* MEYER, 1992a; SHI *et al.*, 1993; ROBINSON, 1996a; GUTIÉRREZ *et al.*, 1997; DE MATTOS *et al.*, 2000a). Por otro lado, la posibilidad de que este aparente antagonismo genético sea debido a un sesgo producido por ejemplo por una relación ambiental entre los efectos maternos de madres e hijas ha sido señalada por varios autores (BAKER, 1980; MEYER, 1992a,b; ROBINSON, 1996a,b; QUINTANILLA *et al.*, 1999), pero lo cierto es que en la mayoría de las evaluaciones genéticas llevadas a cabo actualmente se asumen covarianzas genéticas negativas entre efectos directos y maternos. En este sentido, DÍAZ *et al.*, (2002) han puesto de manifiesto la necesidad de utilizar grupos genéticos en ambos caracteres (directo y materno) para modelizar los efectos de la selección sobre peso al destete en presencia de una correlación negativa.

Función de crecimiento global

Un enfoque alternativo en el análisis de datos de pesos a distintas edades es utilizar directamente los pesos individuales en el proceso de valoración genética, utilizando técnicas de análisis de datos longitudinales. Las ventajas de este tipo de análisis son varias. En primer lugar, la integración en un solo proceso del análisis individual del crecimiento y el análisis genético, incorporando información de factores ambientales y de

parentescos, permite hacer un uso más eficiente y flexible de la información disponible. Como consecuencia, la predicción de las trayectorias individuales de crecimiento es más precisa y además se facilita el uso de modelos alternativos al de la recta de regresión, como son las curvas de crecimiento (ver *e.g.* una revisión reciente de curvas alternativas en PILES, 2000). En segundo lugar, el uso de los pesos individuales permite identificar mejor en el modelo los factores ambientales que inciden en el dato que realmente se recoge, pudiendo establecer grupos de comparación diferentes para cada fecha de pesada en lugar de definir un único grupo para todo el periodo de vida o de cebo. La contrapartida a las ventajas mencionadas es la mayor complejidad en la modelización, con el consiguiente incremento de las dificultades computacionales y la menor precisión en la estimación en modelos altamente parametizados.

La modelización de los pesos individuales es un caso particular del análisis de datos longitudinales, aplicado a las especies ganaderas de forma muy extensa en el análisis de datos de producción lechera a lo largo de la lactación (ver *e.g.* SCHAEFFER y DEKKERS, 1994; VAN DER WERF *et al.*, 1998; REKAYA *et al.*, 1999; SCHAEFFER *et al.*, 2000). Últimamente, estas técnicas son cada vez más aplicadas a datos de pesos en edades sucesivas desde el nacimiento al destete o postdestete, bajo condiciones extensivas o en cebadero (DENISE y BRINKS, 1985; VARONA *et al.*, 1997; MEYER, 1999, 2000; ALBURQUEQUE y MEYER, 2001; SCHENKEL *et al.*, 2002). Dentro del análisis de datos longitudinales se han utilizado varias técnicas alternativas que vamos a categorizar en tres grupos.

La aproximación más generalista es la del análisis multicarácter, en el que las medidas en cada tiempo se consideran como caracteres diferentes, sin una estructura definida *a priori* para las correlaciones genéticas y ambientales entre ellas. Las desventajas de esta aproximación son que el número de caracteres puede ser muy elevado (tanto como edades o tiempos en los que se toman medidas) y que se hace un tratamiento discreto de un proceso como el crecimiento, que por naturaleza es continuo.

Una segunda alternativa es la modelización de la trayectoria del carácter a lo largo del tiempo mediante funciones matemáticas que describen el proceso, en este caso el crecimiento (una revisión puede encontrarse en PILES, 2000). Esta aproximación permite expresar la forma de la curva de crecimiento de cada individuo en función de un número reducido de parámetros con una interpretación biológica. En ganado vacuno de carne, esta aproximación ha sido explorada por DENISE y BRINKS (1985), que estudian los parámetros genéticos asociados a los parámetros de dos modelos de crecimiento (Brody y Richards) en un análisis en dos etapas. Más recientemente, VARONA *et al.* (1997, 1999) proponen el uso de modelos jerárquicos y la utilización de técnicas bayesianas para realizar el análisis en una sola etapa, haciendo así un uso más eficiente y más correcto de la información. En ambos estudios se obtienen estimaciones de heredabilidades moderadamente altas (entre 0,20 y 0,44) para los parámetros de las funciones de crecimiento, indicando que la selección sobre estos parámetros con el objetivo de modificar la curva de crecimiento sería eficiente.

Por último, otro grupo de estudios sobre datos longitudinales se caracteriza por la definición de funciones con un número reducido de parámetros que modelizan el cambio en las (co)varianzas en función del tiempo (KIRKPATRICK y LOFSVOLD, 1989; KIRKPATRICK *et al.*, 1990). Este tipo de aproximación puede considerarse una forma de redu-

cir la dimensionalidad potencialmente infinita del análisis multicarácter. Dentro de este tipo de aproximación se han propuesto dos tipos de alternativas. La primera, desarrollada inicialmente por KIRKPATRICK y LOFSVOLD (1989) y clasificada por PLETCHER y GEYER (1999) como no paramétrica, contempla el uso de polinomios ortogonales como funciones de (co)varianza. En ganado vacuno de carne esta propuesta ha sido utilizada en varios trabajos donde se pretende identificar el grado óptimo de los polinomios a emplear para modelizar el peso a distintas edades (MEYER, 1999, 2000; ALBURQUERQUE y MEYER, 2001; SCHENKEL *et al.*, 2002). El uso de polinomios como funciones de (co)varianza presenta algunas desventajas, como son la naturaleza excesivamente oscilante de los mismos y su incapacidad para describir procesos progresivos o asintóticos, como cabe esperar que sean las covarianzas entre datos que describen un proceso biológico (PLETCHER y GEYER, 1999). Además, diversos estudios han encontrado un mal funcionamiento de los polinomios ortogonales para modelizar el comportamiento de las (co)varianzas en los extremos de la trayectoria (VAN DER WERF *et al.*,1998; MEYER, 1999; POOL y MEUWISSEN, 2000). Una segunda alternativa es un método paramétrico propuesto por PLETCHER y GEYER (1999) en el que las funciones de (co)varianza se obtienen haciendo uso de las funciones características asociadas a distintas funciones de probabilidad. Las ventajas potenciales de este método son las de producir funciones de (co)varianza definidas positivas (no siempre garantizado cuando se usan polinomios ortogonales), permitir una predicción más progresiva del comportamiento de las (co)varianzas, venir definidas en base a unos parámetros con una interpretación biológica, y permitir la modelización de varianzas y correlaciones de forma independiente (PLETCHER y GEYER, 1999).

La evaluación genética internacional

Dentro de las poblaciones de vacuno de carne existen razas que han tenido y tienen una gran difusión en muchos países. En este contexto, la realización de una evaluación genética internacional (entre países) viene siendo requerida cada vez en mayor medida, tanto por los países exportadores como por los importadores de material genético.

La puesta en marcha de una evaluación genética internacional en vacuno de carne se encuentra por el momento en sus "estadíos iniciales". Diversos estudios preliminares con vistas a la implementación de una evaluación genética entre países se han llevado a cabo recientemente en USA (BENYSHEK *et al.*, 1994; DE MATTOS *et al.*, 2000a, b; LEE y BERTRAND, 2002), en Australia (MEYER, 1995; MEYER y GARRICK, 1996; REVERTER *et al.*, 2002) dentro del marco del BREEDPLAN, y en Francia (QUINTANILLA *et al.*, 2002a, b).

En el sector vacuno lechero, donde la evaluación genética entre países está mucho más instaurada, la metodogía utilizada desde su implementación por Interbull en 1995 es la conocida como MACE - *Multiple Across Country Evaluation* (SCHAEFFER, 1994; BANOS y SIGURDSSON, 1996; SCHAEFFER, 2001). Este método consiste en analizar los EBVs obtenidos en los distintos países en un análisis donde la expresión del mérito genético en cada país es considerada como un carácter distinto. En vacuno de carne sin embargo parece que el análisis conjunto de todos los datos mediante un modelo animal adecuado se perfila como el método de elección para llevar a cabo la evaluación genética internacional (BENYSHEK *et al.*, 1994; MEYER, 1995; LEE y BERTRAND, 2002; REVERTER *et al.*, 2002).

En cualquier caso, múltiples interrogantes se plantean a la hora de implementar una

evaluación genética internacional: ¿pueden los registros de los distintos sistemas de producción ser considerados como el mismo carácter?, ¿los registros proceden sólo de animales en raza pura o se incorporan también animales cruzados?, ¿se toman registros de todos los animales en un grupo de contemporáneos o sólo de animales seleccionados?, ¿están todos los factores (p.e. edad de la madre) correctamente identificados?, ¿existe homogeneidad de varianzas y/o de parámetros genéticos entre los distintos países?, ¿cómo afectaría ello a la evaluación genética?, ¿cómo corregirla?, ¿hay interacción genotipo-ambiente?, ¿existen conexiones genéticas suficientes como para poder comparar los EBVs obtenidos en distintos países? La elección del procedimiento adecuado requerirá dar previamente respuesta a algunas de estas cuestiones.

Heterogeneidad de varianzas

Los modelos habitualmente utilizados en la evaluación genética BLUP suelen basarse en la hipótesis de homocedasticidad. Sin embargo, la presencia de varianzas heterogéneas en función de distintos factores (por ejemplo el rebaño, el sexo, el país) ha sido un fenómeno también puesto de manifiesto en vacuno de carne (*e.g.* GARRICK *et al.*, 1989; SAN CRISTOBAL *et al.*, 1993; RODRÍGUEZ-ALMEIDA *et al.*, 1995; LEE y BERTRAND, 2002; QUINTANILLA *et al.*, 2002b). Caso de estar presente, la no consideración de la heterocedasticidad en la evaluación genética conduce a un sesgo en la predicción de los valores genéticos y a una desproporción entre los individuos seleccionados en los distintos ambientes, viéndose favorecidos aquellos animales que tienen sus producciones (o las de su descendencia) en los ambientes más variables (EVERETT *et al.*, 1982; HILL, 1984; GARRICK y VAN VLECK, 1987; VINSON, 1987).

En el caso particular de la evaluación genética a partir de datos procedentes de distintos medios, y muy concretamente en el caso de la evaluación genética internacional con subpoblaciones que muestran de partida distintas medias productivas, el fenómeno de la heterocedasticidad y cómo considerarla en el modelo de evaluación vuelve a tomar especial relevancia. Diversos procedimientos han sido propuestos para tener en cuenta la heterocedasticidad en la evaluación genética, desde una simple transformación aritmética de los datos hasta la consideración de la heterogeneidad de varianzas en el modelo con diversas aproximaciones. La metodología BLUP permite tener en cuenta la heterocedasticidad tratando los efectos aleatorios de los estratos/ambientes con varianzas heterogéneas en distintas subclases (HENDERSON, 1984; GIANOLA, 1986), pero conduce a un gran número de parámetros y a unas elevadas dimensiones de las MME. Ello puede no obstante reducirse si las varianzas difieren sólo en escala (*i.e.* la heredabilidad se mantiene constante) y las correlaciones entre los efectos aleatorios en distintos ambientes no difiere de la unidad (QUAAS *et al.*, 1989). Bajo estas hipótesis más la de que todos los efectos (fijos y aleatorios) están afectados del mismo modo, KACHMAN y EVERETT (1993) y MEUWISEN *et al.* (1996) sugieren tener en cuenta las varianzas heterogéneas aplicando un factor de escala multiplicativo; este modelo mixto multiplicativo (ver una aplicación p. ej. en REVERTER *et al.*, 1997) se está utilizando actualmente para corregir la heterogeneidad de varianzas entre grupos de contemporáneos en el BREEDPLAN australiano (REVERTER *et al.*, 2002). Por su parte, FOULLEY *et al.* (1990a) y SAN CRISTÓBAL *et al.* (1993) proponen un modelo lineal mixto estructural de los logaritmos de las varianzas

que permite poner de manifiesto las fuentes de variabilidad de las varianzas genética y residual y conocer su importancia y modo de acción. Este sistema está bien adaptado cuando la heterocedasticidad está ligada a varios factores de variación identificables.

En definitiva el modo más adecuado para considerar las varianzas heterogéneas dependerá de los factores a los que esté asociada, de la magnitud y el tipo de heterocedasticidad (genética, residual o ambas), de si los cocientes de varianza (*i.e.* las heredabilidades) se mantienen o no constantes y de si la correlación de los efectos aleatorios entre los distintos ambientes es o no próxima a la unidad, lo que depende a su vez de la interacción genotipo-ambiente.

Interacción genotipo-ambiente

La presencia de interacciones genotipo-ambiente no es descartable en las evaluaciones genéticas que se llevan a cabo regularmente entre rebaños, pero es aún más esperable cuando se trabaja con datos procedentes de distintos orígenes y sistemas de producción, por lo que es una consideración particularmente importante en la implementación de una evaluación genética internacional.

En este sentido, diversos trabajos recientes estudian la interacción genotipo-país sobre caracteres de crecimiento en distintas razas de vacuno de carne. MEYER (1995) analizó diversos pesos en la raza Angus con datos de Australia y Nueva Zelanda; DE MATTOS *et al.* (2000b) analizaron el peso al destete en Hereford con datos de USA, Canadá y Uruguay; y LEE y BERTRAND (2002) el peso al nacimiento y al destete, junto con el crecimiento postdestete, en Hereford con datos de Canadá, Argentina, USA y Uruguay. En general las correlaciones genéticas entre países tomaron siempre valores superiores a 0,8 para los efectos directos, y algo inferiores para los efectos maternos. En base a dichas correlaciones, estos autores concluyen la ausencia de interacción genotipo-país en la mayoría de los casos, o bien que si existe es pequeña y poco importante, y que la evaluación genética en estos países puede realizarse conjuntamente (tras ajustar por los varianzas fenotípicas heterogéneas en algún caso). No obstante es harto probable que muchas de las conexiones genéticas existentes para estimar la interacción genotipo-ambiente procedan de toros 'élite' cuya descendencia puede haber recibido un tratamiento preferencial que daría lugar a un sesgo en la estimación de las interacciones genotipo-ambiente (NOTTER *et al.*, 1992; REVERTER *et al.*, 2002). Por su parte HYDE *et al.* (1998) señalan que las discrepancias entre las correlaciones estimadas y esperadas de los EBVs en las poblaciones Charolais de Australia, Canadá, Nueva Zelanda y USA indican la presencia de interacciones genotipo-ambiente para los pesos al nacimiento, al destete y al año de edad. Asimismo QUINTANILLA *et al.* (2002a) obtienen correlaciones genéticas distintas de la unidad para el peso al destete de Charolais entre algunos países europeos.

En definitiva el tema de la interacción genotipo-ambiente en vacuno de carne no está todavía cerrado y debe ser objeto de un mayor análisis antes de determinar el modelo más adecuado para llevar a cabo la evaluación genética con datos de distintos orígenes.

Conexión y precisión de la evaluación genética

La precisión de la evaluación genética depende básicamente de la cantidad de información disponible para obtener los EBVs y también de la 'calidad' del diseño. En este sentido, cuando la selección se lleva

a cabo entre varios ambientes (unidades de manejo, regiones, países), la precisión de la evaluación puede verse influida por el grado de conexión genética entre ellos. Aunque desde un punto de vista teórico no puede hablarse de desconexión completa entre efectos aleatorios (FOULLEY *et al.*, 1992), la ausencia o la escasez de relaciones genéticas entre niveles efectos fijos afecta al sesgo y al error de predicción de las comparaciones y en definitiva a la precisión de la selección.

La conexión genética puede ser difícil de cuantificar. El cada vez más extendido uso de la inseminación artificial y en algunos casos los esquemas de toros de referencia permiten hasta cierto punto 'confiar' en la existencia de conexiones genéticas suficientes, pero ello es una realidad menos palpable en el vacuno de carne (ver *e.g.* DÍAZ *et al.*, 1993), donde el uso de la monta natural está mucho más extendido. Más aún, con el cada vez mayor establecimiento de evaluaciones genéticas con datos procedentes de distintos países, el tema de la desconexión ha vuelto a plantearse como un tema de interés creciente. Las preguntas a este respecto son las de siempre: ¿existen suficientes conexiones genéticas como para justificar una evaluación genética conjunta?, ¿qué fiabilidad ofrece la comparación de valores genéticos de animales evaluados en distintos países / unidades de manejo?, ¿cómo medir el grado de conexión/desconexión?

FOULLEY *et al.* (1992) introducen el concepto de nivel de conexión (o de equilibrio) relacionando la VEP en el modelo completo con la VEP bajo un modelo reducido excluyendo los efectos fijos. Por su parte, KENNEDY y TRUS (1993) afirman que la VEP de las diferencias entre los EBVs de los animales en diferentes ambientes es la medida más lógica de conexión. Paralelamente LALOË (1993) plantea la utilización del coeficiente de determinación (CD) como la medida más adecuada de la precisión de la evaluación genética, tanto de la precisión de los EBVs individuales como de las comparaciones entre EBVs mediante el CD de una combinación lineal de valores genéticos. Sin embargo todos los criterios propuestos requieren el cálculo de los elementos de la inversa de las MME. Recientemente FOUILLOUX y LALOË (2001) han propuesto un método de muestreo para calcular las varianzas de los BV reales y estimados que permite obtener los coeficientes no diagonales de la inversa de las MME, y se presenta como una alternativa para el estudio de la conexión. Por su parte KENNEDY y TRUS (1993) analizan tres medidas alternativas, y sugieren utilizar la varianza de las diferencias estimadas entre niveles de efectos fijos como una medida útil de la conexión.

En definitiva el incremento en precisión 'global' de la evaluación genética puede venir dado por el incremento de la conexión o bien por el incremento de la cantidad de información. En este sentido LALOË *et al.* (1996) compararon los tres criterios anteriormente citados como criterios para medir la 'calidad' (en términos de precisión) de la evaluación genética. Según estos autores, la tasa de conexión propuesta por FOULLEY *et al.* (1992) no es apropiada para determinar la precisión global, ya que decrece con la cantidad de información, de modo que los valores altos de este índice pueden deberse a una buena conexión o a una escasa información aportada por los datos. Por otro lado la VEP propuesta por KENNEDY y TRUS (1993) como criterio óptimo decrece con el parentesco, favoreciendo los diseños con más individuos emparentados y en consecuencia menor variabilidad genética. Según LALOË *et al.* (1996) el CD propuesto por LALOË (1993) se presenta como el método más adecuado para evaluar la precisión de la evaluación genética y optimizar los dise-

ños correspondientes, ya que combina la estructura del diseño y la cantidad de información contenida en los datos, y tiene en cuenta la VEP y la variabilidad genética.

Los Esquemas selección y el progreso genético

En muchos de los programas de mejora de vacuno de carne puestos en marcha se ha optado por proporcionar regularmente al ganadero una serie de valoraciones genéticas para que éste haga un uso individual de las mismas a la hora de orientar la selección de su rebaño. Está claro que bajo este funcionamiento resulta difícil intervenir en el progreso genético de la población, aún cuando éste exista en muchos casos. Sin embargo, el futuro de los programas de mejora ha de pasar por la sistematización y orientación clara de los esquemas hacia la búsqueda de un compromiso entre el progreso a corto y largo plazo, especialmente en aquellas poblaciones donde el censo es relativamente reducido.

Maximización del progreso genético - optimización a corto plazo

En los programas de mejora genética puestos en marcha durante las últimas décadas, la maximización del progreso genético ha venido siendo el objetivo principal, si bien el éxito del programa de mejora a largo plazo dependerá también del mantenimiento de la variabilidad genética. No obstante y sin atender a otras consideraciones, podríamos decir que el diseño óptimo de un esquema de mejora es aquel que nos permita obtener una máxima precisión de la evaluación y en consecuencia un máximo progreso genético para una intensidad de selección y una variabilidad genética determinadas. En este sentido FOULLEY *et al.* (1990b) y LALOË (1993) afirman que los métodos de búsqueda del diseño óptimo deben adaptarse al contexto de la evaluación genética y la selección, lo cual pasaría por planificar parcialmente la estructura de los datos para obtener una mayor eficiencia de los programas de control de rendimientos.

Pero además de la optimización desde de la perspectiva de la precisión de la evaluación genética, la respuesta a la selección obtenida en el conjunto de la población dependerá asimismo de la estructura de la población y los estratos implicados, los objetivos planteados y de las vías de transmisión del progreso genético.

En cuanto a la estructura de las poblaciones de vacuno de carne, podemos destacar dos estratos principales: un núcleo de selección y una población base comercial hacia la que se transmite el progreso genético obtenido en el núcleo. En los esquemas de mejora de las razas bovinas españolas, en los que conviven la práctica de la inseminación artificial (IA) y de la monta natural, las explotaciones del núcleo de selección pueden asimismo clasificarse en distintos estratos según el grado de utilización de la IA, al igual que señalan PHOCAS *et al.* (1995b) para las razas francesas. En este contexto, PHOCAS *et al.* (1995b) evalúan la respuesta genética esperada para el crecimiento en el programa de mejora de Limousine y observan que, a igual tasa de IA utilizada, se obtendrían mayores respuestas concentrando la IA en una fracción de los rebaños que manteniendo una tasa pareja de IA en todos los rebaños, si bien estos autores no evalúan en su trabajo el efecto de la desconexión.

Por otra parte la heterogeneidad de sistemas de producción, y en consecuencia de

objetivos de selección, es también un condicionante de la eficiencia global del esquema de mejora. Así, en la mayoría de nuestras razas conviven principalmente dos tipos de sistemas: los productores de terneros al destete (explotaciones de madres) y las explotaciones de ciclo cerrado. En este sentido PHOCAS *et al.* (1995a) evalúan la eficiencia del esquema de selección de los toros de IA para el crecimiento en Limousine, concluyendo que el esquema francés es más eficiente para el objetivo global del productor de terneros que para los objetivos de los ciclos cerrados. No obstante estos autores observan que la respuesta para un objetivo promedio de ambos sistemas es robusta y mayor que las respuestas para los objetivos individuales de cada estrato, a pesar de que la respuesta materna esperada es ligeramente negativa y en cualquier caso terriblemente incierta dados los elevados errores de muestreo de los parámetros genéticos.

A modo de conclusión de este apartado podemos decir que la maximización del progreso genético en el conjunto de la población depende de múltiples factores que deben ser evaluados de un modo conjunto. El análisis de la eficiencia de los esquemas actualmente puestos en marcha en las poblaciones de vacuno de carne españolas, en la línea de los planteados por PHOCAS *et al.* (1995a, b) para los caracteres de crecimiento en Limousine, permitiría conocer mejor la situación de dichos esquemas en términos de progreso genético, así como los puntos a incidir para lograr una utilización óptima de los recursos disponibles. Más aún, una evaluación completa de la eficiencia de dichos esquemas de selección debería incluir en el modelo otros caracteres, como la eficiencia alimentaria (medida sólo en centros de testaje), la calidad de la canal y los caracteres reproductivos (*e.g.* fertilidad y facilidad de parto). Por último mencionar que, tal y como veremos a continuación, otros aspectos deben ser también considerados en a la hora de optimizar un programa de mejora a largo plazo, como la reducción de la varianza genética debida a la selección.

Restricción de la consanguinidad - optimización a largo plazo

La optimización de los esquemas de mejora debería además tener en cuenta los efectos de las decisiones de selección a largo plazo. Hasta la fecha, la elección de los progenitores en vacuno de carne se ha venido realizando, para muchos caracteres productivos, por truncamiento. Ésta parece ser la estrategia óptima para maximizar el progreso genético a corto plazo, pero la selección por truncamiento a partir de los BLUP-EBVs puede conducir a un elevado incremento de la consanguinidad y reducción de la varianza genética.

Particularmente en nuestras razas, donde los censos no son en muchos casos elevados, los esquemas de selección y de apareamientos deberían dirigirse también hacia un mantenimiento de la variabilidad genética que garantice la respuesta a la selección en el futuro. En este sentido, el objetivo global puede reformularse hacia la búsqueda de un compromiso entre la maximización del progreso genético y la minimización del incremento de consanguinidad. Las recomendaciones para la restricción de ΔF caen en el rango de 0,5 a 1,3% por generación (*e.g.* FAO, 1998; MEUWISSEN y WOOLIAMS, 1994), pero es difícil generalizar a todas las situaciones, ya que ello depende también del ΔF histórico en la población y la apertura del esquema.

La reciente disponibilidad de elementos para predecir la tasa de consanguinidad en poblaciones bajo selección (WOOLLIAMS y BIJMA, 2000; BIJMA *et al.*, 2001) permite rea-

lizar análisis deterministas para buscar el diseño *a priori* óptimo de un programa de mejora bajo restricciones para el incremento de consanguinidad, tal como hacen VILLANUEVA *et al.* (2000) en el caso poblaciones con selección masal y generaciones solapadas. Estos autores muestran que la restricción de consanguinidad se logra principalmente incrementando el número de progenitores y, en menor medida, aumentando el intervalo generacional, si bien esta segunda medida resulta obligada en el caso de poblaciones pequeñas. Sin embargo, los diseños óptimos desde un punto de vista poblacional no son siempre aplicables en el ámbito de la producción animal, donde cuestiones como el número de progenitores a seleccionar, la relación entre machos y hembras o incluso el intervalo generacional no son elementos demasiado modificables.

Otra opción más factible en nuestro caso puede ser optimizar la elección de los candidatos en cada ronda de selección con vistas a limitar el aumento del parentesco medio de la población, tal y como plantean MEUWISSEN y SONESSON (1998) en un procedimiento dinámico que los autores denominan "método de la contribución óptima". Este sistema proporciona una norma de selección que maximiza el mérito genético de los animales seleccionados limitando el parentesco medio de la población tras el proceso de selección, y se presenta como un método de especial interés en el caso de poblaciones pequeñas en las que interesa un reducido incremento de la consanguinidad.

Por otra parte el esquema de apareamientos es también una importante herramienta para mejorar la estructura genética de la población. Tal y como muestran CABALLERO *et al.* (1996), el apareamiento no aleatorio permite reducir la tasa de consanguinidad con un efecto reducido en el progreso genético obtenido en la selección fenotípica o a partir de BLUP-EBVs. En este contexto el apareamiento de coascendencia mínima conduce a aparear los animales de familias con elevados EBVs con los de otras familias con menor superioridad genética, evitando el efecto acumulativo de la selección BLUP sobre determinadas familias, conectando familias no emparentadas y evitando los parentescos extremos. También SONESSON y MEUWISSEN (2000, 2002) analizan el efecto del apareamiento de coascendencia mínima en poblaciones en las que se practica el método de la contribución óptima con restricción de DF. En estas circunstancias, el apareamiento de coascendencia mínima mejora la respuesta genética (11-18% superior en el caso de generaciones solapadas) respecto al apareamiento aleatorio, ya que los parentescos entre animales con mayores EBV se ven reducidos y se reducen además los niveles de consanguinidad de la futura generación, lo que conduce a una mayor variabilidad genética.

En definitiva, la optimización de un esquema de mejora requiere el planteamiento de objetivos y políticas de actuación globales para garantizar el mantenimiento de la población y el progreso genético a corto y largo plazo, y debería pasar por la intervención en las decisiones sobre selección y apareamiento de los animales. Sin embargo ello topa en algunos casos con la imposibilidad de hacer actuar al ganadero según los requerimientos del diseño. La labor del mejorador quedaría pues restringida a la elección de los toros de IA y a proporcionar al ganadero asesoramiento junto con las herramientas necesarias (por ejemplo los grupos de candidatos o los apareamientos aconsejados y/o desaconsejados) para que el ganadero actúe en lo posible dentro de las directrices planteadas. También una labor de sensibilización junto con determinadas políticas de incentivación podrían ser de gran ayuda en algunos casos.

Incorporación de la información molecular en los programas de selección

Al igual que en otras especies, en los programas de selección de vacuno de carne no se hace un uso formal de la información molecular. No obstante, dicha información es en ocasiones utilizada de modo individual por determinados productores o gestores de esquemas para rellenar el espacio dejado por las valoraciones BLUP en apoyo a sus decisiones de selección (MANFREDI *et al.*, 2001). En este sentido, el uso más común y sistemático en el vacuno de carne es la identificación de animales portadores de genes recesivos en el caso de que el efecto dependa de un solo gen. Éste es el caso del BLAD, del gen de la miostatina o de determinados genes asociados al color de la capa (BIF, 2002). En nuestro país, la información sobre el genotipo para el gen de la miostatina está disponible en animales de raza Asturiana de los Valles, donde los ganaderos utilizan dicha información para decidir si dejan como reposición los animales portadores o si son llevados a la estación de testaje (CAÑÓN, 2002; comunicación personal). Otra evidente utilidad de la información del ADN es la comprobación del parentesco; en este sentido, en muchos países se utiliza la información molecular de forma rutinaria para la verificación del pedigrí (BWG-ICAR, 2002).

La práctica de la Selección Asistida por Marcadores (SAM) constituye todavía una utilidad potencial de la información molecular. Si bien es cierto que estamos en un momento de intensa búsqueda y mapeo de QTLs asociados al crecimiento y características de la canal y de la carne (DAVIS *et al.*, 1998; STONE *et al.*, 1999; CASAS *et al.*, 2000; CASAS *et al.*, 2001; LI *et al.*, 2002), también es cierto que existe una diversidad entre y dentro de razas que puede afectar la expresión de los genes (CASAS *et al.*, 2001). Ello hace necesario caracterizar la variación de las distintas zonas genómicas en cada raza antes de establecer un uso sistemático de estos QTLs. Está claro que la información molecular puede ser de gran ayuda para aquellas características que que se expresan tarde en la vida de un animal (calidad, consumo, resistencia y longevidad) y son costosas y/o difíciles de medir (TAYLOR *et al.*, 1998). No obstante, una vez identificados los genes o las zonas cromosómicas ligadas al carácter de interés, el beneficio potencial de utilizar la información molecular dependerá del efecto del/los QTLs sobre el carácter, de la estrategia de tipado y del uso de esta información en la predicción del valor genético (MARSHALL *et al.*, 2002), así como de las estrategias de utilización de dicha información en los esquemas de selección. En este sentido, KEELE y FAHRENKRUG (2002) han analizado el uso del genotipo del gen de la miostatina en algunos individuos para determinar las estrategias de apareamiento óptimas en vacuno de carne, si bien dichas estrategias dependen de la situación de mercado de la carne de calidad. En cualquier caso, el impacto de la implementación tanto de estrategias de apareamientos como de la selección asistida por marcadores propiamente dicha dependerá, al igual que en el modelo poligénico, del horizonte del tiempo en el que se evalúe (MANFREDI *et al.*, 2001).

Bibliografía

ALBURQUERQUE L.G., MEYER K., 2001. Estimates of covariance functions for growth from birth to 630 days of age in Nelore cattle. J. Anim. Sci. 79: 2776-2789.

ARCHER J.A., RICHARDSON E.C., HERD R.M., ARTHUR P.F., 1999. Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: a review. Aust. J. Agric. Res. 50: 147-161.

ARTHUR P.F., ARCHER J.A., JOHNSTON D.J., HERD R.M., RICHARDSON E.C., PARNELL P.F., 2001. Genetic and phenotypic variances and covariance components for feed intake, feed efficiency, and other postweaning traits in Angus cattle. J. Anim. Sci.79: 2805-2811.

BAKER R.L., 1980. The role of maternal effects on the efficiency of selection in beef cattle: A review. *Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod.* 40: 285-303.

BAÑOS G., SIGURDSSON A., 1996. Application of conteñporary methods for the use of international data in national genetic evaluations. J. Daity. Sci. 79: 1117-1125.

BEILHARZ R.G., LUXFORD B.G., WILKINSON J.L., 1993. Quantitative genetics and evolution: Is our understanding of genetics sufficient to explain evolution?. Journal of Animal Breeding and Genetics. 100: 161-170.

BENYSHEK L.L., HERRING W.O., BERTRAND J.K., 1994. Genetic evaluation across breed and countries: prospects and implications. En: Proc. 5th WCGALP, Guelph, Ontario, Canada.

BERTRAND J.K., WIGGANS G.R., 2002. Validation of data and review of results from genetic evaluation systems for US beef and dairy cattle.

BIF 2002. BEEF IMPROVEMENT FEDERATION GUIDELINES. DRAFT VERSION.

BIJMA P., VAN ARENDONK J.A., WOOLLIAMS J.A., 2001. Predicting rates of inbreeding for livestock improvement schemes. J. Anim. Sci. 79: 840-853.

BOETTCHER P.J., JAIRATH L.K., DEKKERS J.C.M., 1998. Alternative methods for genetics evaluation of sires for survival of their daughters in the first three lactations. In 'Proc. 6th World Congress on Genetics Applied to Livest. Prod. 23: 363.

BWG-ICAR, 2002. ICAR Guidelines for Beef Recording. Draft Document. Version 3.

CABALLERO A., SANTIAGO E., TORO M.A., 1996. Systems of mating to reduce inbreeding in selected populations. Anim. Sci. 62: 431-442.

CASAS E., SHAKELFORD S.D., KEELE J.W., STONE R.T., KAPPES S.M., KOOHMARAIE M., 2000. Quantitative trait loci affecting growth and carcass composition of cattle segregating alternate forms of myostatin. J. Anim. Sci. 78: 560-569.

CASAS E., STONE R.T., KEELE J.W., SHAKELFORD S.D., KAPPES S.M., KOOHMARAIE M., 2001. A comprenhensive search for quantitative trait loci affecting growth and carcass composition of cattle segregating alternatives forms of the myostatin gene. J. Anim. Sci. 79: 854-860.

DAVIS G.P., HETZEL D.J.S., CORTBET N.J., 1998. The mapping of quantitatibve traits loci for bith weight in atropical beef herd. 6WCGALP. Armidale, Australia 26: 441-444.

DE MATTOS D., MISZTAL I., BERTRAND J.K., 2000a. Variance and covariance components for weaning weight for Herefords in three countries. J.Anim. Sci. 78: 33-37.

DE MATTOS D., BERTRAND J.K., MISZTAL I., 2000b. Investigation of genotype x environment interactions for weaning weight for Herefords in three countries. J. Anim. Sci. 78: 2121-2126.

DENISE R.S.K., BRINKS J.S., 1985. Genetics and enviromental aspects of the growth curve parameters in beef cows. J. Anim. Sci. 61: 1431-1440.

DÍAZ C., CARBAÑO M.J., HERNÁNDEZ D., 1993. Estimación y Predicción en presencia de desconexión de los datos. ITEA. Vol Extra 12: 322-324.

DÍAZ C., CARBAÑO M.J., 2000. La raza Avileña Negra –Ibérica: nuevas aportaciones al esquema de selección. FEAGAS. 17: 64-69.

DÍAZ C., CHIRINOS Z., MORENO A., CARABAÑO M.J., 2002. Preliminary analysis of functional longevity in the Avileña Negra Ibérica Beef cattle breed. Proc. 7th WGALP. (In press).Montpellier. Francia.

DÍAZ C., MORENO A., CARABAÑO M.J., 2002. Effects of genetic groups on estimates of variance components for a maternally influenced trait in the Spanish Limousine. J. Anim. Breed. Genet. (En prensa).

DUCROCQ V.P., 1987. An nalysis of lenght of productive life in dairy cattle. PhD. Thesis, Cornell University., Ithaca, New York, USA.

DUCROCQ V.P., SÖLKNER J., 1994. "The survival kit". A fortran package for the analisys of suvival data. In 'Proc. 5th World Congress on Genetics Applied to Livest. Prod. Vol. 22, p.51, Univ. of Guelph.

DUCROCQ V.P., SÖLKNER J., 1998. 'The Survival Kit V3.0'-a package for large analysis of survival data.

In 'Proc. 6th World Congress on Genetics Applied to Livest. Prod. 27: 447-448.

ESSL A., 1998. Longevity in dairy cattle breeding: a review. Livest. Prod. Sci. 57: 79-89.

ENDRES S., DE CATERINA R., SCHMIDT E.B., KRISTENSEN D., 1995. Review n-3 Polyunsaturated fatty acids: update 1995.European Journal of Clinical Investigation 25: 629-638.

ENSER M., HALLET K.G., HEWETT B., FURSEY G.A.J., WOOD J.D., HARRINGTON G., 1998. Fatty acid content and composition of UK beef and lamb muscle in relation to production system and implications for human nutrition. Meat Science 49: 329-341.

EVERETT R.W., KEOWN J.F., TAYLOR J.F., 1982. The problem of heterogeneous zithin herd error variances when identifying elite cows. J. Dairy Sci. 65 (Supl.1), 1 (Abstr.).

FAO, 1998. Secondary guidelines for development of national farm animal genetic resources managemant plans: management of small populations at risk. Rome.

FERNÁNDEZ M.T., ALENDA R., 1999. Pesos económicos en vacuno de carne de la raza Avileña-Negra-Ibérica para la aplicación aun programa de mejora. ITEA. Vol. Extra 20 (I): 339-341.

FOUILLOUX M.N., LALOE D., 2001. A sampling method for estimating the accuracy of predicted breeding values in genetic evaluation. Genet Sel Evol. 33: 473-86.

FOULLEY J.L., GIANOLA D., SAN CRISTOBAL M., IM S., 1990a. A method for assessing extent and sources of heterogeneity of residual variances in mixed linear models. J. Dairy Sci. 73: 1612.

FOULLEY J.L., BOUIX J., GOFFINET B., ELSEN J.M., 1990b. Connectedness in genetic evaluation, pp 277-308. En: Advances in Statistical Methods for Genetic Improvement of Livestock. G. Gianola and K. Hammon (Eds). Ed. Springer-Verlag, New York.

FOULLEY J.L. HANOCQ E., BOICHARD D., 1992. A criterion for ñeasuring the degree of connectedness in lineal models for genetic evaluation. Genet. Sel. Evol. 24: 315-330.

GARRICK D.J., POLLAK E.J., QUAAS R.L., VAN VLECK L.D., 1989. Variance heterogeneity in direct and maternal weight traits by sex and percent puberbresd for Simmental-sired calves. J. Anim. Sci. 67: 2515-2525.

GARRICK D.J., VAN VLECK L.D., 1987. Aspects of selection for performance in several environments with heterogeneous variances. J. Anim. Sci. 65: 409-421.

GERSTMAYR S., 1992. Impact of the data structure on the reliability of the estimated genetic parameters in an animal model with maternal effects. *J. Anim. Breed. Genet.* 109: 321-336.

GIANOLA D., 1986. On selection criteria and estimation of parameters when the variance is heterogeneous. Theor. Appl. Genet. 72: 671-677.

GIBSON J.P., WILTON J.W., 1998. Defining multiple-Traits objectives for sustainable genetic improvement. 76: 2303-2307.

GRASER H.U., WILSON D., 2002. Ultrasound measurements. ICAR Guidelines for Beef Recording. Draft DOCUMENT. VERSION 3.

GUTIÉRREZ J.P., CAÑÓN J., GOYACHE F., 1997. Estimation of direct and maternal genetic parameters for preweaning traits in the Asturiana e los Valles beef cattle breed throuh animal and sire models. J. Anim. Breed. Genet. 114: 261-266.

HENDERSON C.R., 1984. *Applications of linear models in animal breeding*. University of Guelph, Guelph.

HENDERSON C.R., 1988. Theoretical basis and computacional methods for a number of different animal models. J. Dairy Sci. 71 (Suppl. 2), 1-16.

HILL W.G., 1984. On selection among groups with heterogeneous variance. Anim. Prod. 39: 473-477.

HYDE L.R., 2000. An application of survival analysis to the genetic evaluation of reproductive life of beef females. PhD Dissertation. Colorado State University.

HYDE L.R., BOURDON R.M., GOLDEN B.L., COMSTOCK C.R., 1998. Genotype by environment interactions for growth and milk traits in an international population of Charolais cattle. J. Anim. Sci. 76 (Supl. 1), 60 (Abstr.).

KALBFLEISCH J.D., PRENTICE R.L., 1980. The statical analysis of failure time data. Wiley, New York, N.Y.

KACHMAN S.D., EVERETT R.W., 1993. A multiplicative mixed model when the variances are heterogeneous. J. Dairy. Sci. 76, 859.

KEELE J.W., FAHRENKRUG S.C., 2002. Optimun mating systems for the myostatin locus in cattle. J. Anim. Sci. 79: 2016-2022.

KEMP R.A., 1994. Genetics of meat quality in cattle. 5th WCGALP. Vol. 19. pp (439-445). Guelph (Canada), 7-12 Agosto.

KENNEDY B., VAN DER WERF J.H.J., MEUWISSEN T.H.E., 1993. Genetic and statistical properties of residual feed intake. J. Anim. Sci. 71: 3239-3250.

KENNEDY B.W., TRUS D., 1993. Considerations on genetic connectedness betwen management units under an animal model. J. Anim. Sci. 71: 2341-2352.

KIRKPATRICK M., HECKMAN N., 1989. A quantitative-genetic model for growth, ahape, reaction norms, and other infinite-dimensional characteres. J. Math. Biol. 27: 429-450.

KIRKPATRICK M., LOFSVOLD D. BULMER M., 1990. Analysis of the inheritance, selectio and evolution of growth trajectories. Genetics 124: 979-993.

KOOTS K.R., GIBSON J.P., SMITHS C., WILTON J.W., 1994a. Analyses of published genetic paramer estimates for beef production traits. 1. Heritability. Anim. Breed. Abstr. 62: 309-338.

KOOTS K.R., GIBSON J.P., SMITHS C., WILTON J.W., 1994b. Analyses of published genetic paramer estimates for beef production traits. 2. Phenotypic and genetic correlations. Anim. Breed. Abstr. 62: 825-843.

LALOË D., 1993. Precision and information in linear models of genetic evaluation. Genet. Sel. Evol. 25: 557-576.

LALOË D., PHOCAS F., MÉNISSIER F., 1996. Considerations about measures of precision and connectedness in mixed linear models of genetic evaluation. Genet. Sel. Evol. 28: 359-378.

LEE D.H., BERTRAND J.K., 2002. Investigation of genotype × country interactions for groth traits in beef cattle. J. Anim. Sci. 80: 330-337.

LI C., BASARAB J., SNELLING W.M. ET AL., 2002. The identification of common haplotypes on bovine chromosome 5 within commercial lines of *Bos taurus* and their association with growth traits. J. Anim. Sci. 80: 1187-1194.

LOVE J., 1994. Product acceptability evaluation: In: Quality attributes and their meassurements in meat, poultry and fish products. Eds. A.M. Pearson and T.R. Dustson pp:337-358. Blackie Academic & Profesional. Glasgow.

MANFREDI E., ROCHAMBEAU H., ELSEN J.M., 2001. Optimisation des schémas de selection assitée par marqueurs. Séminaire du Depártement de Génétique animale de l'INRA. QTL de la détection à lútilisation. Batz-sur-Mer. 24-26 September.

MARSHALL D.R., 1999. Genetics of meat quality. The Gennetics of Cattle. Ed: R. Fries and A. Ruvinsky. CABI Publishing. Reino Unido. pp: 635-636.

MARSHALL K., HENSHALL J., VAN DER WERF J.H.J., 2002. Response from marker assited selection when various prpoprtions of animals are marker typed: a multiple trait simulation study relevant to the sheepment industry. Anim. Sci. 74: 223-232.

MEUWISSEN T.H.E., DE JONG G., ENGEL B., 1996. Joint estimation of breeding values and heterogeneous variances in large data files. J. Dairy. Sci. 79: 310.

MEUWISSEN T.H.E., SONESSON A.K., 1998. Maximizing the response of selection with a predefined rate of inbreeding: overlapping generations. J Anim Sci. 76: 2575-83.

MEUWISSEN T.H.E., WOOLLIAMS J.A., 1994. Effective sizes of livestock populations to prevent a decline in fitness. Theor. Appl. Genet. 89: 1019-1026.

MEYER K., 1992a. Variance components due to direct and maternal effects for growth traits of Australian beef cattle. Livest. Prod. Sci. 31: 179-204.

MEYER K., 1992b. Bias and sampling covariances of estimates of variance components due to maternal effects. *Genet. Sel. Evol.* 24: 487-509.

MEYER K., 1995. Estimates of genetic parameters and breeding values for New Zealand and Australian Angus cattle. Aust. J. Agric. Res. 46: 1219-1229.

MEYER K., 1999. Estimates of genetic and phenotypic covariance functions for postweaning growth and mature weight of beef cows. J. Anim. Breed. Genet. 116: 181-205.

MEYER K., 2000. Random regressions to model phenotypic variation in monthly weights of Australian beef cows. Livest. Prod. Sci. 65: 19-38.

MEYER K., GARRICK D.J., 1996. Scope for a joint genetic evaluation of New Zealand and Australian Angus cattle. Proc. Aust. Assoc. Anim. Breed. Genet. Vol. 11. 250-253.

NOTTER D.R., TIER B., MEYER K., 1992. Sire × herd interactions for weaning weight in beef cattle. J. Anim. Sci. 70: 2359-2365.

OSORO K., 1997. Sustainability of production systems under different conditions. LSIRD Workshop. Granada 23-24 mayo.

PILES M., 2000. Análisis bayesiano de los efectos de la selección por velocidad de crecimiento sobre las curvas de crecimiento y la calidad de la canal y la carne de conejo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España.

PHOCAS F., BLOCH C., CHAPELLE P., BÉCHEREL F., RENAND G., MÉNISSIER F., 1998. Developing a breeding objetive for a French purebred beef cattle selection programme. Livest. Prod. Sci. 57: 49-65.

PHOCAS F., COLLEAU J.J., MÉNISSIER F., 1995a. Expected efficiency of selection for growth in a French beef cattle breeding scheme. I. Multistage selection of bulls used in artificial insemination. Genet. Sel. Evol. 27: 149-170.

PHOCAS F., COLLEAU J.J., MÉNISSIER F., 1995b. Expected efficiency of selection for growth in a French beef cattle breeding scheme. II. Prediction of asymptotic genetic gain in a heterogeneous population. Genet. Sel. Evol. 27: 171-188.

PLETCHER S.D., GEYER C.J., 1999. The genetic analysis of age-dependent traits: modeling the character process. Genetics. 151-163.

POOL M.H., MEUWISSEN T.H.E., 2000. Reduction of number of parameters neeed for a polynomial random regression test day model. Livest. Prod. Sci. 64: 133-145.

QUAAS R.L., GARRICK D.J., MCELHENNEY W.H., 1989. Multiple trait prediction for a type of model with heterogeneous genetic and residual covariance structures. J. Anim. Sci. 67: 2529-2535.

QUAAS R.L., POLLAK E.J., 1980. Mixed model methodology for farm and ranch beef cattle testing programs. *J. Anim. Sci.* 51: 1277-1287.

QUITANILLA R., MILLÁN M.J., DÍAZ C., GOYACHE F., PIEDRAFITA J., 2000. Selection objectives in trhee Spanish beef cattle breeds. Final Report of FAIR1 CT95 0702.

QUINTANILLA R., LALOË D., RENAND G., 2002a. Heteroskedasticity and genotype by environment interaction across European countries for weaning weight in Charolais breed. 33rd ICAR session and Interbull meeting. Interlaken (Suiza), 26-31 mayo 2002.

QUINTANILLA R., LALOË D., RENAND G., 2002b. Heterogeneity of variances across regions for weaning weight in Charolais breed. Proc. 7th WGALP. (In press). Montpellier. Francia.

QUINTANILLA R., VARONA L., PUJOL M.R., PIEDRAFITA J., 1999. Maternal Animal Model with Correlation between Maternal Environmental Effects of Related Dams. Journal of Animal Science 77: 2904-2917.

RAINIERI C., SCORDAMAGLIA L.P., PIERAMATI C., MARTINO G., 1994. Variation and relationship of intramuscular fat, colesterol content and fatty acyds composition of utalian chianina beef cattle meta. 5th WCGALP. Vol.19, pp. (481-484). Guelph (Canada), 7-12 Agosto.

RENAND G., 1993. Actual basis for genetic selection in beef. Internacional Workshop on Proteolysis and Meat Quality. Clemond-Ferrand (France) 24-28 Mayo.

RENAND G., BERGE P., PICARD B., ROBELIN J., GEAY Y., KRAUSS D., MÉNISIER F., 1994. Genetic parameters of beef production and meat quality traits of young Charolais bull progeny of divergently selected sires. 5th WCGALP. Vol.19, pp. (446-449). Guelph (Canada). 7-12 Agosto.

RENAND G., TOURAILLE C., GEAY Y., BERGE P., LEPETIT J., PICARD B., 1997. Variabilité des qualities organoleptiques de la viande bovine en relation avec les caractéristiques musculaires. Renc. Rech. Rumiants 4: 311-314.

REVERTER A., JOHNSTON D.J., GRASER H.U., 2002. First experiences with an across country genetic evaluation system for beef cattle. 33rd ICAR session and Interbull meeting. Interlaken (Suiza), 26-31 mayo 2002.

REVERTER A., TIER B., JOHNSTON D.J., GRASER H.U., 1997. Assessing the efficiency of a multiplicative mixed model equations to account for heterogeneous variance across herds in carcass scan from beef cattle. J. Anim. Sci. 75: 1477-1485.

RILEY D.G., CHASE C.C., HAMMOND A.C., WEST R.L., JOHNSON D.D., OLSON T.A., COLEMAN S.W., 2002. Estimated genetic parameters for carcass trait of Brahman cattle. J. Anim. Sci. 80: 955-962.

ROBINSON D.L., 1996a. Estimation and interpretation of direct and maternal genetic parameters for weights of Australian Angus cattle. *Livest. Prod. Sci.* 45: 1-11.

ROBINSON D.L., 1996b. Models which might explain negative correlations between direct and maternal genetic effects. *Livest. Prod. Sci.* 45, 111-122.

RODRÍGUEZ-ALMEIDA F.A., VAN VLECK L.D., CUNDIFF L.V., 1995. Heterogeneity of variance by sire breed, sex, and dam breed in 200- and 365-day weights of beef cattle from a top cross experiment. J. Anim. Sci. 73: 2579-2588.

RUMPH J.M., KOCH R.M., GREGORY K.E., CUNDIFF L.V., VAN VLECK L.D., 2002. Comparison of models for estimation of genetic parameters formature weight of Hereford cattle. 80: 583-590.

SAN CRISTOBAL M., FOULLEY J.L., MANFREDI E., 1993. Inference about multiplicative heteroskedastic components of variance in a mixed linear Gaussian model with an application to beef cattle breeding. Genet. Sel. Evol. 25: 3-30.

SAÑUDO C., 1995. La calidad organoléptica de la carne con especial referencia a la especie ovina. Factores que la determinan, métodos de medida y causas de variación. Mimeo. Facultad de Veterinaria de Zaragoza.

SCHALEFER L.R., 1994. Multiple-country comparison of dairy sires. J. Dairy Sci. 77: 2671-2678.

SCHAEFFER L.R., 2001. Multiple trait international bull comparisons. Livest. Prod. Sci. 69, 145-153.

SCHAEFFER L.R., JAMROZIK J., KISTEMAKER G.J., VAN DOORMAL B.J., 2000. Experience with a test-day model. J. Dairy Sci. 83: 1135-1144.

SCHENKEL F.S., MILLER S.P., JAMROZIK J., WILTON J.W., 2002. Two-step and random regression analyses of weight gain of station-tested beef bulls. J. Anim Sci. 80: 1497-1507.

SHI M.J., LALOË D., MÉNISSIER F., RENAND G., 1993. Estimation of genetic parameters of preweaning performance in the French Limousin cattle breed. Genet. Sel. Evol. 25: 177-189.

SIMIANER H., TÄUBERT H., KUTTNER K., 2001. Synthesis of the ICAR survey of beef recording guidelines.

SONESSON A.K, MEUWISSEN T.H.E., 2000. Mating schemes for optimum contribution selection with constrained rates of inbreeding. Genet. Sel. Evol. 32: 231-248.

SONESSON A.K, MEUWISSEN T.H.E., 2002. Non-random mating for selection with restricted rates of inbreeding and overlapping generations. Genet Sel Evol. 34: 23-39.

STONE R.T.J., KEELE J.W., SHAKELFORD S.D., KAPPES S.M., KOOHMARAIE M., 1999. A primary screen of the Bovine genome for quantitative trait loci affecting carcass and growth traits. J. Anim. Sci. 77: 1379-1384.

STRANDBERG E., SÖLKNER J., 1996. Breeding for longevity and survival in dairy cattle. Proceedings International Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle. Interbull Gembloux, Belgium. Bulletin N° 12, pp.111-119.

VAN DER WERF, J.H.J., GODDARD M.E., MEYER K., 1998. The use of covariance functions and random regressions for genetic evaluation of milk production based on test day records. J. Dairy Sci. 81: 3300-3308.

VARONA L., MORENO C., GARCÍA-CORTÉS L.A., ALTARRIBA J., 1997. Multiple trait genetic analysis of underlying biological variables of production functions. Livest. Prod. Sci. 47: 201-209.

VARON L., MORENO C., GARCÍA-CORTÉS L.A. YAGUE J., ALTARRIBA G., 1999. Two-step versus joint analysis of Von Bertalanffy function. J. Anim. Breed. Genet. 116: 331-338.

VILLANUEVA B., BIJMA P., WOOLLIAMS J.A., 2000. Optimal mass selection policies for schemes with overlapping generations and restristed inbreeding. Genet. Sel. Evol. 32: 339-355.

VINSON W.E., 1987. Potential bias in genetic evaluations from differences in variation within herds. J. Dairy Sci. 70: 2450-2455.

VOLLEMA A., 1998. Longevity in dairy cattle. Phd. Dissertation. Wageningen. The Netherlands.

VUKASINOVIC N., 1999. Aplication of survival analysis in breeding for longevity. Workshop on Genetic Improvement of Funtional Traits in Cattle-Longevity-. Interbull Jouy-en-Josas, France.

WOOD J.D., HOLDERS J.S., MAIN D.C.J., 1998. Quality assurances schemes. Proc. 44th ICoMST, Barcelona, Spain. 206-215.

WOOLLIAMS J.A., BIJMA P., 2000. Predicting rates of inbreeding in populations undergoing selection. Genetics 154: 1851-1864.

YU-POTH S., ZHAO G., ETHERTON T., NAGLAK M., JONNALAGADDA S., KRIS-ETHERTON P.M., 1999. Effects of the national cholesterol eduction program's step I and step II dietary intervention programs on cardiovascular disease risk factors: a meta –analysis. Am J Clin Nutr 69: 632-646.

ITEA (2002), Vol. 98A N.° 2, 140-153

ESTADO Y DEMANDAS ACTUALES DE LOS PLANES DE MEJORA DE LA PRODUCCIÓN OVINA DE CARNE

Juan Altarriba Farran

Unidad de mejora animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, C/ Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, España
e-mail: altarrib@posta.unizar.es

RESUMEN

Se describen las características del sector ovino español productor de carne en el contexto de la Unión Europea. Este sector manifiesta como principal característica un perfil estructuralmente deficitario con unas 25 mil Tm/año, en un entorno europeo también deficitario. Se trata de una producción extensiva o semiextensiva asociada al mantenimiento del medio ambiente y protegida mediante incentivos, que posee una imagen de calidad ante el consumidor. Se ubica en zonas con escasa producción herbácea y se produce a partir, fundamentalmente, de animales muy adaptados al medio, rústicos y poco seleccionados pertenecientes a razas autóctonas.

La mejora genética de estas poblaciones en raza pura se articula a través de programas específicos que son aprobados e incentivados por la Administración a través de las Asociaciones de criadores reconocidas. Tienen aprobado un programa de mejora genética cuatro razas autóctonas y una agrupación de razas. Las razas autóctonas son: Merina, Rasa Aragonesa, Segureña y Navarra. La agrupación Ovinos precoces está compuesta por las razas Merino Precoz, Landschaf, Merino Fleischschaf, Ile de France, Berrichon du Cher y Charmoise.

Se describen los objetivos de mejora y los criterios de selección de cada raza, especialmente los caracteres que incluyen. Finalmente, se especifican las características de las últimas evaluaciones genéticas realizadas en las razas Merina, Rasa Aragonesa, Navarra y Ovinos precoces, en cuanto a número de animales y metodología utilizada. Se termina el trabajo con un diagnóstico de la situación actual y con un somero análisis de las alternativas posibles.

Palabras clave: Ovino de carne, Mejora genética.

SUMMARY
PRESENT STATE AND DEMANDS OF BREEDING PLANS FOR MEAT SHEEP PRODUCTION

The Spanish meat sheep production characteristics in the context of the European Union are described. A structurally deficitary profile, with 25 thousands Tm/year, is a main feature of this sector in an European-like deficitary productive surrounding. It is an extensive or semi extensive production associated to the maintenance of environment and also protected by means of incentives: besides, consumers have a high quality opinion about the product. It is located in areas with little forage production, on the basis of highly environmentally adapted and low selected animals pertaining to autochthonous breeds.

The genetic improvement of these populations in pure breeds, are articulated through specific plans that are approved and stimulated by the Administration by means of the accepted Breeders Associations. Four native breeds and one group of breeds have an animal breeding plan. The native breeds are Merina, Rasa Aragonesa, Segureña and Navarra. The Ovino Precoz group is composed by the breeds Merino Precoz, Landschaf, Merino Fleischschaf, Ile de France, Berrichon du Cher and Charmoise.

Breeding goals and selection criteria of each breed are described, specially the included traits. Finally, the characteristics of the last genetic evaluations made in the Merina, Rasa Aragonesa, Navarra and Ovino Precoz breeds are described, in relation to the number of animals and the methodology used. The work finishes with a present situation diagnosis and a brief analysis of the possible alternatives is made.

Key words: Meat sheep production, Animal breeding.

Introducción

La actual Unión Europea con 15 miembros (UE-15) tiene en relación a la producción de carne ovina un claro protagonismo, ya que es la región con mayor producción mundial y a su vez es la mayor importadora de este tipo de carne. A pesar de todo, la importancia que tiene este sector en el seno de UE-15 es muy reducido al representar alrededor de un 2 por 100 del Producto Final Agrario (BUXADÉ, 1996).

En términos globales, la producción comunitaria de carne ovina viene a suponer un 16% de la producción mundial de este tipo de carne con un censo del 8%. El déficit estructural se cifra en 200-250 mil toneladas (18% del consumo), que se cubre con importaciones fundamentalmente de Nueva Zelanda y Australia.

La producción se concentra en 5 estados con el 85% del censo: Reino Unido, España, Italia, Francia y Grecia. Existe un régimen de cuotas con un complejo sistema de primas o incentivos.

En este contexto, España con un censo de 25 millones de ovinos, 20,5 millones de animales sacrificados y algo menos de 240 mil Tm/año de carne es el segundo productor de la UE-15. El consumo se cifra en 265 mil Tm/año, con 6,5 kg de carne/persona y año (MAPA, 2002). En consecuencia, al igual que en el conjunto de la UE, el perfil del sector ovino de carne en España es estructuralmente deficitario.

La producción de carne ovina representa en España el 6,3% del total de la carne y el 19,4% de la carne ovina comunitaria, mientras que esta producción representa el 3,6% en el conjunto de la UE-15 y el total de carne española el 11,2% en el conjunto de la UE-15.

En el periodo comprendido entre 1985 y 2000 el censo de esta especie se ha incrementado en España un 26%, cantidad nada despreciable pero inferior a los valores alcanzados en el mismo periodo por la especie bovina (42%) y la especie porcina (85%). Además, en este período el crecimiento de la producción ha sido relativamente mayor que el del censo, con un aumento de la prolificidad (número de corderos por oveja) y en menor medida el peso de las canales.

En este sentido, en los 15 años de referencia, el peso medio de las canales de los corderos lechales (7,0 kg) y de los corderos pascuales (12,6 kg) se ha incrementado sólo

entre un 4,5 y un 5%. Los primeros producen el 16% de la carne ovina y los segundos el 78%. Sin embargo, también en estos 15 años, el sacrificio de corderos lechales ha aumentado un 72% y el de corderos pascuales un 17%, lo que determina un ligero descenso en el peso medio de las canales de 11,7 kg en 1985 a 11,4 en 1999 (MAPA, 2002), debido en buena medida al incremento de las canales lechales procedentes de las explotaciones lecheras de Castilla-León y País Vasco, externas en principio al sistema productor de la carne ovina. Los precios / kg percibidos por los ganaderos han aumentado de un 24 a un 29%, según el tipo de canal.

La especie ovina tiene en España una muy larga tradición ganadera. Prácticamente el 90% del censo se ubica en la zona mediterránea, con vegetación herbácea poco abundante, fibrosa y sujeta a una fuerte estacionalidad, que define modelos de explotación extensivos o semiextensivos, a partir fundamentalmente de razas autóctonas con animales muy rústicos, poco seleccionados y muy adaptados al medio.

Estas razas son de menor tamaño y mayor precocidad que las de otras latitudes. A su vez, la escasez de pastos hace que los corderos, después del destete, se críen y ceben en estabulación y se sacrifiquen con poca edad, con canales ligeras, escasamente conformadas, engrasamiento medio o escaso y carne tierna de color rosado.

Ante el consumidor español la carne de ovino posee una buena imagen y se asocia a una alimentación sana y natural. Sin embargo, se trata de un producto caro y tradicionalmente heterogéneo. En este sentido hay que destacar los esfuerzos llevados a cabo para adecuar este producto a las normas ISO 9000 y el interés de la adopción de denominaciones de calidad reconocida, acogidas primero a normas específicas y después avaladas por la UE a través del Reglamento nº 2081/92 como Indicaciones Geográficas Protegidas. De esta manera se intenta diferenciar la singularidad de este producto frente a las carnes de importación que resultan más baratas pero de canales más grandes, rojas y engrasadas, y se busca una estabilidad en el consumo de este producto autóctono.

Organización de la mejora

La determinación y desarrollo de los distintos planes de mejora se lleva a cabo a través de Asociaciones u Organizaciones de criadores reconocidas, según el ámbito de implantación, por el MAPA o por la correspondiente Comunidad Autónoma. Estas entidades son reconocidas como colaboradoras para estos fines, estableciéndose por tanto un modelo de gestión privada con supervisión administrativa.

El Real Decreto 286/1991, en aplicación nacional de la directiva 361/1989, sobre selección y reproducción de ganado ovino y caprino de razas puras, establece la necesidad de disponer de un programa de mejora, conforme con los métodos de control de rendimientos y de evaluación del valor genético fijados por la Decisión de la Comisión de 10 de Mayo de 1990 (90/256/CEE).

En esta decisión se dice que el fin básico de la misma es intentar homologar los métodos de valoración de reproductores de raza pura existentes en los Estados miembros, relacionados con el control de rendimientos y la evaluación genética.

Igualmente, en el Real Decreto citado se hace también transposición de las Decisiones de la Comisión 254/1990, sobre establecimiento de los criterios para la autorización de las Asociaciones y Organizaciones de

ganaderos que lleven o creen libros genealógicos, y 255/1990, sobre determinación de los criterios de inscripción de los reproductores ovinos y caprinos en raza pura.

En el artículo 4°, las Organizaciones o Asociaciones de ganaderos que lleven libros genealógicos, para ser reconocidas oficialmente, deberán disponer, además de un programa de mejora, de un número mínimo de animales inscritos. En las razas ovinas de carne se exige 25.000 reproductoras para la razas Merina y Rasa Aragonesa y 16.000 para las razas Segureña y Ovinos precoces. A esta relación se añadió en 1997 la raza Navarra.

Aquellas razas cuyo censo de reproductores no alcance estos mínimos, podrán aplicar programas específicos de conservación que serán aprobados también por la Administración correspondiente. En el momento actual, tenemos conocimiento que están en esta situación Asociaciones de las razas Ojalada, Ojinegra y Ripollesa, también productoras de carne.

Las reglamentaciones específicas de los libros genealógicos son aprobadas en Resoluciones del MAPA y aparecen en el BOE. Reflejan las peculiaridades de cada raza e incluyen descripciones detalladas de los prototipos raciales, calificación y morfología exigida, registros genealógicos y de ganaderías, sistemas de identificación, defectos eliminatorios. Los programas de mejora se desarrollan posteriormente y se aprueban en Resoluciones del Ministerio.

El proceso se completa con el nombramiento de un inspector que realiza externamente el seguimiento de cada raza, un director técnico del programa, que suele asociarse a la dirección del Centro de selección encargado de realizar las distintas pruebas (CENSYRA), y de un Centro tecnológico asesor que realiza o supervisa las valoraciones genéticas.

El seguimiento y la evaluación del programa de mejora la realiza al menos una vez al año una comisión de composición variable según la raza, integrada como mínimo por el inspector, el director, el asesor científico y por técnicos y representantes de la correspondiente Asociación de ganaderos (cuadro 1). Se planifican las distintas estrategias de mejora y difusión y se publican los resultados de las valoraciones.

El control de rendimientos, el mantenimiento y actualización del libro genealógico, así como las distintas actuaciones previstas para el desarrollo del programa son ejecutadas por el equipo técnico de la Asociación, que tiene una composición y estructura muy variable.

Objetivos y criterios de mejora

Las agrupaciones de ovino de carne que en la actualidad tienen un plan de mejora aprobado son las siguientes: Merino, Rasa Aragonesa, Segureña, Navarra y Ovinos precoces, que incluye las razas Merino Precoz, Landschaf, Merino Fleischschaf, Ile de France, Berrichon du Cher y Charmoise.

Las 4 primeras son razas autóctonas y poseen efectivos importantes, de los cuales un núcleo, cuyo número mínimo de reproductoras ya ha sido comentado, recibe el esfuerzo de selección.

En este punto hemos encontrado una laguna en la información, al no localizar censos actualizados de todas las razas puras que sean fiables. De todas formas, consultados distintos especialistas del sector y a efectos meramente orientativos, se ofrecen los siguientes datos aproximados: la raza Merina con unos 3 millones de ovejas es la más numerosa, le sigue la Rasa Aragonesa con algo más de 2

Cuadro 1. Asociaciones de Criadores, Centros de Selección y Centros Tecnológicos Asesores implicados en los programas de mejora de las razas ovinas de carne
Table 1. Breeders Associations, Selection Centers and Technological Advisor Centers implied in the meat sheep breeding plans

Raza	Asociación criadores	Centro selección	Centro tecnológico
Merino	As. Nacional de Criadores de Ganado Merino (ANCGM)	CENSYRA de Badajoz Hinojosa del Duque	Facultad de Veterinaria Universidad de Córdoba
Rasa Aragonesa	As. Nacional Criadore de Ganado Ovino Selecto de raza Rasa Aragonesa (ANGRA)	CENSYRA de Movera	Facultad de Veterinaria Universidad de Zaragoza
Segureña	As. Nacional de Criadores de Ovino Segureño (ANCOS)	Granja experimental Los Morales de Huescar	Facultad de Veterinaria Universidad de Córdoba
Navarra	As. Nacional de Criadores de Raza Navarra (ARANA)	Centro I.A. de Oscoz	Facultad de Veterinaria Universidad de Zaragoza
Ovinos precoces	As. Española Criadores de Ovinos Precoces (AECOP)	CENSYRA de Badajoz	Servicio de Investigación y Desarrollo Tecnológico de Extremadura

millones de animales, Segureña con 1,3 millones y Navarra con unos 400 mil ejemplares.

En cuanto a los objetivos de selección de cada raza, se han tomado para su presentación las últimas versiones de los programas de mejora de las 5 agrupaciones, cuyas referencias se adjuntan (MAPA, 1992; 1999; 2000; s.f.a, s.f.b).

Los objetivos de mejora, con los caracteres y orden en que se detallan en los programas de mejora, se encuentran resumidos en el cuadro 2.

En este cuadro puede apreciarse una cierta heterogeneidad en la prioridad otorgada a los distintos caracteres de cantidad y/o calidad de la carne, productividad numérica (prolificidad) y cualidades maternas, dentro de un claro y marcado interés por la producción de carne. Una situación especial es la mostrada por la Agrupación de ovinos precoces, en la cual el objetivo que se subraya es la producción de sementales para el cruce industrial con otras razas.

Por el contrario, en las razas autóctonas la población objeto de mejora es la propia raza en pureza, sin comentarse el cruzamiento como posibilidad. De hecho en estas razas, adicionalmente, se incluye el mantenimiento del prototipo racial y la rusticidad o adaptación al medio como caracteres del objetivo de selección. Es también frecuente observar una preocupación por las características reproductivas de los animales, especialmente por la calidad del semen y la aptitud a la monta, en este apartado.

Cuadro 2. Objetivos de selección, con los caracteres en el orden en que se encuentran detallados en los programas de mejora
Table 2. Breeding goals of the Spanish meat sheep breeds

Raza	Objetivo de selección
Merino	Producción de carne
	• Cantidad y calidad de carne
	• Cualidades maternas: leche, fertilidad y prolificidad
	Producción de lana
Rasa Aragonesa	Producción de carne
	• Prolificidad
	• Capacidad materna
Segureña	Producción de carne / oveja a lo largo de su vida
	Corderos/parto, peso, ganancia y longevidad
Navarra	Producción de carne / oveja y año
Ovinos precoces	Producción de sementales para cruce industrial
	• Crecimiento y calidad de la canal
	• Prolificidad y capacidad lechera

De todas formas, por lo general, las definiciones tienen elementos de imprecisión y se realizan en un entorno formal bastante genérico. Sólo en dos razas la formulación del objetivo de selección se ampara en trabajos metodológicamente rigurosos. Es el caso de las razas Segureña (ANALLA *et al.*, 1997a y b) y Navarra (CASTILLO y PONZONI, 1991); este último con datos económicos de las explotaciones en control de producciones.

Los distintos programas de mejora incluyen, además, un conjunto de acciones encaminadas al desarrollo del propio programa. Por lo general se muestra una especial atención a la estructuración piramidal de la población –incluso con distintas fases–, a la producción de sementales a través de apareamientos planificados y, de manera desigual, a la recogida y flujo de información.

En cuanto a los criterios o índices de selección la información disponible es mucho más precisa y detallada. Los caracteres a valorar se hallan perfectamente descritos en los correspondientes programas de mejora. En el cuadro 3 se encuentra un resumen de los caracteres en el orden de prioridad manifestado según el plan previo.

Desarrollo de los programas de mejora

En los siguientes cuadros (cuadros 4 a 8) se resumen las características esenciales de las últimas valoraciones genéticas realizadas en las poblaciones españolas ovinas de carne. En todos los casos la información productiva ha sido recogida en las explotaciones de los respectivos núcleos de control y ha sido analizada con modelos mixtos cuyos efectos de detallan.

En la raza Rasa Aragonesa existe además del núcleo que aglutina la asociación ANGRA, otro núcleo organizado por la empresa cooperativa Carne Aragón S.C.L., cuyo Centro Tecnológico Asesor es INIA-

Cuadro 3. Caracteres incluidos en los criterios de selección
Table 3. Traits included in the selection criteria

Raza	Objetivo de selección
Merino	Peso a los 75 días Ganancia media diaria de 30 a 75 días Ganancia media diaria de 0 a 30 días, como indicador leche Intervalo entre partos y corderos por parto
Rasa Aragonesa	Prolificidad Capacidad de cría de madres según peso de corderos al destete
Segureña	Prolificidad Conformación, como indicador de morfotipo y longevidad Crecimiento, efectos directos y maternos: • Peso al nacimiento, a 30, 45 y 70 días • Ganancia media diaria de 0 a 30, 0-45, 0-75 y 30-70 días
Navarra	Prolificidad
Ovinos precoces	Prolificidad y capacidad lechera, según peso corderos a 30 d. Crecimiento , por ganancia media diaria 30-70 días Producción de carne en cruce industrial con rebaño testigo: • Velocidad crecimiento hijos • Calidad canal: rendimiento, conformación y engrasamiento

Madrid. Ambos núcleos utilizan los servicios del CENSYRA de Movera.

En cuanto a la raza Segureña, no hemos encontrado información reciente sobre el desarrollo del programa de mejora de esta raza. Solamente podemos destacar que en la Universidad de Córdoba se iniciaron una serie de estudios preliminares para el desarrollo del plan de mejora (ANALLA y SERRADILLA, 1996) que según parece no han tenido continuidad en el orden aplicado de la mejora genética.

Cuadro 4. Características de la valoración genética realizada el año 2001 en la raza Merina (MOLINA *et al.*, 2001; VALERA *et al.*, 2001)
Table 4. Characteristics of the genetic evaluation made in the year 2001 in Merino breed

Animales controlados	24.557 corderos de 34 ganaderías y de un centro conector, durante los 10 últimos años, hijos de 433 moruecos
Animales valorados	44.725
Caracteres controlados	Peso al nacimiento, peso al destete (alrededor de los 30 días de edad) y peso durante el cebo (alrededor de los 60 días de edad)
Caracteres obtenidos	Peso a los 30, 60 y 75 días de edad. GMD 30-60, 30-75 y 60-75
Caracteres valorados	Peso a los 75 días y GMD de 0-30 y 30-75
Modelo animal	Ganadería, Año de nacimiento, Estación, Sexo, Tipo de parto, Edad de la madre como covariada, Genético Directo, Genético Materno
Criterio de selección	Índice compuesto por los valores genéticos directos de los caracteres valorados independientemente

Cuadro 5. Características de la valoración genética realizada el año 2002 en la raza Rasa Aragonesa (ALTARRIBA *et al.*, 1998; ANGRA, 2002)

Table 5. Characteristics of the genetic evaluation made in the year 2002 in Rasa aragonesa breed

Animales controlados	112.948 ovejas con 460.962 partos en 113 explotaciones desde 1989
Animales valorados	205.302
Caracteres controlados	Número de corderos nacidos / parto
Caracteres obtenidos	Prolificidad en escala categórica (parto simple vs. parto múltiple)
Caracteres valorados	Prolificidad en escala subyacente según modelo umbral
Modelo animal	Edad al parto de la oveja, Tratamiento hormonal, Época de parto, Explotación, Genético Aditivo, Ambiental Permanente
Criterio de selección	Valor genético aditivo transformado a la escala categórica

Cuadro 6. Características de las valoraciones genéticas realizadas por Carne Aragón en Rasa Aragonesa (CARNE ARAGÓN, 1999; JURADO, 1996)

Table 6. Characteristics of the genetic evaluations made by Carne Aragón in Rasa aragonesa breed

Animales controlados	72.842 ovejas con 240.032 partos en 96 rebaños
Modelo animal	Manejo (rebaño), Estación del parto, Número de parto, Días vacíos, Modo de cubrición, Genético Aditivo, Ambiental Permanente
Criterio de selección	Valor genético aditivo del carácter valorado

Cuadro 7. Características de la valoración genética realizada el año 2001 en la raza Navarra (ALTARRIBA *et al.* 1998; ARANA, 2001)

Table 7. Characteristics of the genetic evaluation made in the year 2001 in Navarra breed

Animales controlados	103.263 ovejas con 449.864 partos de 79 explotaciones
Animales valorados	137.248
Caracteres controlados	Número de corderos nacidos / parto
Caracteres obtenidos	Prolificidad en la escala categórica (parto simple vs. parto múltiple)
Caracteres valorados	Prolificidad en la escala subyacente según modelo umbral
Modelo animal	Edad al parto de la oveja, Tratamiento hormonal, Época de parto, Explotación, Genético Aditivo, Ambiental Permanente
Criterio de selección	Valor genético aditivo transformado a la escala categórica

Cuadro 8. Características de la valoración genética realizada en la agrupación Ovinos precoces (ESPINOSA DE LOS MONTEROS y JIMÉNEZ, 2001)

Table 8. Characteristics of the genetic evaluation made in the Ovinos Precoces group

Animales controlados	24.000 animales de 72 ganaderías
Caracteres valorados	Peso a los 30 y 70 días, GMD 30-70 días
Modelo animal	Rebaño - Año de nacimiento - Estación de nacimiento, Modo de parto (simple o múltiple), Edad de la madre, Sexo, Genético Aditivo
Criterio de selección	Índice compuesto por los tres caracteres valorados independientemente

Los modelos utilizados en las evaluaciones genéticas asumen parámetros genéticos recopilados en la bibliografía, utilizándose valores previsiblemente razonables. En la raza Rasa Aragonesa se dispone de estimaciones de estos parámetros (OCCÓN, 1988; ALTARRIBA *et al.*, 1998), utilizándose los publicados en el último trabajo para la valoración genética de esta raza. También se dispone de parámetros genéticos en la raza Segureña (ANALLA *et al.*, 1995; ANALLA *et al.*, 1997d), Merino (SIERRA *et al.*, 1998) y Ovinos precoces (JIMENEZ *et al.*, 1999).

Pueden encontrase estimaciones de los efectos ambientales incluidos en los modelos en ALONSO *et al.* (1991), JURADO *et al.* (1994), ANALLA *et al.* (1997c), JIMÉNEZ *et al.* (1998), ALTARRIBA *et al.* (2000), MOLINA *et al.* (2001) y IZQUIERDO *et al.* (2002), relativos a las distintas razas.

En la mayor parte de las razas, de forma más o menos intensa, se está implantando el uso de la inseminación artificial con semen refrigerado para difundir la mejora genética alcanzada en los núcleos de selección. Es frecuente encontrar informes y publicaciones técnicas (ARANA, 2001; ANGRA, 2002; CASTILLO, 2000; LAVIÑA y PONZ, 2001) que muestran las limitaciones y los avances alcanzados en la implantación de esta técnica en las razas ovinas de carne. Sin embargo, este es un aspecto que no merece la misma atención en todas las razas.

Prolificidad contra peso al destete

Como se ha visto, la mejora del ovino de carne en España se aglutina alrededor de dos caracteres: prolificidad, o número de corderos nacidos por parto (tamaño de la camada), en las razas Rasa Aragonesa y Navarra y crecimiento en Merino, Segureña y Ovinos precoces, medido de distinta manera en cada caso. A los únicos efectos de este pequeño estudio representaremos el conjunto de caracteres de crecimiento mediante el peso al destete o a los 60 días.

Pues bien, como se observa en el cuadro 9, prolificidad y peso al destete son caracteres que ofrecen características variadas en el orden teórico-práctico de la mejora. En primer lugar, son caracteres que muestran heredabilidades muy distintas: 0,08 para la prolificidad (ANALLA *et al.*, 1997d; ALTARRIBA *et*

Cuadro 9. Características de la prolificidad y del peso al destete en ovino de carne
Table 9. Characteristics of the litter size and the weaning weight traits in meat sheep

	Prolificidad	Peso destete (60 días)
Heredabilidad	Baja (0,08)	Alta (0,31 - 0,34)
Expresión	Hembras	Ambos sexos
Selección	Ascendencia y colaterales	Individual
Precisión	Baja	Moderada-alta
Intervalo	Largo en primer estrato	Corto en primer estrato
Coste control	Bajo	Elevado
Ámbito control	Amplio	Reducido
Intensidad seleccción	Elevada	Baja
Difusión	Directa	Estratificada

al., 1998) y entre 0,31 (ANALLA *et al.*, 1997d) y 0,34 (ANALLA *et al.*, 1995) para el peso al destete. Esto implica a su vez eficacias distintas de las diversas fuentes de la información aportada por los parientes. En segundo lugar, el primer carácter se manifiesta solo en hembras mientras que el segundo lo hace en ambos sexos. Esto junto a lo anterior explica las bajas precisiones esperadas en las valoraciones genéticas para prolificidad y más elevadas para el carácter ponderal.

Consecuencias distintas se deducen al contemplar el coste del control de producciones. El coste testimonial del control de la prolificidad ofrece grandes ventajas a este carácter, ya que permite extenderlo a gran parte de la población y ejercer directamente las mayores intensidades de selección. Por el contrario, el elevado coste de los datos ponderales ha obligado plantear estrategias de selección basadas en núcleos con difusión posterior de la mejora a los estratos inferiores, que en la población total se traduce en bajas intensidades de selección y mayores intervalos generacionales.

A todo esto hay que añadir que ambos caracteres suelen mostrar una correlación genética positiva en la mayor parte de los trabajos, habiéndose constatado también este hecho en la raza Segureña por ANALLA *et al.* (1997d). En consecuencia, a pesar de que las respuestas a la selección deben esperarse en la misma dirección en ambos caracteres, tradicionalmente se ha planteado la disyuntiva de realizar la selección en base a uno o a otro carácter, sin que conozcamos estudios que analicen ambas alternativas de forma realista.

Sólo con la finalidad de añadir algo de luz a esta cuestión, se han calculado por simulación las respuestas directas y correlacionadas para ambos criterios de selección, cuyos resultados se muestran el cuadro 10, en unas condiciones que más tarde se verán justificadas.

Se constata que con la misma intensidad y precisión en la selección, las respuestas

Cuadro 10. Respuestas esperadas a la selección[x] para los caracteres prolificidad y peso al destete, con tasas de selección del 20% y 40% y precisiones de los criterios de selección del 25% y del 50%

Table 10. Expexted selection response[x] to litter size and weaning weight traits, for selection rates of 20% - 40% and accuracy of the selection criteria of 25% - 50%

Respuesta	Tasa selección = 20%				Tasa selección = 40%			
	Prolificidad		Peso destete		Prolificidad		Peso destete	
	P. 25%	P. 50%	P. 25%	P. 50%	P. 25%	P. 50%	P. 25%	P. 50%
Prolificidad (%)	3,7	7,6	1,7	3,6	2,6	5,2	1,3	2,4
Peso destete (kg.)	0,15	0,30	0,32	0,64	0,10	0,21	0,22	0,44

(x) Parámetros simulación. Prolificidad (escala subyacente): incidencia = 36%, heredabilidad = 0,08, varianza fenotípica = 100. Peso al destete: heredabilidad = 0,31, varianza fenotípica = 2,64. Correlación genética = 0,48.

(x) Parameters of simulation. Litter size (underlying scale): incidence =36%, heritability = 0.08, phenotypic variance = 100. Weaning weight: heritability = 0.3, phenotypic variance = 2.64. Genetic correlation = 0.48.

directas doblan en magnitud, aproximadamente, a las respuestas correlacionadas en ambos caracteres. Lo mismo ocurre cuando la precisión de los criterios de selección pasa del 25% al 50%, a igual tasa de selección. En cambio, cuando se comparan los resultados esperados con el 25% de precisión para la selección según prolificidad y los esperados con el 50% de precisión para peso al destete, se observa que tales resultados son de magnitud semejante para prolificidad y son cuatro veces superiores para peso al destete cuando se selecciona para este último carácter.

Esto posee una lectura muy clara. Dada la baja heredabilidad de la prolificidad y la escasa documentación de la vía padre en los rebaños comerciales, la precisión alcanzada por los índices de selección debe ser baja, pongamos como referencia que sea del 25% con una tasa de selección del 20% (ALTARRIBA *et al.*, 2000), mientras que el peso al destete puede alcanzar precisiones del 50%, por ejemplo, con la misma tasa de selección. Como consecuencia, estos escenarios, en los cuales puede desenvolverse la selección, representan opciones que permiten realizar la comparación en unas condiciones que requieran esfuerzos más equiparables que las inicialmente consideradas.

Por tanto, se esperan mejores resultados con la selección en función del peso al destete, con 50% de precisión, que en función de la prolificidad, con 25% de precisión, ya que los resultados son prácticamente los mismos para este último carácter y muy superiores para el peso al destete. Esta opción es especialmente atractiva si se desean obtener canales más pesadas o el objetivo principal es el cruzamiento, como es el caso de la agrupación Ovinos precoces.

Sin embargo, es de esperar que rápidos incrementos en la velocidad de crecimiento y/o en el peso de las canales de los animales de razas autóctonas, puedan producir cambios indeseables en las características de la carne de estas poblaciones y exijan cambios importantes en los sistemas de producción de estas razas.

Además, existe otro hecho que debe tenerse en cuenta. Se trata del coste del control de producciones para caracteres ponderales (en campo o estación) respecto al coste mínimo del control para tamaño de camada.

Asumiendo el riesgo de una simplificación excesiva, una forma de tener en cuenta esquemáticamente el mayor coste de los controles ponderales es repercutir la reducción de la población controlada, respecto al supuesto alternativo del control de la prolificidad, a una mayor tasa de selección efectiva sobre la población amplia y en consecuencia a una inferior intensidad de selección equivalente, para asegurar el mantenimiento de un esquema simple en raza pura. Por ejemplo, se trataría de asumir una tasa de selección para el carácter peso al destete del doble que en la prolificidad (40% respecto a 20%) para perfilar un escenario más realista.

Con estos supuestos, los resultados se equilibran en buena medida (cuadro 10). La respuesta directa sería del 3,7% y la correlacionada del 2,4% para la prolificidad y de 0,44 kg. y 0,15 kg. para el peso al destete. En esta situación, la evaluación de la mejor opción se hace mucho más difícil y debe ser objeto de estudios que se peguen al territorio, en los cuales se contemplen como mínimo los factores aquí manejados, en función de las características deseables del producto final, de la estructura de las empresas, los sistemas de producción, estructura de las Asociaciones de criadores y capacidad de financiación de la mejora genética.

Sin embargo, mientras el entorno que rodea al sector ovino de carne no mejore sus perspectivas y ofrezca un ambiente de mayor

estabilidad, se seguirá apostando aisladamente por una u otra alternativa por intuición y sin la suficiente convicción.

Conclusiones

El análisis de los programas de mejora genética de las razas ovinas de carne, así como el del entorno que lo estimula y sustenta en España, pone de manifiesto que:

• La tutela ejercida por las administraciones públicas se revela del máximo interés, sin cuya iniciativa habría sido imposible articular mínimamente el mantenimiento y/o la mejora de las distintas poblaciones.

• El entramado legal, con base en reglamentaciones homologadoras de ámbito europeo, es adecuado para incentivar las actividades de mejora de esta producción extensiva. Sin embargo, en su aplicación las cuestiones técnicas son susceptibles de interpretaciones administrativas que pueden otorgar un grado de discrecionalidad al proceso.

• Las Asociaciones de criadores se constituyen en los protagonistas del desarrollo de los programas de mejora. Sin embargo, sus estructuras son todavía incipientes y a veces inadecuadas. Requieren una mayor atención para su más eficaz organización y cualificación técnica.

• El esfuerzo desarrollado para el control de rendimientos ha sido importante en los últimos años. A pesar de todo, el volumen de datos disponible está fuertemente condicionado por la inercia tradicional de este sector ganadero, con una escasa capacidad de innovación tecnológica.

• Los objetivos y criterios de selección son adecuados a los fines propuestos. Los esfuerzos de selección muestran dos orientaciones sobre la producción de carne: mientras las agrupaciones Merina y Ovinos precoces inciden directamente sobre la producción de carne a través de la mejora de caracteres de crecimiento, las razas Rasa Aragonesa y Navarra lo hacen indirectamente a través de la productividad numérica o prolificidad. En cualquier caso, los modelos animales invocados en las valoraciones genéticas se plantean y resuelven con el rigor técnico y científico necesario.

• Un análisis somero de las dos estrategias, seleccionar en función de la prolificidad o en función de caracteres ponderales, revela que es posible obtener importantes mejoras productivas en ambos caracteres, siendo necesario realizar estudios específicos en cada Asociación de criadores para determinar la mejor opción de forma clara y comprometida.

Agradecimientos

A las personas que han orientado o han proporcionado información relevante para la elaboración de este trabajo: José Antonio Fernández de FEAGAS, Eduardo Vigil del CENSYRA de Movera, Carlos Sañudo de la Facultad de Veterinaria de Zaragoza, Antonio Rodero, Antonio Molina y Juan Manuel Serradilla de la Universidad de Córdoba, Rosa Castillo de ARANA, Juan José Jurado de INIA- Madrid, M. Ángeles Jiménez del S.I.D. de Extremadura y Adolfo Laviña, Ricardo Ponz y Luis Marcén de ANGRA.

Bibliografía

ALONSO A., JURADO J.J., ALENDA R., 1991. Estima de los efectos ambientales en ovino de carne de la raza

Merina ITEA. VI Jornadas sobre producción animal, 11, 583-585.

ALTARRIBA J., MORENO C., GARCÍA CORTÉS A., YAGÜE G., PONZ R., 2000. Mejora genética para prolificidad en Rasa Aragonesa. XXV Jornadas científicas de la SEOC, 265-270 (Teruel).

ALTARRIBA J., VARONA L., GARCÍA-CORTÉS L.A., MORENO C., 1998. Bayesian inference of variance components for litter size in Rasa Aragonesa sheep. J. Anim. Sci. 76, 23-28.

ANALLA M., MUÑOZ-SERRANO A., SERRADILLA J.M., 1995. Estimation of genetic parameters of growth traits in Segureña lambs. J. Anim Breed. Genet., 112, 183-190.

ANALLA M., MUÑOZ-SERRANO A., SERRADILLA J.M., 1997a. Note on the optimum number of daughters per sire to maximize the genetic progress for litter size in Segureña sheep. Lives. Prod. Sci., 52, 229-232.

ANALLA M., MUÑOZ-SERRANO A., SERRADILLA J.M., 1997b. Selection criteria for meat sheep improvement: Application in the Segureña breed. Small Rum. Res., 26, 217-222.

ANALLA M., MUÑOZ-SERRANO A., SERRADILLA J.M., 1997c. Estimation des effets des facteurs fixes sur les poids des agneaux et sur la prolificité des brebis de la race ovine Segureña dans le sud-est espagnol. Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc), 17, 157-163.

ANALLA M., MUÑOZ-SERRANO A., SERRADILLA J.M., 1997d. Analysis of the genetic relationship between litter size and weight traits in Segureña sheep. Can. J. Anim. Sci., 77, 17-21.

ANALLA M., SERRADILLA J.M., 1996. Mejora genética del ovino segureño. ITEA, 92, 57-74.

ANGRA, 2002. Resultados de la valoración genética.

ARANA, 2001. Valoración genética correspondiente al año 2001.

BUXADÉ C., 1996. Producción Ovina. En: Zootecnia, Bases de la Producción Animal. Vol VIII. Ed. Mundi Prensa. Madrid.

CARNE ARAGÓN, 1999. Esquema de selección genética de Carne Aragón S.C.L. Catálogo de reproductores.

CASTILLO R., 2000. El control de producciones y sus aplicaciones en ovino de carne en Navarra. FEAGAS, 18, 97-104.

CASTILLO R., PONZONI R.W., 1991. Propuesta para la mejora genética de oveja rasa en Navarra. Informe estancia. Adelaide.

ESPINOSA DE LOS MONTEROS E., JIMÉNEZ M.A., 2001. Presentación del I Catálogo de Animales valorados genéticamente. FEAGAS, 19, 97-100.

IZQUIERDO M., JIMÉNEZ M.A., ESPINOSA E., 2002. Genetic and phenotypic trends of weaning and slaughter weight traits of fast-growing sheep in Spain. 7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production.

JIMÉNEZ M.A., IZQUIERDO M., ESPEJO M., ALBARDONEDO D., 1998. Evolución del número de corderos y de ganaderías inscritos al esquema de selección de la raza Ile de France de 1992 a 1997, y análisis de los factores ambientales que influyen en el peso y crecimiento de los corderos. XXIII Jornadas científicas de la SEOC.

JIMÉNEZ M.A., IZQUIERDO M., ESPEJO M., ESPINOSA DE LOS MONTEROS E., 1999. Evaluación de los componentes de varianza para caracteres de crecimiento en la raza ovina Ile de France en España. XXIV Jornadas científicas de la SEOC.

JURADO J.J., 1996. Problemática del desarrollo de un programa de mejora genética en prolificidad en la raza Rasa Aragonesa. VIII Reunión nacional sobre mejora genética animal, D1-D17 (León).

JURADO J.J., ALONSO A., ALENDA R., 1994. Selection Response for Growth in a Spanish Merino Flock. J. Anim. Sci., 72, 1433-1440.

LAVIÑA A., PONZ R., 2001. Situación actual del esquema de valoración de sementales de la raza Rasa Aragonesa. FEAGAS, 19, 101-103.

MAPA, 1992. Programa de mejora genética de la agrupación ovinos precoces. Secretaría General de Producciones y Mercados Agrarios. Dirección General de Producciones y Mercados Ganaderos.

MAPA, 1999. Programa de selección y mejora de la raza Rasa Aragonesa. Secretaría General de Agricultura y Alimentación. Dirección General de Ganadería.

MAPA, 2000. Esquema de selección de la raza Navarra. Secretaría General de Agricultura y Alimentación. Dirección General de Ganadería.

MAPA, 2002. Anuario de Estadística Agroalimentaria. Año 2000. www.mapya.es.

MAPA, s.f.a. Programa de selección y mejora del ganado ovino de raza Merina. Secretaría General de Pro-

ducciones y Mercados Agrarios. Dirección General de Producciones y Mercados Ganaderos.

MAPA. s.f.b. Programa de selección y mejora del ganado ovino de raza Segureña. Secretaría General de Agricultura y Alimentación. Dirección General de Ganadería.

MOLINA A., VALERA M., BARAJAS F., 2001. Memoria año 2000. Informe.

OCCÓN A., 1988. Repetibilidad y heredabilidad de la prolificidad en la raza Rasa Aragonesa. Optimización de los progresos genéticos en los procesos de selección. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.

SIERRA A., DELGADO J., MOLINA A., RODERO A., 1998. Genetic parameters of weight and growth traits in the Spanish Merino sheep. Proceedings of the VTH World Merino Conference. New Zealand.

VALERA M., RODERO A., MOLINA A., CÁMARA M., BARAJAS F., MÍGUELEZ J.J., ÁLVAREZ J., 2001. Situación actual y evolución del esquema de selección del merino autóctono. FEAGAS. 20, 103-108.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 154-162

ESTADO Y DEMANDAS ACTUALES DE LOS PROGRAMAS DE MEJORA DEL PORCINO

Joan Tibau i Font

IRTA-Centre de Control Porcí, 17121 Monells, España

RESUMEN

El potencial genético de los animales es un elemento clave para la mejora de la eficiencia técnica y económica en la producción porcina. Los programas genéticos basados en las asociaciones tradicionales están cambiando de estructura. Las empresas de selección de ámbito internacional están aumentando su cuota de mercado. La mejora genética una actividad cara, arriesgada y a largo plazo. Mientras que se ha conseguido una gran eficiencia y depósito de magro en las líneas de porcino modernas, la prolificidad y la calidad de la carne son los objetivos prioritarios en este momento. La adaptación de los animales a grandes unidades de producción, la capacidad para satisfacer mercados específicos y los condicionantes sanitarios serán los retos de futuro para el sector porcino. La genómica porcina puede ser una herramienta apropiada para la selección de las líneas genéticas más apropiadas, pero es necesario considerar la relación entre costes y beneficios y los efectos colaterales sobre otros caracteres en cada situación de producción y de mercado.

Palabras clave: Objetivos de selección, Evaluación genética, Estrategias de selección.

SUMMARY

PRESENT STATE AND DEMANDS OF PIG BREEDING PROGRAMS

Genetic potential of breeding stock is a key element for technical and economical efficiency in pig production. Breeding programs based on traditional breeder associations moves to different structures. International breeding companies increase market shares in pig breeding operations. Genetic improvement is an expensive, risked and long term business. Whereas feed efficiency and leanness seams to be reached in modern pig lines, prolificacy and meat quality are the main goals in the present situation. Adaptation to large production units, satisfaction to specific markets and sanitary requirements will be the next challenges in pig production. Pig genomics could be a useful tool to select the appropriate breeding stock but cost-efficiency, and collateral effects must be evaluated in every production- meat market situation.

Key words: Breeding goals, Genetic evaluation, Breeding programs.

Introducción

El nivel genético de los animales de las granjas porcinas es un factor de producción fundamental que condiciona la eficiencia técnica y económica de la explotación, incide en las características cualitativas de las canales y condiciona en gran medida otros factores productivos tales como en manejo, la sanidad y la alimentación.

La aplicación generalizada en el porcino de los programas de cruzamiento permite la utilización de los efectos de complementariedad y heterosis derivados de las diferencias genéticas entre poblaciones. Las múltiples combinaciones entre líneas genéticas hace posible la coexistencia de diversas alternativas productivas dirigidas mercados diferenciados.

La implementación de esquemas de selección de reproductores basados en el testaje y evaluación sistemática del potencial genético de los animales, conjuntamente con la elevada capacidad reproductiva del porcino y las favorables propiedades de las características genéticas de los caracteres con más interés, ha hecho posible un aumento muy significativo del potencial productivo en la mayor parte de los esquemas de selección e hibridación de esta especie animal. Podemos afirmar que el objetivo de proporcionar a bajo a precio y de forma eficiente una cantidad suficiente de carne magra se ha alcanzado totalmente.

A pesar de estos avances, las características ligadas a la aptitud reproductiva o de adaptación no han seguido una tendencia tan favorable e incluso se ha observado un retroceso en ciertas propiedades tecnológicas u organolépticas deseables en la carne en algunas razas porcinas (BRASCHAMP y DE VRIES, 1992).

Los recientes avances en genética molecular han permitido la detección de genes con una clara influencia sobre características de calidad de canal y de la carne. Otros genes que inciden en aptitudes reproductivas o relacionadas con la eficiencia en el depósito de proteína o el contenido en grasa intramuscular están en proceso de evaluación (ROTSCHILD, 2000). La oportunidad económica de su uso (elección o erradicación) debe establecerse para cada sistema productivo y mercado potencial, y considerarse la potencial pérdida de variabilidad genética que la selección específica para estos marcadores pueda implicar (VERHOOG, 2001).

Las estructuras de selección e hibridación

Tradicionalmente, la selección porcina se ha basado en la existencia de asociaciones de ganaderos preocupados fundamentalmente por el mantenimiento de un estándar racial al cual se asociaban unas aptitudes productivas específicas. Con frecuencia se plantea un debate sobre la validez de uso de ciertos términos con que definimos subgrupos de animales de la misma especie. Si en el pasado la noción de raza se limitaba a aquel conjunto de animales que se correspondían con un estándar racial más o menos prefijado, en la actualidad las razas porcinas son (a excepción de algunos países) la suma de líneas genéticas obtenidas en el seno de núcleos de selección (más a menos cerrados) en los que se practican, de forma continuada, programas de selección diferenciados (PUIGVERT *et al.*, 2002).

Esta situación, ha originado grupos de animales (líneas, muy homogéneos desde el punto de vista genético, que están destinadas a un uso concreto en el marco de un programa de cruzamientos con el fin de producir animales híbridos con aptitudes específicas. Podemos reconocer líneas genéticas seleccionadas prioritariamente para aptitudes maternales, de crecimiento, de calidad de carne o de canal.

Si bien en un principio las asociaciones de ganaderos de selección tenían como objetivo el mantenimiento de la pureza y el registro de las genealogías, desde la generaliza-

ción de las pruebas de valoración de reproductores porcinos, estas han seguido evoluciones totalmente diferenciadas (BRASCHAMP, 1994). Mientras que en algunos países estas asociaciones han prácticamente desaparecido, dejando paso a empresas multinacionales de selección-hibridación (VAN DER STEEN *et al.*, 1995) , en otros constituyen la clave del programa genético nacional.

Este es el caso de Dinamarca, donde la asociación de ganaderos de porcino establece con carácter general los objetivos de mejora y las estrategias mas adecuadas a un objetivo especifico: la exportación de un producto homogéneo a mercados concretos. Este reto común, ha favorecido la implantación de un sistema de participación-utilización de los recursos genéticos basado la difusión masiva por inseminación artificial de los mejores animales procedentes de las pruebas de valoración de reproductores. En el caso de Francia, se observa un a situación intermedia: las cooperativas participan de forma conjunta en el programa de mejora nacional, manteniendo objetivos en ocasiones bastante diferentes.

Situación en España

A nivel del estado español, la falta de un programa nacional de mejora genética porcina, en el sentido de promocionar, coordinar y dirigir las estrategias de mejora y el uso óptimo de los reproductores, ha originado tradicionalmente una situación de dependencia genética del exterior. Esta situación, si bien ha impedido un desarrollo adecuado de los programas de genética propios, ha estimulado la introducción de líneas genéticas muy diversificadas de alto potencial genético que permiten satisfacer la demanda de sistemas de producción y comercialización muy variados.

Cabe destacar el papel de la Asociación Nacional de Criadores de Ganado Porcino Selecto (y de la ACPS en Catalunya) como entidades colaboradoras de los organismos públicos (estatal o autonómico) en la gestión de los libros genealógicos. Estas asociaciones integran el conjunto de empresas (33) de selección porcina que comercializan animales selectos españoles y los esquemas de hibridación que comercializan reproductores híbridos. Su nivel de dependencia del exterior es variable: se constatan esquemas de selección que solo incorporan reproductores de forma muy esporádica y situaciones en las que la propia estrategia de selección e hibridación está totalmente determinada desde el exterior.

Esta heterogénea situación está en consonancia con el carácter dinámico de un sector en expansión que se desarrolla en un entorno complejo y variable de sistemas de producción y de mercado y en el que solo últimamente se ha priorizado la productividad y la calidad frente a la reducción de los costes (GARNIER, 2001).

En este contexto, los esquemas de hibridación más eficientes serán aquellos que sean capaces de predecir las demandas de los mercados futuros y redirigir adecuadamente sus líneas genéticas. Esta necesidad de fijar claramente y sin error los objetivos prioritarios de selección y los tipos de animales comerciales es actualmente acuciante pues se constata una progresiva vinculación entre las industrias cárnicas y los productores con el fin de poder satisfacer (en cantidad y calidad) la demanda de las empresas de distribución.

La progresiva concentración de las empresas de elaboración de productos cárnicos (y de las de distribución) exigirá a los

productores (y en consecuencia a las empresas de selección) un suministro (y obtención) constante de animales homogéneos con el fin de satisfacer una demanda cada vez más limitada. Esta situación está propiciando nuevas formas de comercialización de los animales selectos. Si bien las empresas de multiplicación han estado tradicionalmente están vinculadas a las de selección, se observa la tendencia progresiva de las empresas de producción a la adquisición hembras puras procedentes de núcleos selectos y con el fin de obtener animales cruzados (F1 y F2) en sus propias granjas mediante el uso de dosis seminales (en ocasiones procedentes de reproductores de las empresas de selección que han suministrado las madres). Esta práctica reduce el riesgo sanitario y garantiza la producción de las hembras de substitución en el entorno (estatus sanitario y productivo) de las granjas de producción. La información obtenida a nivel comercial (reproductiva y productiva) puede ser utilizada en la redefinición de los objetivos de mejora a nivel de núcleos selectos.

Objetivos prioritarios y criterios de mejora

La mejora genética es cara, arriesgada y a largo plazo. Sus beneficios, a pesar de ser progresivos, multiplicativos y distributivos, no se observan de forma inmediata y quedan diluidos entre un conjunto de factores productivo que condicionan e la manifestación del potencial genético del animal. Afortunadamente la gran variedad de razas, líneas y genotipos porcinos existentes permite (aún) alternativas de cruzamiento que se adaptan (con mas o menos fortuna) a cada sistema de producción y de mercado.

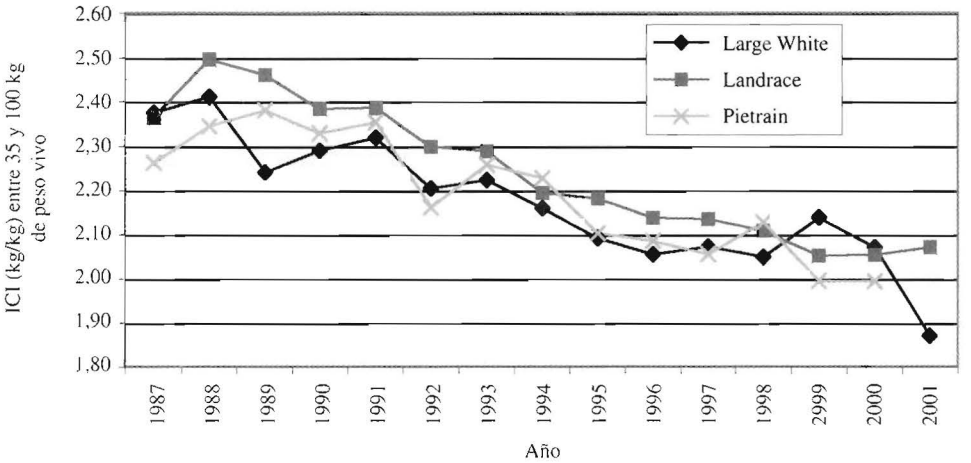


Figura 1. Evolución del índice de conversión según el tipo genético. Pruebas oficiales de valoración de reproductores porcinos. IRTA-CCP. Machos enteros en control individual.

Figure 1. Evolution of food conversion ratio of different breeds.

Es posible hacer una relación clásica de objetivos de mejora (OLLIVIER,1998), de las posibilidades de alcanzarlos (heredabilidad, correlaciones genéticas, importancia económica relativa, etc.) de cada una de las líneas (maternales, finalizadores, etc.) que componen un producto comercial (CLUTTER y BRASCHAMP, 1998) (ver cuadro 1). Asimismo es factible describir las herramientas para conseguir estos progresos (registros genealógicos y reproductivos, testajes, controles de la calidad de la canal y de la carne, etc..) pero en el futuro lo que determinará el éxito (comercial) de un programa de mejora será:

- Seguridad sanitaria.
- Seguridad en el suministro (homogeneidad y regularidad).
- Eficiencia productiva y reproductiva (a nivel comercial).
- Adaptación a grandes unidades de producción (nuevas normas de bienestar).
- Adaptación del producto a las exigencias del mercado (industria y consumidor).

Estos objetivos complejos incluyen algunas de las variables clásicas (crecimiento, eficiencia alimentaria, prolificidad, calidad de canal y/o carne etc.) que constituyen la lista de prioridades (objetivos de mejora) en distintos programas de selección (STEWART, 1999). Desde el punto de vista del comprador de reproductores estos objetivos devienen requerimientos (demandas) globales técnico-económicas con el fin de satisfacer sus clientes (la industria cárnica o el consumidor). O sea el mejor genotipo es que garantiza la máxima satisfacción (y seguridad) económica (propia y de los clientes). A pesar de ello, en ciertos contextos (presión social ante el aumento de la producción porcina, impacto ambiental, sensibilización

Cuadro 1. Características genéticas de parámetros reproductivos y productivos en ganado porcino

Table 1. Genetic traits of pig reproductive and productive breeding goals

Variable	Heredabilidad	Heterosis (Lechón / Madre)	QTL (cromosomas)
Precocidad	0,33	/ -5%	1, 7, 8, 10, 12
Nacidos(Totales/Vivos)	0,10-0,9	+2% / + 6%	1, 6, 11, 12
Destetados	0,07	+5% / +8% (7 a 25%)	?
Tetinas	0,22-0,32	0	4, 7, 8, 11, 16
Producción de leche	0,27	/ + 20%	?
Longevidad	0,11-0,31	? (+)	?
Prod. Esperm. Verracos	0,37	10%	3, 7 ?
Crecimiento	0,20-0-40	0	1... 8, 11, 13, 18
Índice de conversión	0,30-0,40	0	
Porcentaje de magro	0,4-0,5	0	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 14

sobre el bienestar animal) pueden plantearse óptimos no estrictamente económicos (POMAR y JEAN DIT BAILLEUL, 2001).

Es innegable el progreso conseguido en el porcino en ciertos parámetros reproductivos (NOGUERA *et al.*, 1998) , o productivos pero en ciertos casos (bajo espesor de tocino dorsal) se han alcanzado niveles que comprometen los progresos en otros caracteres de interés con los cuales están correlacionados negativamente (RAUW, 2001; ESTANY *et al.*, 2002). Esta situación es especialmente relevante para caracteres de canal los cuales están correlacionados desfavorablemente con la calidad de la carne y con la mortalidad (SELLIER, 1994; FÁBREGA *et al.*, 2002). Es preciso por lo tanto alcanzar un equilibrio (fisio-genético y una capacidad de adaptación: minimizar la interacción genotipo* ambiente) que permita la expresión (máxima) del potencial genético de los animales selectos.

Nuevos retos para la selección porcina

Los retos futuros de la mejora del porcino se derivan de aquello ya anunciados por WEBB (1996): "el objetivo inmediato es la reducción del coste por kilo de producto comercial mediante nuevas estrategias de mejora en el crecimiento en magro, la mejora de la aptitud reproductiva y el valor de las canales".

En el caso de los parámetros que integran la aptitud reproductiva, a pesar de su baja heredabilidad, el uso de líneas seleccionadas específicamente para alta prolificidad y la implementación de técnicas de genética molecular que permitan la detección de (que) genes ligados a la capacidad reproductiva (fecundación, gestación, lactación) puede ayudar substancialmente a mejorarla (cuadro 1). No debe olvidarse no obstante que dichos progresos deben ser económicamente demostrables en las granjas de producción. De hecho, este objetivo técnico-económico en la fase de producción, es mucho más complejo que el que se plantea en los núcleos de selección: máximo número de kg. de lechón destetado por hembra a lo largo de su carrera reproductiva. Este objetivo incluye factores muy complejos con una componente genética muy limitada: precocidad, regularidad reproductiva, movilización de reservas, capacidad lechera y otras aptitudes maternales, longevidad, etc. y es preciso conocer que factores de manejo, alimentarios, sanitarios, etc. hacen posible su óptima manifestación.

El equilibrio entre aptitudes reproductivas y productivas deberá considerarse necesariamente en las nuevas líneas especializadas que puedan derivarse de estrategias de selección, fijación de genes, introgresión o transgénesis.

La mayor parte de los costes de producción (60-70%) por kilo de carne son los costes de alimentación. Cada tipo de animal (genotipo) y sexo tiene unas necesidades nutricionales variables en cada fase de crecimiento. Estas necesidades deben evaluarse y satisfacerse (mediante la aplicación de sistemas adaptados de alimentación por fases) con el fin de reducir los costes de producción, mejorar la eficiencia en la transformación de pienso en carne y reducir la producción de residuos (TIBAU, 1998). Para conocer el potencial (progresivo) del crecimiento en tejido magro y de la ingesta asociada de proteínas vegetales se requiere el uso regular de sistemas automáticos de control la ingesta y de equipos de ultrasonidos para la predicción de la composición de la canal en vivo. Esta información es básica para definir la composición de las dietas en

cada fase del crecimiento pero puede ser utilizada asimismo para concretar objetivos de mejora a nivel de las poblaciones de selección (TORRELLARDONA y SOLER, 2001).

El consumidor (y en consecuencia el distribuidor) exige productos cárnicos seguros, saludables, con buenas características organolépticas y baratos. El concepto de calidad (aceptabilidad) es variable según se trate de carne para el consumo en fresco o re refiera a un producto elaborado (figura 2). Las características deseables de la carne fresca se relacionan con el color, la cantidad de grasa, la terneza, el olor y el sabor, mientras que en los productos elaborados es preciso tener en cuenta el PH, la capacidad de retención de agua, la cantidad de grasa, la estabilidad oxidativa, y a la ausencia de olores indeseables (androstenona). La reducción del porcentaje de carnes blandas, pálidas y exhudativas, se puede conseguir mediante la mejora de las condiciones de transporte y sacrificio y el uso de líneas genéticas con ausencia de ciertos genes (hal+, RN). Estudios sobre genómica funcional actualmente en curso pueden aportar un conocimiento determinante sobre los factores que inducen la manifestación de ciertos genes.

El incremento de la grasa intramuscular (hasta ciertos límites aceptables por el consumidor) es factible mediante el uso de líneas y razas específicas (Duroc), la castración y la alimentación adecuada. Este carácter tiene una heredabilidad media y puede medirse en animales emparentados o incluso en animales vivos (biopsias). A pesar de ser un carácter multigénico se conocen actualmente algunos de los genes con efecto significativo. La toma en consideración de este objetivo en un programa de mejora es espe-

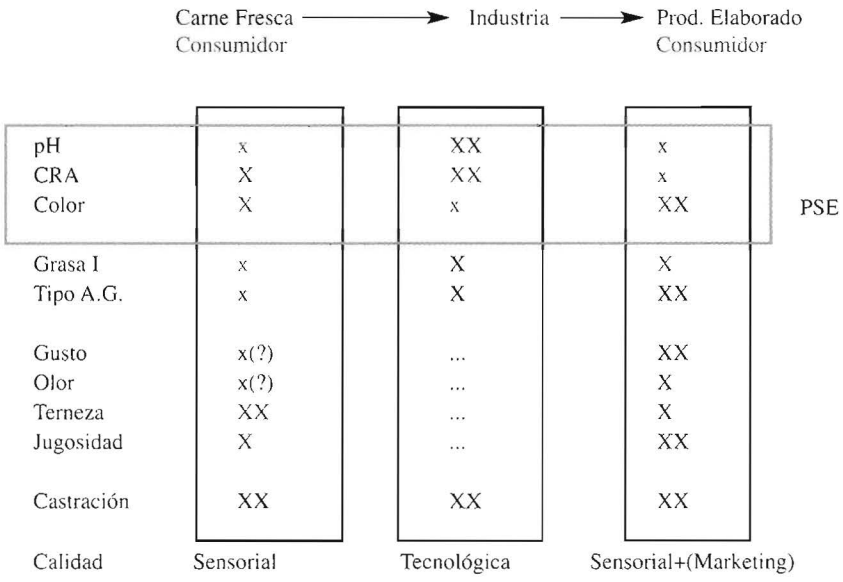


Figura 2. Factores que afectan la calidad de la carne
Figure 2. Factors affecting meat quality

cialmente interesante cuando se pretende mejorar simultáneamente la calidad de la carne, el crecimiento y la prolificidad. A pesar de la positiva y elevada correlación con la grasa dorsal es factible la selección de reproductores con valores genéticos en grasa dorsal y grasa intramuscular contrapuestos.

El progresivo aumento de la talla de explotaciones y la intensificación de la producción ha potenciado el uso sistemático de tratamientos veterinarios en un marco sanitario cada vez más complejo y en el que se crían animales seleccionados prioritariamente para un elevado potencial productivo (en detrimento de otras aptitudes: rusticidad, adaptabilidad). Esta práctica se contrapone a las exigencias de los consumidores en relación a la ausencia de residuos en las carnes y a la limitación progresiva del uso de fármacos (preventivos y curativos) en la cría ganadera. Si bien la selección para resistencia a una enfermedad concreta se ha conseguido, solo es factible plantearse una mejora genética significativa en este campo a partir de la selección para una capacidad inmunológica general de los animales: un reto difícil pero necesario.

Conclusiones

La utilización de predicciones del valores genéticos y su combinación en criterios de selección múltiples aplicados a la elección de los reproductores ha permitido progresos considerables en caracteres de interés en el porcino. Diferentes estrategias (programas) de mejora, difusión y utilización (cruzamiento) son posibles para satisfacer una demanda variable. La información de los productores (variables de eficiencia reproductiva, longevidad) y de la industria es fundamental para redefinir los objetivos de selección y evaluar los cruces óptimos. Las aptitudes genéticas de las distintas líneas de animales deben combinarse y utilizarse en el marco de sistemas de producción-industrialización-comercialización específicos. La gran variedad de productos elaborados del porcino, junto a un elevado consumo de carne fresca facilita la coexistencia de sistemas alternativos de producción (genética y alimentación) y de criterios cualitativos diferenciados. Cada tipo de animal requiere sistemas de producción (alimentación, peso al sacrificio), distribución (industrialización) y comercialización apropiados. La aplicación de los avances en la genómica del porcino permitirá avances significativos en la selección de los reproductores para ciertos carácteres (calidad de carne, reproducción, etc.) pero debe evaluarse su oportunidad económica y el efecto colateral sobre otros caracteres deseables.

La competitividad del sector porcino español depende de su capacidad para mejorar los niveles técnicos, mantener la calidad y diversidad de los productos y satisfacer la demanda de los mercados: la mejora genética es un factor clave en esta contienda.

Bibliografía

BRACHAMP E.W., 1994. Current status ans the future of national breeding programmes. V World Congress Genetics Applied Livestock Production. Guelph, Canada.

BRASCHAMP E.W., DE VRIES A.G., 1992. Defining the breeding goals for pig improvement. Pig News ans Information. Vol 13.1: 16N-21N.

CLUTTER A.C., BRASCHAMP E.W., 1998. Genetics of performance traits pp. 427-462. En: The genetics of the pig. Eds. Rotschild and Ruvinsky CAB International.

ESTANY J., VILLALBA D., TIBAU J., SOLER J., BABOT D., NOGUERA J.L., 2002. Correlated response to selec-

tion for litter size i pigs. I. Growth, fat deposition and feeding traits. J. Anim. Sci. (In press).

FÀBREGA E., TIBAU J., SOLER J., FERNÁNDEZ J., FONT J., CARRIÓN., DIESTRE A., MANTECA X., 2002. Feeding patterns, performance and carcass traits in group housing growing-finishing pigs: the effect of terminal sire, halothane gentype and age. Applied Animal Behaviour Science (Submitted).

GARNIER J.P., 2001. L'Espagne. La croissance continue. Porc Magazine 34: 87-94.

NOGUERA J.L., ALFONSO L., BABOT D., PÉREZ-ENCISO M., ESTANY J., 1998. Results of an experiment for the selection of litter size in pigs by means of a hyperprolific breeding scheme. Proc. 6 World Congress Genetics Applied Listoctock Production. Armidale, Australia. 23: 660-663.

OLLIVIER L., 1998. Genetic improvement of the pig. pp. 511-540. En: The genetics of the pig. Eds. Rotschild and Ruvinsky CAB International.

PUIGVERT X., TIBAU J., SOLER J., GISPERT M., 2002. Across herd varation on carcass traits of pig beeds in Spain. VII World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. Montpellier, France.

POMAR C., JEAN DIT BAILLEUL P., 2001. Producción porcina: óptimos económicos, emdioambientales y sociales. "Factors que afecten la eficiencia y la qualitat en el porcí" Vic. 2001.

RAW W.M., 2001. Límites de la selección para una alta eficiencia productiva: cambios en los patrones de asignación de recursos alimentarios en la selección para una alta prolificidad. "Factors que afecten la eficiencia y la qualitat en el porcí" Vic. 2001.

ROTSCHILD M.F., 2000. Advances in pig molecular genetics, gene mapping and genomics ITEA Vol. 96A nº 3, 349-361.

SELLIER P., 1994. The future role of molecular genetics in the control of meat production and meat quality. Meat Science 36, 29-44.

STEWART T.S., 1999. Quantity, quality and the consumer: limitations to breeding objectives. VI World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. Armidale Australia.

TIBAU J., 1998. La mejora genética ante los nuevos retos medioambientales. IX RMGA. Gasteiz.

TORRELARDONA D., SOLER J., 2001. Potencial genético y alimentación óptima por fases en porcino. Factors que afecte la eficiencia y la qualitat en el porcí. Vic. 2001.

VAN DER STEEN H.A.M., KNAP P.W. BICHARD M., 1995. The approach of an international breeding organisation to meet requeriments of a national pig industry. V world Congress of Genetics Applied to Livestock Production. Guelph, Canada Vol 17: 177-180.

VERGOOG H., 2001. The ethics of using marker technology XII JSR Healthbreed Annual Technical Conference. Nottingham, September 2001.

WEBB A.J., 1996. Future challenges in pig genetics. Pig News and Information 17-1: 11N-16 N.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 163-172

ESTADO Y DEMANDAS ACTUALES DE LOS PROGRAMAS DE MEJORA DEL CONEJO DE CARNE

M.A. Santacreu Jerez

Departamento de Ciencia Animal, Universidad Politécnica de Valencia, Apartado 22012, 46071 Valencia, España
msantacr@dca.upv.es

RESUMEN

Se presenta una revisión de los programas de mejora genética en desarrollo en el conejo de carne. Se describen los objetivos de selección, su determinación genética y las respuestas estimadas tanto en los caracteres reproductivos como en los de crecimiento. La organización de la mejora es de tipo piramidal. Se utiliza un esquema de cruzamiento a tres vías. La hembra reproductora se obtiene a partir del cruce de dos líneas seleccionadas por tamaño de camada al destete o número de nacidos vivos, este cruzamiento permite aprovechar la heterosis en los caracteres reproductivos. El cruce final con el macho cárnico permite complementar los caracteres de las líneas materna y paterna. La inseminación artificial es una herramienta en la difusión de la mejora genética. También se describe las estrategias para controlar la consanguinidad en el núcleo y los cambios en los criterios y objetivos de selección.

Palabras clave: Selección, Cruzamientos, Conejo.

SUMMARY
PRESENT STATE AND DEMANDS OF BREEDING PROGRAMS OF MEAT RABBIT

Review about breeding programs in meat rabbits. Objectives of selection, genetic parameters and response of reproductive and growth traits were described. A three-line crossbreeding system is widely used by commercial rabbit producers. Two maternal lines selected by litter size are crossed to get the advantage of heterosis. These crossbred does are mated with males of a third line selected for growth rate. Dams have good reproduction ability and their offspring have a high growth rate, transmitted by the sire line. Artificial insemination is a good way to improve the diffusion of genetic progress. Also, strategies to avoid increase of inbreeding in nucleus farms, and the most recent criteria and objectives of selection were described.

Key words: Selection, Crossbreeding, Rabbit.

Introducción

La producción de conejo de carne está principalmente localizada en el Mediterráneo y son Italia, España y Francia los principales productores y a su vez los principales consumidores.

Los programas de mejora genética del conejo son más recientes que en otras especies de interés productivo como por ejemplo vacuno de leche, aves y porcino. El primer programa de mejora genética se inicia en la década de los 70 en Francia a petición de las asociaciones y organizaciones profesionales y es desarrollado por el INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) a petición del Ministerio de Agricultura (LEGAULT *et al.*, 1996). En España, es a principios de los 80 cuando se inician los programas de selección de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y del IRTA (Institut de Recerca i Tecnología Agroalimentàries) en Cataluña (BLASCO, 2002). En Italia no se conoce ningún programa de mejora genética desarrollado por organismos institucionales.

En el conejo como en las otras especies prolíficas de interés productivo, la organización de la mejora genética es de tipo piramidal. En la mayoría de programas de selección en curso, las líneas maternas que se cruzan para dar lugar a la hembra reproductora son de la raza Neozelandés Blanco, California, o bien sintéticas a partir de estas razas principalmente. Las líneas utilizadas en la producción de machos para el cruce con la hembra reproductora suelen ser sintéticas, con algún aporte de razas gigantes.

En 1996, GÓMEZ y SANTACREU presentaron una revisión sobre los programas de mejora genética en conejo, por lo que en este trabajo se intentará recoger las novedades más relevantes desde esa fecha y destacar los puntos que diferencian los programas de mejora del conejo de carne de otras especies de interés productivo.

Objetivos y criterios de selección

Los objetivos de selección en la mayoría de los programas de selección son el tamaño de camada, el índice de conversión y la velocidad de crecimiento. Los pesos económicos estimados por ARMERO y BLASCO (1992) son de 12,8 € (2.130 Ptas) para el tamaño de camada (número de gazapos nacidos vivos), de -1,4 € (–238 Ptas) para el índice de conversión post-destete (medido en décimas) y de 1,1 € (188 Ptas) para la velocidad de crecimiento post-destete (g./día). La importancia económica relativa de estos caracteres es similar a la obtenida por EADY y PRAYAGA (2000) para el mercado australiano. Estos autores tomando el tamaño de camada como carácter de referencia (1), obtienen los siguientes pesos económicos, 1,01 para la mortalidad hasta el destete, 0,67 para el índice de conversión en el periodo de engorde y 0,22 para la velocidad de crecimiento en este mismo periodo.

Los ingresos que percibe el cunicultor se deben principalmente a la venta de los animales de engorde al matadero, que depende del tamaño de camada. Además una camada más numerosa significa repartir entre más individuos los costes no derivados de la alimentación del gazapo, que en el conejo son especialmente relevantes (60%) (BASELGA y BLASCO, 1989). El carácter tamaño de camada es fácil de medir y no supone un gran costo en mano de obra. El criterio de selección que se utiliza es el número de gazapos nacidos vivos o el número de gazapos destetados (que recoge la prolificidad al nacimiento y la capacidad láctea de la hem-

bra); estos dos caracteres están muy relacionados genéticamente con el número de gazapos al sacrificio que es económicamente el más interesante pero también es el que presenta un intervalo generacional mayor y una menor heredabilidad; la mortalidad de los gazapos durante el engorde está muy influida por factores ambientales y en menor medida por los efectos genéticos de la hembra (GARCÍA *et al.*, 1982). El gazapo que después será sacrificado pasa cerca del 50% del ciclo productivo con su madre.

Por otra parte, el mayor coste en una explotación cunícola es la alimentación que supone entre un 65-75% del total (ARVEUX, 1983), donde el periodo de engorde representa un 40%. Según los datos de la GTE 1999 (Gestión Técnica Económica) la reducción de cada décima del índice de conversión representa 0,04 € por gazapo (6,3 Ptas). En el periodo 1977-1999 la reducción del coste por alimentación por gazapo ha sido de 0,53 € (88,2 Ptas), en esta reducción ha jugado un papel importante tanto la genética como la mejora de los piensos (RAFEL, 2002). Así, el índice de conversión es un carácter económicamente muy importante, sin embargo es un carácter costoso de medir en cuanto a instalaciones y mano de obra. La velocidad de crecimiento es un carácter más barato de medir y presenta una correlación genética negativa con el índice de conversión (BLASCO, 1984). El criterio de selección que se utiliza es la velocidad de crecimiento, estimada a partir de la diferencia entre el peso al sacrificio (63 días en España) y el peso en el momento del destete (28 días).

En conejo, la mayoría de las líneas de los programas de mejora genética que se conocen, se seleccionan por un carácter, son líneas especializadas. Así, los criterios de selección son el número de nacidos vivos o el número de destetados en las líneas maternas que se van a cruzar para obtener la coneja reproductora, y la velocidad de crecimiento en la línea paterna, y prácticamente, tanto los criterios como los tipos de control que se llevan a cabo, no se han modificado desde la puesta en marcha de los programas de mejora. La utilización de líneas especializadas se basa en la mayor dificultad en lograr en la misma población, animales con un buen crecimiento y unas características reproductivas excepcionales.

Los animales que tienen un buen crecimiento presentan un menor tamaño de camada y tienen un mayor formato, por lo que conllevaría mayores costes de mantenimiento. No se tiene mucha información acerca de la correlación genética entre los caracteres reproductivos y los de crecimiento, las estimas más recientes están de acuerdo con la escasa bibliografía previa y apuntan a una correlación débil cercana a cero pero que puede ser positiva o negativa dependiendo de la población estudiada (GARREAU *et al.*, 2000; GÓMEZ *et al.*, 2000; GARCÍA *et al.*, 2000b).

En algunos programas de mejora se ha seleccionado para más de un carácter alguna de las líneas. Durante los primeros nueve años de selección, la línea de machos desarrollada por el IRTA, conocida como Caldes, fue seleccionada por niveles independientes para el peso de la camada al destete y la velocidad de crecimiento entre los 32 y los 60 días con el objetivo de desarrollar una línea que fuera mejorando la velocidad de crecimiento, e indirectamente el índice de conversión, pero manteniendo un buen índice reproductivo (RAFEL *et al.*, 1990). En la actualidad, la línea se está seleccionando solamente por velocidad de crecimiento durante el engorde.

Los criterios de las líneas que seleccionan las empresas de mejora genética no relacio-

nadas con los organismos públicos no están descritos, generalmente se da la media de una lista de caracteres entre los que se encuentran los objetivos de selección anteriormente citados.

Cambios en los objetivos de selección

En el esquema de selección desarrollado por el INRA de Francia, en una de las líneas seleccionadas por tamaño de camada, conocida como 1077, se ha observado una reducción del peso al destete con consecuencias no deseables sobre el tamaño adulto de la hembra (ROCHAMBEAU, 1998). Los multiplicadores han aumentado la tasa de eliminación por formato insuficiente. Los productores han constatado una mayor fragilidad de las reproductoras particularmente en el momento del parto, posiblemente porque la capacidad de ingestión es menor en hembras más ligeras. Por estas razones, se ha propuesto un nuevo objetivo de selección, el peso del gazapo a la edad de 63 días, para una de las líneas maternas (BOLET, 1998). Este efecto negativo de la selección de tamaño de camada sobre el peso de los animales no se ha observado los programas de mejora desarrollados por la Universidad Politécnica de Valencia (GARCÍA *et al.*, 2000 b) y por el IRTA (GÓMEZ *et al.*, 1998)). Dada la gran difusión de las líneas maternas seleccionadas por el INRA, se está estudiando las consecuencias de esta modificación de los objetivos sobre la fertilidad y sus componentes, el índice de conversión y la calidad de la canal y la carne mediante un experimento de selección divergente por peso a los 63 días durante cinco generaciones. LARZUL *et al.* (2000) han publicado los resultados de las tres primeras generaciones. Las diferencias genéticas para el peso a los 63 días fueron de 160 gramos. No se observaron diferencias para el rendimiento a la canal, pérdidas por goteo y porcentaje de grasa. En cuanto a la calidad de la carne no se ha visto negativamente afectada.

Por otra parte, en la misma línea 1077, se ha observado que el aumento del tamaño de camada ha dado lugar a un menor peso promedio al destete. ROCHAMBEAU (2000) reflexiona sobre las consecuencias de esta disminución de peso al destete. La primera consecuencia que apunta es que la probabilidad de la supervivencia de los gazapos es menor por debajo de un valor umbral. Por otra parte, el manejo en bandas obliga al ganadero a vender todos los animales de la banda un determinado día, sea cual sea su peso, con la consiguiente falta de homogeneidad en los pesos. Es posible que se inicie un experimento de selección canalizante, por ejemplo aumentar el tamaño de camada sin modificar la varianza del peso al destete o al sacrificio.

En el programa de mejora desarrollado por la UPV se va a realizar un experimento de selección por tasa de ovulación durante cinco generaciones. La tasa de ovulación se ha propuesto como criterio de selección para mejorar de forma más eficiente el tamaño de camada en base a dos resultados experimentales: que la respuesta en tamaño de camada va generalmente acompañada de una respuesta en la tasa de ovulación (GARCÍA *et al.*, 2000c; BRUN *et al.*, 1992) y a que la respuesta a la selección por capacidad uterina, carácter muy relacionado con la supervivencia prenatal, no ha tenido más éxito que la selección directa por tamaño de camada (SANTACREU *et al.*, 2000).

Las líneas divergentes por capacidad uterina presentan diferencias en tamaño de camada (2,63 gazapos) que se deben en su mayor parte a que las líneas difieren en más

de dos embriones implantados (SANTACREU *et al.*, 2000). Estas líneas en sí no tienen interés comercial pero si que son de gran interés desde el punto de vista académico para profundizar en las razones del porqué esta diferencia en la tasa de implantación. Hay razones para suponer que puede estar interviniendo un gen mayor (ARGENTE *et al.*, 2000) y actualmente se está desarrollando un experimento cuyo objetivo es averiguar la existencia de un gen responsable de estas diferencias y localizarlo produciendo una F2 a partir del cruce de ambas líneas mediante la técnica del gen candidato para la proteína uteroglobina y la progesterona, y aislando y secuenciando ARNm del útero y ovario en ambas líneas.

Otro objetivo de gran interés sobre el cual están ya trabajando varios equipos es la longevidad de las reproductoras. En la UPV está en marcha un proyecto de constitución de una nueva línea longevo-resistente seleccionada con altísimas presiones de selección (alrededor del 0,1%). El criterio será elegir 50 hembras con más de 35 partos en producción, y *a posteriori* las 24 más excepcionales en base al número de nacidos vivos. De estas conejas se obtendrán oocitos que serán activados partenogenéticamente y cuando alcancen el estadio de 32-64 células se congelarán. El proceso de fundación se iniciará mediante un cruzamiento con machos normales y tres retro-cruzamientos. En el INRA se tiene previsto analizar los parámetros genéticos de la longevidad en diferentes poblaciones e intentar definir una medida objetiva de lo que los ganaderos llaman rusticidad (ROCHAMBEAU, 2000). En el caso de que existiera variabilidad genética se plantearía realizar un experimento de selección.

Evaluación genética de los reproductores

El número de animales que constituyen las poblaciones de selección suele ser de unas 100-140 hembras, algo menor en las líneas de crecimiento, y unos 20-25 machos alojados en las mismas condiciones en una granja. Lo que diferencia a los núcleos de selección respecto a las granjas de producción, en cuestión de manejo, es que se extreman las medidas de higiene y la eliminación de animales por motivos sanitarios. En las líneas de machos terminales se emplea la selección masal para mejorar la velocidad de crecimiento (BASELGA y BLASCO, 1989). Los métodos de selección en las líneas maternas que se seleccionan para aumentar la prolificidad son o un índice de selección con información variable o el BLUP, empleando un modelo animal de repetibilidad (BASELGA, 1990). En el modelo, se suele considerar como efectos fijos el año-estación y el estado fisiológico de la hembra. Los niveles del estado fisiológico se definen en función de si la hembra tiene gazapos lactantes o no en el momento de la monta (ESTANY *et al.*, 1989) y del número de gazapos del parto anterior (GÓMEZ *et al.*, 1996). En cuanto a los efectos aleatorios se incluye el valor aditivo, el efecto permanente no aditivo y ambiental de una hembra sobre todos sus partos y el residual.

LUKEFHAR *et al.* (2000) publican los primeros resultados donde se han utilizado modelos que incluyen los efectos genéticos aditivos y de dominancia para los caracteres de peso al destete y pesos en las posteriores semanas hasta el sacrificio. Estos autores comparan diferentes modelos y llegan a la conclusión de que los efectos de la dominancia para los pesos semanales durante el engorde pueden ser en ocasiones tan importantes como los efectos aditivos. Sin embargo, la heterosis estimada para los caracteres

de crecimiento en experimentos de cruzamiento suele ser baja (< 11%) (BRUN y OUHAYOUN, 1989; AFIFI y KHALIL, 1992; ABDEL-GHANY *et al.*, 2000a y b).

Estrategias de control de la consanguinidad

Las poblaciones de selección tienen un efectivo limitado y se han seguido diferentes estrategias para limitar el aumento de la consanguinidad a lo largo del proceso de selección. Una política común es un número de machos por línea que no sea menor de 20-25 y guardar hijos (al menos 2) de todos los machos, es decir conservar todos los orígenes presentes en la población base. En las líneas maternas seleccionadas por prolificidad, los machos que se guardan son generalmente hijos de los apareamientos mejor evaluados.

En la práctica a la hora de planificar los apareamientos se han seguido dos vías. La primera opción consiste en aparear machos y hembras que no tengan abuelos en común y la segunda en la creación de grupos de reproducción que cumplen una serie de reglas (ROCHAMBEAU, 1990). Un grupo de reproducción es un conjunto de machos y de hembras que se aparean entre ellos durante un periodo de tiempo determinado que en el caso del conejo es de meses. El número de grupos de reproducción varía de una población de selección a otra y oscila entre 6 (líneas de crecimiento) y 11(líneas maternas). El número de hembras en cada grupo de reproducción está entre 11 y 19, y el número de machos entre 3 y 4. Generalmente los descendientes seleccionados de los machos no cambian de grupo de reproducción y son las hembras seleccionadas las que circulan y se distribuyen al azar en el resto de grupos siguiendo el esquema descrito por ROCHAMBEAU y CHEVALET (1985).

El incremento de la consanguinidad por generación después de más de 10 generaciones de selección ha sido menor al 1%, independientemente de la estrategia del control de consanguinidad llevada a cabo (GÓMEZ, 1994; GÓMEZ *et al.*, 1996; ROCHAMBEAU, 2000).

Estimación de parámetros genéticos y respuesta a la selección

Las estimas de los parámetros genéticos de los caracteres objeto de selección publicados desde 1996, se encuentran dentro del rango de valores de la bibliografía previa. El método de estimación de los parámetros genéticos ha sido el de máxima verosimilitud restringida (REML). Las estimas de la heredabilidad de los caracteres reproductivos son bajas, entre 0,03 y 0,13 para el número de gazapos nacidos vivos y destetados (FERRAZ y ELER, 1996; GÓMEZ *et al.*, 1996; ROCHAMBEAU, 1998; GÓMEZ *et al.*, 2000; RASTOGI *et al.*, 2000).

La respuesta estimada en las diferentes líneas maternales españolas y francesas para el tamaño de camada o para alguno de sus componentes (capacidad uterina) es pequeña de acuerdo con la bibliografía previa, independientemente del tipo de análisis realizado (mínimos cuadrados, modelo mixto por REML/BLUP o métodos bayesianos) y del diseño experimental (sin población control, población control no seleccionada que se mantiene a lo largo de las generaciones, población control crioconservada o líneas de selección divergentes). La respuesta estimada para el carácter tamaño de camada al destete en los últimos experimentos publi-

cados es de 0,085 en una de las líneas francesas (ROCHAMBEAU, 1998), 0,09 en la línea Prat del IRTA (GÓMEZ *et al.*, 1996), 0,088 en la línea V de la UPV (GARCÍA *et al.*, 2000c) y por último en la línea A de la UPV se ha estimado una respuesta de 0,085 con población control y de 0,18 con metodología del modelo mixto (GARCÍA, 2001). Las estimas en la línea A obtenidas por diferentes métodos son distintas, los autores sugieren que la principal causa de sobrestimación es la no inclusión en el modelo de los efectos dominantes y en menor medida los posible efectos maternos.

La selección por velocidad de crecimiento es eficaz. El progreso por generación en las líneas de carne es del 2% de la media inicial del carácter, entre 0,5 y 0,7 gramos de media de ganancia diaria de peso en los trabajos más recientes de acuerdo con las estimaciones previas (GARREAU *et al.*, 2000 en la línea húngara Pannon Blanca; GÓMEZ *et al.*, 2000 en la línea Caldes del IRTA). PILES *et al.* (2000) analizan la respuesta correlacionada sobre los parámetros de la curva de crecimiento, estimada utilizando técnicas bayesianas, por comparación con una población reconstituida a partir de embriones congelados. Se observa un aumento de los pesos a lo largo de curva, este aumento en la edad adulta es de 212 g. En la última década, los programas de mejora han incrementado la velocidad de crecimiento y como consecuencia el formato adulto de estas líneas. En el mercado español que los conejos se sacrifican a un peso más bajo que en Francia e Italia, este fenómeno conduce a sacrificar un animal más inmaduro con algunas consecuencias no deseables sobre el rendimiento de la canal, principalmente debido a que el tracto digestivo supone un mayor porcentaje y una menor calidad de la canal por modificaciones en la deposición de la grasa (PLA *et al.*, 1996; DALLE ZOTTE y OUHAYOUN, 1998). Además la selección por rápido crecimiento podría afectar a la calidad de la carne favoreciendo el metabolismo glucolítico de los músculos con las consecuencias que esto tiene sobre la terneza, el sabor y la jugosidad de la carne (DALLE ZOTTE, 2000).

Difusión de la mejora genética

La difusión del material genético mejorado está organizada siguiendo un esquema piramidal. El cruce a tres vías es lo más habitual para obtener el producto comercial que es el gazapo de engorde. La hembra reproductora suele ser una hembra cruzada que se adquiere a una multiplicadora o se obtiene a partir del cruce de abuelos de dos líneas, comprados directamente al núcleo (BASELGA *et al.*, 1996; GÓMEZ y SANTACREU, 1996; TORRES *et al.*, 1997). El cruce de las líneas seleccionadas por tamaño de camada permite por una parte abaratar el coste de la reposición y por otra aprovechar la heterosis que presentan los caracteres reproductivos. El cruce de la hembra cruzada con el macho cárnico, proveniente de una población seleccionada para aumentar la velocidad de crecimiento, permite complementar caracteres y producir un número de gazapos elevado con un buen crecimiento.

La estimación de la heterosis para los cruzamientos entre las líneas seleccionadas por la UPV (A, V y H) está alrededor del 6,4% para el número de nacidos totales y del 7,4% para el número de nacidos y vivos (GARCÍA *et al.*, 2000a). BRUN y SALEIL (1994) calculan una heterosis del 15,2%, 20,1% y 6,6% para el número de nacidos totales, vivos y destetados, respectivamente, para uno de los cruces más frecuentes en Francia a partir de las líneas maternas, 2066 y 1077, desarrolla-

das por el INRA. Por otra parte, LOBERA *et al.* (2000) analiza las ventajas del tipo del padre (seleccionado o no por velocidad de crecimiento) sobre los rendimientos de los gazapos de engorde. El uso de machos de carne de una línea especializada, la línea R de la UPV, tiene ventajas respecto a una línea no especializada en la velocidad de crecimiento (43,7 frente a 38,7 g/día), ingestión de alimento (104,0 frente 95,6 g/día) e índice de conversión (2,39 frente a 2,50) entre los 28 y 63 días, es neutral para el rendimiento de la canal y la mortalidad post-destete y presenta desventajas en las pérdidas por goteo 24h post-mortem.

La novedad más destacable de los últimos años desde el punto de vista de manejo, que tiene implicaciones sobre la difusión de la mejora genética, es el uso cada vez más frecuente de la inseminación artificial. La inseminación artificial puede ser una gran herramienta de la mejora genética ya que permite difundir el semen de los mejores machos presentes en los núcleos. La mejora de la productividad a través de la inseminación artificial se ha limitado a un incremento del número de hembras productivas al reducirse o eliminarse los machos, al ahorro de tiempo que conlleva la inseminación y al establecimiento de una sistema de manejo en bandas (bandas a 21 o a 42 días), sin embargo uno de sus efectos más favorecedores como es su utilización como herramienta genética se ha contemplado en menor medida (VICENTE y LAVARA, 2000).

En la actualidad, la situación de la inseminación artificial es diferente en los distintos países productores (VICENTE y LAVARA, 2000). En Italia, el 80% de las explotaciones realizan auto-inseminación lo que conlleva en la mayoría de los casos a que no se empleen líneas cárnicas seleccionadas para el cruce terminal. En Francia, la situación es diferente, el 40-50% de las explotaciones inseminan contratando los servicios de un núcleo de inseminación por lo que utilizan líneas seleccionadas por crecimiento. En España, la introducción de la inseminación se ha realizado de forma moderada y se realiza tanto la auto-inseminación como la compra de semen a centros de inseminación, algunos de ellos asociados a núcleos de selección. El desarrollo de la inseminación artificial ha orientado las investigaciones en el campo de las técnicas reproductivas a trabajos relacionados con la mejora de la receptividad y fertilidad de la hembra y con la mejora de la producción espermática.

Otros proyectos de interés

Se está desarrollando un proyecto europeo de evaluación y conservación de recursos genéticos en el que están interviniendo más de 20 centro de investigación de más de 10 países (BOLET *et al.*, 2000). El proyecto tiene como objetivo la descripción y caracterización genética de diversas razas, su evaluación zootécnica y la constitución de un criobanco (semen y embriones).

Varios equipos de investigación están trabajando en el conocimiento del mapa genético del conejo. Una mayor densidad de marcadores y la comparación con otros mapas genéticos va a permitir en los próximos años el conocer la posición de algunos genes de interés en producción animal.

Bibliografía

ABDEL-GHANY A.M., HASSAN N.S., AMIN A.A., 2000 (a). Heterosis, direct and maternal abilities of post-weaning daily gain in weight traits of two Egyptian native breeds on account of crossing with New Zealand White rabbits. VII World Rabbit Congress, A: 317-323. Julio 2000. Valencia (España).

ABDEL-GHANY A.M., HASSAN N.S., AHMED E.G., 2000 (b). Cross-breeding genetic parameters of post weaning growth traits of the Egyptian acclimatised New Zealand White and native Baladi Black rabbits. VII World Rabbit Congress, A: 325-331. Julio 2000. Valencia (España).

AFIFI E.A., KHALIL M.H., 1992. Crossbreeding experiments of rabbit in Egypt. Synthesis of results and overview". Options Méditerranéennes, A17: 35-52.

ARGENTE M.J., BLASCO A., HALEY C.S., VISSCHER P.M., 2000. Analices for the presence of a major gene affecting uterine capacity in unilaterally ovariectomized does. VII World Rabbit Congress. A: 339-345. Julio 2000. Valencia (España).

ARMERO Q., BLASCO A., 1992. Economic weights for rabbit selection indices. Journal of Applied Rabbit Research. 15: 637-642.

BASELGA M., 1990. Genetic análysis models and selection in small populations of meat rabbits. Options Méditerranéennes, A-8: 35-39.

ARVEUX P., 1983. Rentabilité de l'élevage cunicole. Cuniculture, 51: 156-158.

BASELGA M., BLASCO A., 1989. Mejora genética del conejo de producción de carne. 110 pp. Ed. Mundi Prensa. Madrid.

BASELGA M., SANTACREU M.A., ARGENTE M.J., CIFRE J., 1996. Genética y selección del conejo de carne. En: Zootecnia. Bases de la producción animal. Volumen IX. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

BLASCO A., 1984. Genética y nutrición del conejo. En: Alimentación del conejo, coordinado por C. De Blas. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.

BLASCO A., 2002. La mejora genética del conejo en España en los últimos 25 años. XXVII Simposium de Cunicultura, 21-24. Mayo 2002. Reus (España).

BOLET G., 1998. Problèmes liés à l'acroissement de la productivité chez la lapine reproductrice. INRA Prod. Anim., 11: 235-238.

BOLET G., BRUN J.M. *et al.*, 2000. Evaluation and conservation of European rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) genetic resources. First results and inferences. VII World Rabbit Congress, A: 281-315. Julio 2000. Valencia (España).

BRUN J.M., OUHAYOUN J., 1989. Growth performance and carcass traits in three strains of rabbits and their two-way crosses. Ann. Zootech., 38: 171-179.

BRUN J.M., BOLET G., OUHAYOUN J., 1992. The effects of crossbreeding and selection on productive traits in a triallel experiment between three strains of rabbits. J. Appl. Rabbit Res. 15: 191-189.

BRUN J.M., SALEIL G., 1994. Une estimation, en fermes, de l'heterosis sur les performances de reproduction entre les souches de lapin INRA A2066 et A1077. VI Journées de la Recherche Cunicoles. Vol 1: 203-210. La Rochelle, Francia.

DALLE ZOTE A., 2000. Main factors influencing the rabbit carcass and meat quality. VII World Rabbit Congress. A: 507-537. Julio 2000. Valencia. España.

DALLE ZOTE A., OUHAYOUN J., 1998. Effect of genetic origin, diet and weaning weight on carcass composition, muscle physicochemical and histochemical traits in the rabbit. Meat Sci., 50(4): 471-478.

EADY S.J., PRAYAGA K.C., 2000. Rabbit farming for meat production in Australia: profitability in the industry and economic values for production traits. VII World Rabbit Congress. A: 361-367. Julio 2000. Valencia. España.

ESTANY J., BASELGA M., BLASCO A., CAMACHO J., 1989. Mixed model methodology for the estimation of genetic response to selection in litter size of rabbits. Livest. Prod. Sci., 21: 67-75.

FERRAZ J.B., ELER J.P., 1996. Comparison of animal models for estimation of (co)variance components and genetics parameters of reproductive, growth, and slaughter traits of Californian and New Zealand rabbits raised under tropical condition. VI World Rabbit Congress. Vol 2: 279-284. Toulouse. France.

GARCÍA F., BASELGA M., BLASCO A., DEL TORO J., 1982. Genetic análisis of some reproductive traits in meat rabbit. I Numerical traits. II World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Vol. 7: 575-579. Madrid (España).

GARCÍA M.L., BASELGA M., LAVARA R., LAVARA F., VICENTE, J.S., 2000 (a). Reproductive characters in crossbreeding among three maternal lines of rabbits. VII World Rabbit Congress, A: 397-402. Julio del 2000. Valencia. España.

GARCÍA M.L., BASELGA M., PEIRÓ R., 2000 (b). Correlated response on growth traits in a line selected for litter size at weaning. VII World Rabbit Congress, A: 397-402. Julio 2000. Valencia. España.

GARCÍA M.L., BASELGA M., VICENTE J.S., LAVARA R., 2000 (c). Selection response on reproductive characters in a maternal line of rabbits. VII World Rabbit Congress, A: 381-387. Julio 2000. Valencia. España.

GARCÍA M.L., 2001. Evaluación de la respuesta a la selección en dos líneas maternales de conejo. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

GARREAU H., SZENDRO Z., LARZUL C., ROCHAMBEAU H. DE, 2000. Genetic parameters and genetic trends of growth and litter size traits in the White Pannon breed. VII World Rabbit Congress, A: 403-408. Julio 2000. Valencia. España.

GÓMEZ E.A., 1994. La selección del tamaño de camada en el conejo de carne: influencia de los efectos maternos y de la heterogeneidad genética entre partos. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

GÓMEZ E.A., SANTACREU M.A., 1996. Mejor genética aplicada en el conejo de carne. ITEA, Vol. 92A N° 3, 142-154.

GÓMEZ E.A., RAFEL O., RAMON J., BASELGA M., 1996. A genetic study of a line selected on litter size. VI World Rabbits Congress, Vol 2: 289-292. Julio 1996. Toulouse. Francia.

GÓMEZ E.A., RAFEL O., RAMÓN J., 1998. Genetics relationships between growth and litter size traits at first parity in a specialized dam line. VI World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, vol. XXV: 552-555. Enero 1999. Armidale. Australia.

GÓMEZ E.A., RAFEL O., RAMÓN J., 2000. Preliminary genetic analyses of Caldes line: a selection experiment for a global objective. VII World Rabbit Congress, A: 417-423. Julio 2000. Valencia. España.

LARZUL C., GONDRET F., COMBES S., GARREAU H., ROHAMBEAU H. DE, 2000. Divergent selection on 63-day body weight in rabbit: preliminary results. VII World Rabbit Congress, A: 443-448. Julio 2000. Valencia. España.

LEGAULT C., MENISSIER F., MERAT P., RICORDEAU G., ROUVIER R., 1996. Les lignées originales de l'INRA: historique, dévelopment et impact sur les productions animales. INRA Prod. Anim. Hors série, 41-56.

LOBERA J., RUIZ F., FERRÁNDEZ F., BASELGA M., TORRES C., 2000. Terminal sire and production of meat rabbit. VII World Rabbit Congress, A: 449-455. Julio 2000. Valencia. España.

LUKEFAHR S.D., MCNITT J.I., DUANGHINDA M., MISZTAL I., 2000. Additive and dominance genetic effects on post-weaning growth in New Zealand white rabbits. VII World Rabbit Congress, A: 457-462. Julio 2000. Valencia. España.

PILES M., BLASCO A., VARONA L., PLA M., 2000. Correlated response to selection on growth curves in rabbits selected for increasing growth rate. VII World Rabbit Congress, A: 651-658. Julio 2000. Valencia. España.

PLA M., HERNÁNDEZ P., BLASCO A., 1996. Carcass composition and meat characteristics of two rabbit breeds of different degrees of maturity. Meat Sci. 44 (1-2): 75-83.

RAFEL O., 2002. Gestión técnico-económica en granjas de conejo en España. 25 años de resultados. Pasado, presente y futuro. XXVII Symposium de Cunicultura. 9-20. Mayo 2002. Reus (España).

RAFEL O., TRAN G., UTRILLAS M., RAMON J., PERUCHO O., DUCROCQ V., BOSCH A., 1990. Sélection pour un objectif global (poids de la portée à 60 jours) en générations chevauchante dans une lignée blanche synthétique de lapins. Étude de la variabilité non génétique de la taille et du poids de portée à différents stades. Options Méditerranéennes, A-8: 75-82.

RASTOGI R.K., LUKEFAHR S.D., LAUCKNER F.B., 2000. Heritability and repeatability of litters traits based on dam records from a tropical rabbit population in Trinidad, West Indies. VII World Rabbit Congress, A: 483-489. Julio 2000. Valencia. España.

ROCHAMBEAU H. DE, 1990. Objectifs et méthodes de gestion génétique de populations cunicoles d'effectif limité. Options Méditerranéennes, A-8: 19-27.

ROCHAMBEAU H. DE, 1998. La femelle parentale issue des souches expérimentales de l'INRA: évolutions génétiques et perspectives. VII Journées de la Recherche Cunicole de la France, INRA-ITAVI, Paris (Francia).

ROCHAMBEAU H. DE, 2000. Amélioration génétique du lapin pour la production de viande en France. Situation actuelle et perspectives. Jornadas Internacionales de Cunicultura. 2000.

ROCHAMBEAU H. DE, CHEVALET C., 1985. Minimisation des coefficients de consanguinité moyens dans les petites populations d'animaux domestiques. Gén. Sél. Evol., 17 : 459-480.

SANTACREU M.A., ARGENTE M.J., MOCE M.L., BLASCO A., 2000. Selection for uterine capacity. II Response to selection estimated wiy¡th a cryopreserved control population. VII World Rabbit Congress, A: 491-495. Julio 2000. Valencia. España.

TORRES C., XIFRE J., TORRES R., 1997. Reposición y adquisición de reproductores. Mundo Ganadero, 93: 58-62.

VICENTE J.S., LAVARA R., 2000. Estado actual de la reproducción en cunicultura. IX Jornada de Cunicultura. 474-479. Noviembre 2000. Barcelona (España).

ITEA (2002). Vol. 98A N.° 2, 173-184

MEJORA GENÉTICA DE RAZAS DE GALLINAS CATALANAS

A. Francesch

IRTA, Centre de Mas Bové, Unitat de Genètica Avícola,
Apartat 415 - 43280 Reus, Tarragona, España
amadeu.francesch@irta.es

RESUMEN

Desde 1987 se ha seguido un programa de mejora genética de las razas de gallinas catalanas Penedesenca Negra, Empordanesa Roja y Prat Leonada enfocado a la obtención de pollos más rentables para la producción de carne de tipo tradicional. La mejora ha sido aplicada a una estirpe materna y otra paterna en cada raza. Las estirpes maternas han sido seleccionadas por puesta, peso del huevo y color de su cáscara, así como peso vivo. Las paternas han sido mejoradas y seleccionadas por peso vivo y ángulo de pechuga. Se presenta una revisión actualizada de la estima de parámetros y progreso genético en cada una de estas razas y estirpes. La heredabilidad aparece moderada en el carácter puesta y más bien alta en el peso vivo, peso del huevo, color de la cáscara del huevo y ángulo de pechuga. Los valores que se obtienen resultan muy parecidos entre razas. La correlación genética es positiva y alta entre el peso vivo y el peso del huevo, así como peso vivo y ángulo de pechuga; negativa y moderada entre peso vivo y puesta, así como peso del huevo y puesta. El valor de estas correlaciones se obtiene muy parecido entre razas, excepto el último, cuyo valor en la raza Prat es casi nulo. El carácter que no mantiene una constante en su correlación con otros entre razas es el color de la cáscara del huevo. El progreso genético se estima positivo en todos los caracteres de interés, siendo la puesta en las estirpes maternas y el peso vivo en las paternas los caracteres con un mayor progreso genético.

Palabras clave: Gallinas, Razas catalanas, Mejora genética.

SUMMARY
GENETIC IMPROVEMENT OF CATALAN POULTRY BREEDS

From 1987 a program of genetic improvement of the Catalan chicken breeds Black Penedesenca, Red Empordanesa and Buff Prat has been followed and focused to obtaining more profitable chickens for traditional meat production. Improvement has been applied to a maternal and another paternal stock in each breed. Maternal stocks have been selected for egg number, egg weight, and eggshell color, as well as body live weight. Paternals have been improved and selected for body live weight, and breast angle. An actual revision of genetic parameters, and genetic progress estimate in each one of these races and stocks is presented. Heritability appears moderate for egg number, and high for body live weight, egg weight, eggshell color, and breast angle. Obtained values are very similar between breeds. Genetic correlation is positive and high between body live weight and egg weight as well as body live weight and breast angle; negative and moderate between body live weight and egg number, as well as egg weight and egg number. Their values are very similar between breeds, except the last, whose value in Prat breed is almost null. The character that does not maintain a constant in their correlation with

another between breeds is the eggshell color. Genetic progress is positive in all the characters of interest, being egg number in maternal stocks, and body live weight in paternals the characters with a greater genetic progress.

Key words: Poultry, Catalan breeds, Genetic improvement.

Introducción

Desde 1987 venimos informando de un programa de mejora genética de razas de gallinas catalanas enfocado a la obtención de un pollo de carne de tipo tradicional cuya producción resultara más rentable. Ello contribuiría a la conservación de unas razas y a la de unos productos tradicionales. El hecho de obtener unas producciones reforzaría la conservación de las razas.

La mejora se ha venido aplicando a unas poblaciones de la raza Penedesenca Negra, Empordanesa Roja y Prat Leonada.

En este trabajo, siguiendo las pautas marcadas por la organización de la XI Reunión Nacional de Mejora Genética Animal presentamos una revisión actualizada del programa y sus resultados.

Objetivos y criterios de mejora

Los objetivos principales de mejora son aumentar el número de pollitos por reproductora y año de puesta, así como la velocidad de crecimiento y conformación de la canal.

Desde 1987 hasta 1992 se practicó la selección en una población cerrada de cada una de las razas nombradas en la introducción. El criterio de selección fue el número de huevos puestos hasta las 39 semanas de vida, momento en el que se controlaba el peso del huevo y el color de la cáscara, que no tuvieron valor selectivo. Este último no tiene un valor reproductivo, en principio, pero tendría interés conservarlo en la Penedesenca y la Empordanesa como característica racial. El tipo de selección aplicado hasta aquel momento fue el individual.

En 1993 utilizando los datos recopilados hasta aquel momento y utilizando el REML se hizo una estima de componentes de varianza (FRANCESCH *et al.*, 1997 b) y de la respuesta a la selección (FRANCESCH y IGLESIAS, 1995). Esto sentó las bases para continuar en una selección multicarácter utilizando metodología BLUP. Los caracteres que se han considerado a partir de aquel momento han sido el número de huevos a las 39 semanas de vida, el peso y color de cáscara del huevo a las 25 y el peso vivo a las 11. Para el número de huevos se ha buscado el aumento; para el peso vivo, peso del huevo y color de cáscara (Penedesenca y Empordanesa) la ausencia de disminución.

En 1992 se decidió que estas poblaciones continuarían seleccionándose en población cerrada y generaciones discretas, pero a cada una de ellas se le aplicó una mejora por cruzamiento en velocidad de crecimiento y conformación. De esta forma surgieron dos subpoblaciones de cada población inicial (FRANCESCH, 1992), una pura que se la seguiría seleccionando por caracteres reproductivos y otra cruzada que se seguiría seleccionando por peso vivo y ángulo de pechuga a las 11 semanas de vida, así como por color del plumaje al principio. El pollo

buscado en cada raza provendría de un cruce entre gallinas de la línea mejorada por caracteres reproductivos, que sería la línea madre y gallos de la mejorada por crecimiento, que sería la línea padre.

A partir de aquel momento se han seleccionado dos poblaciones de cada raza, una que venimos denominando estirpe M (materna) y otra estirpe P (paterna). Puede verse, por tanto, que se ha trabajado con tres estirpes maternas MN (materna de Penedesenca Negra), MR (materna de Empordanesa Roja), MP (materna de Prat Leonada) y con tres estirpes paternas PN, PR, PP, cuya correspondencia a cada raza puede ser deducida.

Después de la constitución de las estirpes paternas se llevó en ellas una selección individual para los caracteres indicados sin posibilidades de llevar un "pedigree" controlado y por tanto de utilizar información familiar. Posteriormente esto ha sido posible y la metodología BLUP también ha pasado a aplicarse a estas estirpes.

El número de animales controlados ha ido variando a lo largo de los años en función de las posibilidades, ello ha repercutido en la variación de los coeficientes de selección que, refiriéndonos a hembras han oscilado entre el 30 y el 50 %, por tanto se ha mantenido constante el número de animales seleccionados que es de 128 gallinas y 32 gallos en cada estirpe.

El control de puesta de las estirpes maternas se ha venido realizando en baterías individuales y se expresa como número de huevos puestos hasta las 39 semanas de vida, el peso del huevo a las 25 semanas se basa en el promedio del peso de tres huevos puestos en días consecutivos a partir del día que cumplen las 25 semanas de vida, a estos huevos también se les toma una medida de la oscuridad de su cáscara con un reflectómetro, el cual nos mide el % de luminosidad, que expresamos como oscuridad restándolo de 100. Es obvio todo lo que se refiere a peso vivo a las 11 semanas de vida en ambos tipos de estirpes. En cuanto al ángulo de pechuga en las estirpes paternas se utiliza un angulómetro para medirlo.

Estimación de parámetros genéticos, valores y progreso genético

Nos hemos referido ya a una primera estima de parámetros realizada con los datos hasta el año 1992 en las estirpes maternas. Posteriormente se han hecho nuevas estimas considerando que el peso del huevo y el color de cáscara pasaron a tomarse a las 25 semanas de vida en vez de a las 39, y que se añadía el peso vivo a las 11 semanas. Mientras que las primeras estimas fueron hechas con el DFREML (MEYER, 1989), para las segundas en las estirpes maternas se ha utilizado el VCE (NEUMAIER y GROENEVELD, 1998) así como también para las estimas de parámetros de los caracteres medidos en las estirpes paternas. Para ello se ha utilizado un modelo animal multicarácter con dos efectos fijos, el año-lote y el sexo.

La composición de las bases de datos que se han utilizado para hacer las estimas de parámetros genéticos y progreso genético se presenta en los cuadros 1 y 2 para las estirpes maternas y paternas respectivamente.

En el cuadro 3 se presentan, referidas a la población base, las varianzas genéticas y heredabilidades de los caracteres medidos en las estirpes maternas. En el cuadro 4 presentamos las correlaciones genéticas. En los cuadros 5 y 6 las estimas realizadas en las líneas padre.

Cuadro 1. Composición de las bases de datos hasta el año 2001 de las poblaciones en selección de las estirpes maternas de las razas de gallinas Penedesenca Negra (MN), Prat Leonada (MP) y Empordanesa Roja (MR)

Table 1. Composition of the data base until the year 2001 of the populations under selection of the Black Penedesenca (MN), Buff Prat (MP), and Red Empordanesa (MR) chicken breeds mother strains

	Estirpes		
	MN	MP	MR
N° total animales	5.502	5.625	4.696
N° animales base	465	456	472
N° animales con peso vivo	3.137	3.132	2.504
N° animales con puesta	4.164	4.350	3.536
N° animales con peso huevo	1.988	2.014	1.642
N° animales con color cáscara	1.989	2.014	1.642

Cuadro 2. Composición de las bases de datos hasta el año 2001 de las poblaciones en selección de las estirpes paternas de las razas de gallinas Penedesenca Negra (PN), Prat Leonada (PP) y Empordanesa Roja (PR)

Table 2. Composition of the data base until the year 2001 of the populations under selection of the Black Penedesenca (PN), Buff Prat (PP), and Red Empordanesa (PR) chicken breeds father strains

	Estirpes		
	PN	PP	PR
N° total animales	1.767	1.165	1.404
N° animales base	135	139	109
N° animales con peso vivo	1.564	1.107	1.318
N° animales con áng. Pechuga	1.519	1.049	1.254

Las heredabilidades de los caracteres que se controlan y seleccionan en las estirpes maternas resultan altas y muy parecidas entre razas para los caracteres peso vivo a las 11 semanas, peso del huevo a las 25 y color de cáscara a las 25. La que se refiere a la puesta se obtiene moderada y también muy parecida entre razas. Siguiendo con las estirpes maternas y refiriéndonos a las correlaciones genéticas podemos destacar que resulta negativa, moderada y parecida entre razas la que se refiere a peso vivo con puesta coincidiendo con otras múltiples referencias bibliográficas, véase FAIRFULL y GOWE (1990) para una revisión. Ocurre lo mismo con la correlación entre peso del huevo y puesta, pero la similitud entre razas sólo se da entre la Penedesenca y la Empordanesa, la

Prat, aun manteniendo el signo negativo, presenta un valor absoluto considerablemente más bajo. Esta observación no coincide con las estimas presentadas por FRANCESCH *et al.* (1997b) donde el peso del huevo se tomaba a las 39 semanas de vida, allí los valores eran muy parecidos entre ellos y del mismo orden que los que se presentan aquí para la Penedesenca y Empordanesa. Por otra parte la correlación genética resulta más bien alta, positiva y también parecida entre razas la que se refiere a peso vivo con peso del huevo; los valores obtenidos también son del orden de los que encontramos en la bibliografía.

El carácter que no está guardando, a nivel genético, una relación constante, en las diferentes razas, con los otros caracteres es el color de cáscara, o mejor dicho, la oscuridad de la cáscara. La correlación genética del color de cáscara con el peso vivo y la puesta se observa bastante diferente entre razas. Esta falta de constancia, dentro de estas razas, en la correlación genética del color de cáscara y otros caracteres también ha sido puesta de manifiesto por FRANCESCH *et al.* (1997b). Si comparamos aquellos resultados con los que presentamos aquí podemos añadir que el color de cáscara es el carácter cuya correlación con otros se mantiene menos constante si lo tomamos a edades distintas, en aquel trabajo la Empordanesa presentó una correlación genética positiva y bastante alta con el peso del huevo cuando ambos se tomaban a las 39 semanas de vida.

En las estirpes paternas las heredabilidades para peso vivo y ángulo de pechuga resultan más bien moderadas y muy parecidas entre razas. Respecto a peso, a pesar de la considerable diferencia en la varianza genética entre estirpes maternas y paternas, siendo muy superior en las segundas, en ellas la heredabilidad aparece algo más baja. Por otra parte la correlación genética entre estos caracteres resulta bastante alta.

Cuadro 3. Varianza genética (σ^2_a) y heredabilidades (h^2) ± std-err del peso vivo a las 11 semanas de vida, de la puesta a las 39, del peso y del color de la cáscara del huevo a las 25 en las estirpes maternas de las razas de gallinas Penedesenca Negra (MN), Prat Leonada (MP) y Empordanesa Roja (MR)

Table 3. Genetic variance (σ^2_a) and heritabilities (h^2) ± std-err of the body live weight at 11 weeks of age, the number of eggs laid until 39 weeks of age, the egg weight and eggshell color at 25 weeks of age in the Black Penedesenca (MN), Buff Prat (MP), and Red Empordanesa (MR) chicken breeds mother strains

		Estirpes		
		MN	MP	MR
Peso vivo	σ^2_a	6.852,06	6.371,90	8.774,77
	h^2	0,56 ± 0,03	0,64 ± 0,02	0,69 ± 0,02
Puesta	σ^2_a	97,48	99,88	85,40
	h^2	0,26 ± 0,03	0,30 ± 0,03	0,30 ± 0,03
Peso del huevo	σ^2_a	9,66	10,93	9,90
	h^2	0,58 ± 0,04	0,58 ± 0,02	0,63 ± 0,03
Color de cáscara	σ^2_a	24,89	32,73	18,33
	h^2	0,54 ± 0,02	0,59 ± 0,03	0,49 ± 0,04

En los cuadros 7 y 8, para estirpes maternas y paternas respectivamente, se presenta las medias de los valores genéticos BLUP de cada uno de los cracteres, como progreso genético respecto a las poblaciones base y referidas a los animales nacidos en el año 2001. Para su cálculo se ha utilizado el programa PEST (GROENEVELD *et al.*, 1990) en base a un modelo animal multicarácter con el sexo y el año-lote como efectos fijos. También se presenta la tendencia genética de cada carácter como coeficiente de regresión de los valores BLUP sobre los años. Así mismo, en los cuadros 9 y 10, referidas a estirpes maternas y paternas respectivamente, se presentan las medias de los distintos caracteres obtenidas en los controles aplicados a los animales nacidos en el año 2001.

Cuadro 4. Correlaciones genéticas ± std-err entre el peso vivo a las 11 semanas de vida, puesta a las 39, peso y color de la cáscara del huevo a las 25 en las estirpes maternas de las razas de gallinas Penedesenca Negra (MN), Prat Leonada (MP) y Empordanesa Roja (MR)
Table 4. Genetic correlations ± std-err between the body live weight at 11 weeks of age, the number of eggs laid until 39 weeks of age, the egg weight and eggshell color at 25 weeks of age in the Black Penedesenca (MN), Buff Prat (MP), and Red Empordanesa (MR) chicken breeds mother strains

	Estirpes		
	MN	MP	MR
Peso vivo – Puesta	-0,20 ± 0,07	-0,22 ± 0,05	-0,22 ± 0,07
Peso vivo - Peso huevo	0,53 ± 0,05	0,52 ± 0,05	0,46 ± 0,05
Peso vivo - Color cáscara	0,08 ± 0,03	-0,13 ± 0,05	0,19 ± 0,04
Puesta - Peso huevo	-0,27 ± 0,08	-0,08 ± 0,06	-0,22 ± 0,08
Puesta - Color cáscara	0,07 ± 0,06	-0,14 ± 0,05	-0,26 ± 0,08
Peso huevo - Color cáscara	0,15 ± 0,02	0,04 ± 0,03	0,05 ± 0,03

Cuadro 5. Varianza genética (σ^2_a) y heredabilidades (h^2) ± std-err del peso vivo y ángulo de pechuga a las 11 semanas de vida en las estirpes paternas de las razas Penedesenca Negra (PN), Prat Leonada (PP) y Empordanesa Roja (PR)
Table 5. Genetic variance (σ^2_a) and heritabilities (h^2) ± std-err of the body live weight and breast angle at 11 weeks of age in the Black Penedesenca (PN), Buff Prat (PP), and Red Empordanesa (PR) chicken breeds father strains

		Estirpes		
		PN	PP	PR
Peso vivo	σ^2_a	21.794,69	16.404,87	21.515,91
	h^2	0,42 ± 0,05	0,41 ± 0,05	0,36 ± 0,05
Ángulo pechuga	σ^2_a	11,01	8,95	10,37
	h^2	0,34 ± 0,04	0,29 ± 0,04	0,32 ± 0,05

Cuadro 6. Correlación genética ± std-err entre el peso vivo y el ángulo de pechuga a las 11 semanas de vida en las estirpes paternas de las razas Penedesenca Negra (PN), Prat Leonada (PP) y Empordanesa Roja (PR)

Table 6. Genetic correlation ± std-err between the body live weight and breast angle at 11 weeks of age in the Black Penedesenca (PN), Buff Prat (PP), and Red Empordanesa (PR) chicken breeds father strains

Estirpes		
PN	PP	PR
0,48 ± 0,08	0,66 ± 0,07	0,68 ± 0,08

En las estirpes maternas el carácter principal, que es la puesta, ha manifestado una respuesta interesante en todas las razas, pero en este momento más elevada en la raza Prat que en las otras dos, lo que viene acompañado de una tendencia genética significativamente superior en esta raza e inferior en la Empordanesa, quedando la Penedesenca situada en un nivel intermedio diferenciándose de las otras dos, aunque con una respuesta, en el momento presente, muy cercana a la raza Prat.

Por otra parte, como ya se ha ido mostrando en otros trabajos (FRANCESCH *et al.*, 1997a, 1997b, 1998) la raza Prat, de acuerdo con los datos del cuadro 9, sigue manifestando, de momento, una puesta significativamente inferior a las otras dos razas. También cabe destacar que es la primera vez que la Penedesenca manifiesta una puesta superior a la Empordanesa que siempre se había manifestado significativamente mejor (FRANCESCH *et al.*, 1997a, 1997b, 1998). Ello está de acuerdo con la tendencia genética superior que está mostrando la Penedesenca. No obstante, visto todo ello desde la perspectiva del peso del huevo, la Empordanesa le sigue sacando ventaja a la Penedesenca porque mientras la primera, como la Prat, está dando el huevo casi incubable a las 25 semanas de vida, a la Penedesenca le faltan un par de semanas como podemos deducir del peso del huevo que presentamos en el cuadro 9. De ahí que en este momento se ha impedido por completo la reproducción de los individuos con valores BLUP negativos en el peso del huevo. Con todo, podemos observar en el cuadro 7 que no se aprecian pérdidas atribuibles a razones genético-aditivas, ni en el peso del huevo, ni en el peso vivo, como nos habíamos propuesto, más bien al contrario, pues las tendencias genéticas, aunque pequeñas, sobre todo la del peso vivo, resultan positivas y significativas.

Como hemos indicado en otros trabajos (FRANCESCH *et al.*, 1997a, 1997b, 1998) y como podemos seguir viendo en el cuadro 9, la Penedesenca y Empordanesa son las que ponen el huevo más oscuro y sin diferencias significativas a las 25 semanas de vida, la raza Prat lo pone mucho más claro. A pesar de que se comenta una mejor incubabilidad de los huevos más oscuros, no hemos controlado, como ya se ha dicho, este carácter para hacer selección con la intención de conseguir más pollitos por reproductora, se trata de una característica racial en la Penedesenca y Empordanesa que parece interesante mantener. Este obje-

tivo se está consiguiendo, como podemos ver en el cuadro 7, pues en ambas razas los valores BLUP son positivos, así como la tendencia genética, que además resulta significativa. No es así en la raza Prat donde a la pigmentación de la cáscara no se le da valor y parece que está obedeciendo a su correlación genética negativa con la puesta. Esta no valoración de la pigmentación de cáscara contribuiría a explicar una mejor respuesta de la raza Prat a la selección por número de huevos.

En cuanto a las estirpes paternas, el progreso genético en peso vivo todavía lo tenemos que ver más atribuible a la mejora por cruzamiento que a una respuesta a la selección, a esta conclusió llegamos comparando las medias de peso a las 11 semanas presentadas por FRANCESCH (1992) con las actuales que podemos ver en el cuadro 9. De todas formas el progreso genético es muy alto, pues el peso de las paternas a las 11 semanas es el doble del de las maternas a la misma edad. Ello ocurre en las tres razas y la paterna Prat, al igual que la materna, sigue comportándose como la menos pesada significativamente. Por otra parte, como podemos ver en el cuadro 8, también se aprecia, en el momento presente, una respuesta genética positiva acompañada de una tendencia genética significativa parecida en la Penedesenca y Empordanesa y algo infe-

Cuadro 7. Medias ± std-err del progreso genético BLUP estimado sobre los animales nacidos en el 2001 y tendencia genética ± std-err de valores BLUP sobre años del peso vivo a las 11 semanas, puesta a las 39, peso y color de la cáscara del huevo a las 25 en las estirpes maternas de las razas de gallinas Penedesenca Negra (MN), Prat Leonada (MP) y Empordanesa Roja (MR)

Table 7. Means ± std-err of the genetic progress BLUP estimated on the chickens born in the year 2001, and genetic trend of the BLUP values on the years of the body live weight at 11 weeks of age, the number of eggs laid until 39 weeks of age, the egg weight and eggshell color at 25 weeks of age in the Black Penedesenca (MN), Buff Prat (MP), and Red Empordanesa (MR) breeds mother strains

		Estirpes		
		MN	MP	MR
Peso vivo	Progreso genético	72,58 ± 2,96	22,39 ± 2,82	70,41 ± 3,54
(gr)	Tendencia genética	6.62 ± 0,16 a	1,11 ± 0.16 c	4.29 ± 0,19 b
Puesta	Progreso genético	22.12 ± 0,16	24,78 ± 0,17	16,41 ± 0.21
(nº huevos)	Tendencia genética	1,49 ± 0.02 b	1,87 ± 0.02 a	1,23 ± 0.02 c
Peso del huevo	Progreso genético	2,18 ± 0,08	3,60 ± 0,10	2,97 ± 0.10
(gr)	Tendencia genética	0,20 ± 0,01 c	0,30 ± 0,01 a	0,22 ± 0,01 b
Color de cáscara	Progreso genético	2,87 ± 0,14	-3,14 ± 0,14	0,58 ± 0.13
(% abs.)	Tendencia genética	0,15 ± 0.02 a	- 0,27 ± 0,01 c	0,02 ± 0,01 b

Las tendencias genéticas son todas significativas ($P < 0,005$), las que están en una misma fila y llevan distinta letra presentan diferencias significativas ($P < 0,001$).

Genetic trends are all significant ($P < 0,005$), those in the same row with different letter are significantly differents ($P < 0,001$).

Cuadro 8. Medias ± std-err del progreso genético BLUP estimado sobre los animales nacidos en el 2001 y tendencia genética ± std-err de valores BLUP sobre años del peso vivo y ángulo de pechuga a las 11 semanas de vida en las estirpes paternas de las razas de gallinas Penedesenca Negra (PN), Prat Leonada (PP) y Empordanesa Roja (PR)

Table 8. Means ± std-err of the genetic progress BLUP estimated on the chickens born in the year 2001, and genetic trend of the BLUP values on the years of the body live weight and breast angle at 11 weeks of age in the Black Penedesenca (PN), Buff Prat (PP), and Red Empordanesa (PR) breeds father strains

		Estirpes		
		PN	PP	PR
Peso vivo (gr)	Progreso genético	135,78 ± 3,76	137,98 ± 4,56	133,50 ± 7,35
	Tendencia genética	31,97 ± 1,69 a	26,57 ± 1,77 b	30,49 ± 1,92 ab
Ángulo	Progreso genético	2,36 ± 0,12	1,92 ± 0,11	1,75 ± 0,10
pechuga (°)	Tendencia genética	0,55 ± 0,04 a	0,42 ± 0,04 b	0,40 ± 0,04 b

Las tendencias genéticas son todas significativas ($P < 0,0001$), las que están en una misma fila y llevan distinta letra presentan diferencias significativas ($P < 0,001$).

Genetic trends are all significant ($P < 0,0001$), those in the same row with different letter are significantly differents ($P < 0.001$).

rior en la Prat. Cabe indicar aquí que estas estimas están basadas en la población base que se estableció en el 1997 ya que, como se ha dicho anteriormente, no se podía llevar un control completo del "pedigree", por lo tanto se trata de una respuesta estimada sobre las últimas 4 generaciones.

También se observa, en las tres estirpes paternas, una respuesta genética positiva en el ángulo de pechuga acompañada de una tendencia genética positiva y significativa, algo mayor en la Penedesenca y sin diferencias entre las otras dos razas. Con todo, la Empordanesa presenta un ángulo de pechuga significativamente superior al de las otras dos razas y la Prat inferior. Esta diferencia entre razas, que no puede ser explicada por la respuesta a la selección posterior al cruce, ni por diferencias existentes en este sentido en la población base (FRANCESCH *et al.*, 1999), la explicaríamos porque dada la mayor similitud en coloración entre la Empordanesa y los tipos mejorantes permitió la recombinación, lo que también se detecta en que es algo más pesada, y tampoco es atribuible a una mejor respuesta, ni a un mejor peso de la población autóctona de partida como podemos ver en el cuadro 9.

Hasta aquí hemos visto los resultados de la selección de las líneas puras, pero queda claro que el programa contempla un cruce de las líneas padre con las madre para obtener los productos finales para producción de carne. Los resultados en este sentido han ido siendo presentados a lo largo de estos años por FRANCESCH *et al.* (1993, 1995, 1999, 2000 y 2001). El tema ha sido abordado comparando los productos finales con sus respectivas estirpes maternas que han sido utilizadas como control para ver lo que mejoraban aquellos en crecimiento, índices de conversión y rendimientos de canal. También ha sido estudiado si la mejora genética había podido influir en las caracte-

Cuadro 9. Medias ± std-err del peso vivo a las 11 semanas, puesta a las 39, peso y color de la cáscara del huevo a las 25 referidas a las poblaciones del año 2001 en las estirpes maternas de las razas de gallinas Penedesenca Negra (MN), Prat Leonada (MP) y Empordanesa Roja (MR)

Table 9. Means ± std-err of the body live weight at 11 weeks of age, the number of eggs laid until 39 weeks of age, the egg weight and eggshell color at 25 weeks of age obtained from the chickens born in the year 2001 in the Black Penedesenca (MN), Buff Prat (MP), and Red Empordanesa (MR) breeds mother strains

		Estirpes		
		MN	MP	MR
Peso vivo (gr)	Pollos	1.105,99 ± 12,61 a	944,73 ± 12,66 b	1.045,85 ± 13,28 c
	Pollitas	833,48 ± 6,78 a	729,53 ± 7,24 b	819,23 ± 7,38 a
Puesta (n° huevos)		85,00 ± 1,11 a	69,59 ± 1,19 c	77,17 ± 1,22 b
Peso del huevo (gr)		48,55 ± 0,26 b	51,14 ± 0,29 a	51,01 ± 0,30 a
Color de cáscara (% abs)		73,63 ± 0,42 a	41,51 ± 0,47 b	74,40 ± 0,47 a

Las medias en una misma fila con diferente letra son significativamente diferentes $P < 0,05$.
Means in the same row with different letter are significantly differents $P < 0.05$.

rísticas físico-químicas de la carne y en las organolépticas. No vamos a presentar aquí datos al respecto, que pueden ser consultados en la bibliografía referenciada, pero sí que vamos a referirnos a los resultados más destacados a que se ha llegado.

Se ha observado que los productos finales de las razas Penedesenca y Empordanesa han acortado 6,5 semanas el tiempo de crianza para conseguir el peso vivo mínimo de sacrificio, que estaría situado alrededor de los 2,1 kg. Concretamente ha pasado de las 18 a las 11,5 semanas de vida. En la raza Prat la reducción ha sido de 6 semanas, habiendo pasado de las 20 a las 14. Todo ello viene acompañado de una reducción en 2,4 puntos del índice de conversión, situándose en 3,1 en las razas Penedesenca y Empordanesa y 3, 8 en la Prat. Atendiendo a las características de la canal, los productos finales presentan una mejor conformación que se manifiesta en un mayor ángulo de pechuga y un mejor rendimiento en músculos pectorales. Por otra parte no se observa que la mejora genética haya repercutido en aumentar el rendimiento de canal, pero tampoco ha repercutido en aumentar su engrasamiento, ni en variaciones del pH de la carne , ni en las pérdidas por cocción.

En cuanto a las características organolépticas de la carne tampoco se observa que la mejora genética haya repercutido en una modificación de los atributos de olor, flavor y textura que han sido considerados. Sólo el hecho de poder sacrificar los pollos mejorados más jóvenes es lo que hace encontrar alguna pequeña diferencia, aunque significativa, en obtener una mayor terneza, menor fibrosidad y algunas variaciones en atributos de flavor, lo que por otra parte nos sugiere que contribuye en mejorar los productos.

Cuadro 10. Medias ± std-err del peso vivo y ángulo de pechuga a las 11 semanas referidas a las poblaciones del año 2001 en las estirpes paternas de las razas de gallinas Penedesenca Negra (PN), Prat Leonada (PP) y Empordanesa Roja (PR)

Table 10. Means ± std-err of the body live weight and breast angle at 11 weeks of age obtained from the chickens born in the year 2001 of the Black Penedesenca (PN), Buff Prat (PP), and Red Empordanesa (PR) breeds father strains

		Estirpes		
		PN	PP	PR
Peso vivo (gr)	Pollos	2.249,81 ± 15,75 b	1.888,04 ± 21,13 c	2.334,85 ± 17,19 a
	Pollitas	1.718,34 ± 15,44 b	1.475,00 ± 18,15 c	1.774,85 ± 16,57 a
Ángulo de pechuga (°)		84,50 ± 0,40 b	78,67 ± 0,50 c	93,59 ± 0,43 a

Las medias en una misma fila con diferente letra son significativamente diferentes $P < 0,05$.
Means in the same row with different letter are significantly differents $P < 0,05$.

Control y diseño de apareamientos

En cada una de las estirpes cada uno de los gallos seleccionados es apareado con cuatro gallinas. El apareamiento se realiza por inseminación artificial en baterías individuales, con lo que es fácil tener identificados individualmente todos los descendientes de un gallo y una gallina. Los apareamientos se realizan al azar pero son impedidos hasta el nivel de medio hermanos.

Agradecimientos

El autor quiere agradecer la colaboración de: Miquel Iglesias, Anna Fontgibell, Ramon Anguera, Mercè Casabona, Antoni Amich, Montserrat Ribas, Josep Ferré, Alicia Gómara, Laura Escoda, Toni Panadero, Liliana Soares, Sylvia Aramendi, Anna Carreras, Alberto Villena y Raúl Ibáñez, que como estudiantes en prácticas o realizando sus trabajos de final de carrera durante estos años han contribuido en los resultados del programa de selección al que se refiere este trabajo. Al Dr. Daniel Villalba por su colaboración en la puesta a punto del programa VCE. Al INIA por su colaboración en la financiación del programa de selección desde su inicio.

Bibliografía

FAIRFULL R.W., GOWE R.S., 1990. Genetics of egg production in chickens. pp.: 705-759 in: Poultry Breeding and Genetics. Chapter 29. R.D. Crawford. Ed. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.

FRANCESCH A., 1992. Avance de resultados productivos en la mejora genética de poblaciones de las razas de gallinas Penedesenca y Empordanesa en producción de carne. XXIX Symposium de Avicultura de la Sección Española de la WPSA. pp.: 243-252.

FRANCESCH A., PARDO C., ESTEVE-GARCÍA Y ALMIRALL E., 1993. Resultados de la mejora genética de las razas de gallinas autóctonas Penedesenca Negra y Empordanesa Roja en producción de carne. XXX Symposium de Avicultura de la Sección Española de la WPSA. pp.: 289-297.

FRANCESCH A., PARDO C., 1995. Comparison of some carcass characteristics between traditional and genetically improved catalan authocthonous chickens. Poultry Meat Quality. Proceed. of the XII European Symposium on the Quality of Poultry Meat. Zaragoza. pp. 195-200.

FRANCESCH A., IGLESIAS M., 1995. Estima de componentes de varianza, parámetros genéticos y respuesta a la selección de caracteres de producción de huevos en razas de gallinas autóctonas. ITEA Volumen Extra nº 16 (I. pp.: 260-262.

FRANCESCH A., CASANOVAS P., FONTGIBELL A., 1997a. Heterosis en el cruzamiento de estirpes de razas de gallinas autóctonas catalanas. ITEA. Volumen Extra nº 18 (I): 424-426.

FRANCESCH. A., ESTANY J., ALFONSO L., IGLESIAS M., 1997b. Genetic parameters for egg number, egg weight and eggshell colour in three Catalan poultry breeds. Poultry Science 76: 1627-1631.

FRANCESCH A., CASANOVAS P., FONTGIBELL A., 1998. Heterosis in catalan poultry genetic stocks under egg production traits selection. Proceedings of the 6th World Congress on Genetics applied to Livestock. pp.: 298-301.

FRANCESCH A., ANGUERA R., GUERRERO L., GUÀRDIA M.D., ESCODA L., 1999. Efectos de la mejora genética en producción de carne sobre características productivas, de la canal y organolépticas en gallinas de razas catalanas. XXXV Symposium de Avicultura de la Sección Española de la WPSA. pp: 159-172.

FRANCESCH A., ANGUERA R., ESCODA L., 2000. Breed and growth genetic improvement effects on pH and cooking loss in catalan chicken meat. CD del XXI Congreso Mundial de Avicultura. Canadà.

FRANCESCH A., GUERRERO L., GUÀRDIA M.D., ANGUERA R., ESCODA L., 2001. Breed and growth genetic improvement effects on sensory evaluation of cooked chicken meat obtained from Catalan poultry breeds. Proceedings of XV European Symposium on the Quality of Poultry Meat. pp.: 53-58.

GROENEVELD E., KOVAC M., WANG T., 1990. PEST, a general purpose BLUP package for multivariate prediction and estimation. Pages 488-491 in: Proc. of 4th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Vol. 12 Edinburgh, UK.

MEYER K., 1989. Restricted maximum likelihood to estimate variance components for animal models with several random efects using a derivative-free algorithm. Genet. Sel. Evol. 21: 317-340.

NEUMAIER A., GROENEVELD E., 1998. Restricted Maximum Likelihood Estimation of Covariances in Sparse Linear Models. Genet. Sel. Evol., 30: 3-26.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 185-194

EL BIENESTAR DE LOS ANIMALES DOMÉSTICOS

J.L. Campo, M.G. Gil, S.G. Dávila

Departamento de Mejora Genética, Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria, Apartado 8111, 28080 Madrid

RESUMEN

Se presentan distintos aspectos relacionados con el bienestar de los animales domésticos, desde su utilización como criterio de selección complementario en los programas de mejora, hasta los indicadores del bienestar más utilizados, y los aspectos genéticos del bienestar. Se dedican dos apartados especiales al bienestar de las gallinas y al de los cerdos, y se termina con los principales estudios relacionados con el bienestar efectuados con las razas de gallinas españolas conservadas por el INIA.

Palabras clave: Bienestar, Comportamiento, Estrés, Gallinas, Cerdos.

SUMMARY
FARM ANIMAL WELFARE

This paper deals with fundamental aspects of animal behaviour and summarises the use of welfare traits as selection criterion in breeding programs, the most accepted welfare indicators, and the genetics of welfare. It includes two sections concerning the welfare of poultry and pigs, and several results obtained in different Spanish breeds of chickens.

Key words: Welfare, Behaviour, Stress, Poultry, Pigs.

El bienestar animal como criterio de selección adicional en los sistemas de producción

El tiempo en el que la selección se basaba sólo en los caracteres productivos ya ha pasado, y hay que seleccionar además para otros criterios adicionales como calidad, diversidad, y bienestar. Los animales seleccionados para alta eficiencia productiva tienen problemas fisiológicos, inmunológicos y de comportamiento que reducen su bienestar, y por otra parte, la aplicación de las técnicas modernas de reproducción y manipulación del ADN puede resultar en mayores problemas todavía. La discusión sobre bienestar animal se ha centrado en problemas relacionados con el alojamiento, el manejo, la ingeniería genética y las técnicas de reproducción, aunque se ha dado menos atención a los efectos colaterales de la selección para eficiencia productiva. La emergencia del interés social por el bienestar animal ha sorprendido más a los que menos deberían sorprenderse (granjeros), aunque el mejorador ha aprendido que es más fácil cambiar la biología del animal que

las preferencias del consumidor. Éstas, junto con los requerimientos legales y las restricciones biológicas, son los factores claves que determinan los objetivos de mejora.

Los defensores del bienestar animal argumentan que es posible económicamente alterar el sistema de producción a favor del bienestar, mientras que los productores argumentan que el bienestar es mejor que en el pasado. Las actitudes varían entre individuos y países, desde los que creen que los animales pueden ser tratados de cualquier forma hasta los que lastimarían antes a una persona que a un animal. Algunos tienen la opinión de que las únicas condiciones adecuadas son las que existen en la naturaleza y, según esto, lo extensivo sería bueno y lo intensivo sería malo. Sin embargo, la naturaleza y lo extensivo pueden tener problemas de bienestar debido a predadores, condiciones físicas extremas y enfermedades, aunque parece claro que lo intensivo produce bienestar pobre y que cuando las prácticas de producción intensiva aumentan las enfermedades crónicas también lo hacen. En general, el bienestar mejorado conduce a una producción también mejorada. La mayor aceptación de un sistema de producción debería esperarse cuando se beneficiase a la sociedad (alta calidad alimenticia e impacto ecológico sostenible), a los granjeros (beneficio adecuado a su trabajo), y a los animales (buena calidad de vida).

Si un animal no puede satisfacer una necesidad determinada tendrá poco bienestar. Las necesidades de un animal son de tres categorías (HURNIK y LEHMAN, 1988): 1) necesidades que si no son satisfechas producen la muerte rápida; 2) necesidades que si no son satisfechas producen enfermedades, deterioro progresivo y finalmente la muerte; 3) necesidades de confort que si no son satisfechas producen estereotipos y otras aberraciones del comportamiento. El fallo permanente en satisfacer las necesidades de confort puede tener peores consecuencias que el fallo temporal en satisfacer las necesidades de salud.

Para evitar problemas de bienestar, los animales tienen que estar libres de estrés. Sin embargo, demasiado o poco estrés es indeseable y un cierto nivel de estrés ("óptimo") puede ser ventajoso para mantener las funciones biológicas normales. El sistema simpático-médula adrenal y el sistema hipotálamo-hipófisis-corteza adrenal alteran las funciones biológicas para movilizar las reservas de energía a costa del sistema inmunológico y del crecimiento. Tal alteración es apropiada cuando la respuesta de comportamiento al estrés permite al animal evitar al agente estresante. Sin embargo, en la producción intensiva los animales no pueden escapar y la respuesta puede continuar y producir ajustes importantes del sistema nervioso autónomo y del neuroendocrino, colocando al animal a riesgo de enfermedades, fallos de reproducción, crecimiento reducido o comportamiento aberrante.

Indicadores del bienestar animal

Los estímulos externos o internos son canalizados por el sistema nervioso hasta el hipotálamo. Una vez que el estresante ha sido percibido, se ponen en marcha dos mecanismos (SIEGEL, 1980): 1) el sistema simpático-médula adrenal responsable de la huída o lucha (fase de emergencia), que puede tener un impacto fisiológico intenso pero es de corta duración; 2) el sistema hipotálamo-hipófisis-corteza adrenal, asociado con la fase adaptativa del síndrome de adaptación general, que interviene cuando

el sistema biológico falla en hacer frente al estresante y se suprime la actividad relacionada con el comportamiento. Así pues, cuando se requiere una respuesta al estrés a corto plazo intervienen el sistema nervioso simpático y la médula adrenal, mientras que a largo plazo intervienen la hipófisis y la corteza adrenal.

La suposición de que el estrés se refiere a un simple fenómeno fisiológico (nivel de corticosterona por ejemplo) es indeseable, y un solo carácter fisiológico o de comportamiento no puede contestar las cuestiones relativas a la calidad de vida de varios sistemas de producción alternativos, especialmente cuando hay estresantes permanentes y sutiles. Para medir el bienestar es preferible usar distintos criterios simultáneamente, tanto fisiológicos e inmunológicos, como aquéllos relacionados con la salud, la reproducción, la productividad y el comportamiento (miedo, dolor, frustración). Sin embargo, una dificultad obvia es que la respuesta dependerá del peso dado a cada componente, y otra es que cada componente puede producir diferentes respuestas. Dado que el comportamiento tiene un papel particularmente importante que desempeñar en el bienestar, muchos investigadores usan el comportamiento como el principal o el único indicador del bienestar. Por el contrario, el uso de la reducción en aptitud biológica (mortalidad, retraso reproductivo, reducción en número de hijos, etc.) como criterio de estrés es complicado.

Los animales pueden ser estresados físicamente (temperatura, hambre, sed, daño, ruido, etc.) o psicológicamente (sujeción, manejo, novedad). Los indicadores de problemas de bienestar a corto plazo incluyen el ritmo cardíaco, el ritmo respiratorio, la alteración de la función adrenal, y la de la química cerebral. El estrés aumenta los niveles de colesterol, y produce heterofilia y linfopenia. Otro indicador fisiológico es la calidad de la carne después del sacrificio (pálida-suave-exudativa debida a glicolisis, ácido láctico y descenso de pH), y la calidad externa (cáscara rosa) o interna (manchas de sangre) del huevo. La asimetría fluctuante de caracteres morfológicos bilaterales también está relacionada con el estrés. Dos indicadores relacionados con el comportamiento son el pasotismo ante el mundo que rodea al animal, y los estereotipos (secuencia de movimientos repetidos sin ningún objetivo). Cuando hay estrés a largo plazo, ocurren inicialmente las mismas respuestas que en el estrés a corto plazo, aunque algunas cesan posteriormente y pueden ser reemplazadas por otras. La respuesta de la médula adrenal es muy breve mientras que la de la corteza adrenal, aunque más prolongada, disminuye al cabo de poco tiempo. Finalmente, los animales pueden escapar del estrés prolongado por autonarcotización con opiáceos naturales (endorfinas).

Los indicadores de estrés más aceptados son (SIEGEL, 1995) el nivel de corticosterona y el cociente entre heterófilos y linfocitos (en aves), o entre neutrófilos y linfocitos (en mamíferos). Los heterófilos son las ventanas que muestran el estado de salud del animal, y responden a problemas relacionados con el estrés; la diferencia con los neutrófilos de los mamíferos es que no tienen mieloperoxidasa. Las condiciones que producen niveles altos de corticosterona prolongados o frecuentes producen linfopenia. Es esencial distinguir entre estrés agudo y estrés crónico; en el primer caso suele usarse el nivel de corticosterona; en el segundo caso es preferible el cociente entre heterófilos y linfocitos (GROSS y SIEGEL, 1983), aunque su valor es limitado para estrés agudo ya que aparece heteropenia. Existen tres valores característicos del cociente entre heterófilos y linfocitos

(GROSS y SIEGEL, 1993): 0,2 para estrés bajo, 0,5 para estrés "óptimo" y 0,8 para estrés alto.

El miedo es el principal estresante psicológico y depende de factores genéticos y de experiencias previas. La duración de la inmovilidad muscular inducida en aves es un buen indicador del bienestar psicológico asociado con el miedo (GALLUP, 1979), lo mismo que la prueba del laberinto en T (MARIN *et al.*, 1997), la prueba del campo abierto (FAURE, 1975), la prueba de emergencia (MURPHY y WOOD-GUSH, 1978), y la respuesta a objetos desconocidos (JONES, 1987). La inmovilidad muscular es una respuesta normal de las aves contra los predadores (muerte fingida) y cuando ocurre en mamíferos (FRASER, 1960), como un problema de comportamiento, se caracteriza por un bajo nivel de reacción a un estímulo tal que normalmente haría al animal cambiar de postura. No está claro si la inmovilidad muscular mostrada por otros animales domésticos es homóloga a la de las gallinas, aunque las circunstancias implicadas (transporte, movimiento forzado de grupos, manejo de animales atados, dolor, persecución en sitios cerrados) son las mismas. Las características principales de esta inmovilidad muscular son estrés, ausencia de patologías físicas, movimientos de cabeza, ojos, orejas y patas, y sensibilidad a la electricidad.

Las dos estrategias para medir el bienestar animal son (BROOM, 1988): 1) medir el bienestar bajo usando varios indicadores; 2) reconocer el bienestar alto por libre elección del animal. En el primer caso, puede ser útil usar una sola medida para indicar que el bienestar es pobre; el problema aparece cuando el indicador no muestra que el bienestar es pobre, porque esto no significa necesariamente que no haya problemas de bienestar. En el segundo caso, la principal técnica es observar la preferencia del animal y cuantificar lo que está dispuesto a trabajar para conseguirla. El experimento más simple para medir el bienestar alto envuelve sólo dos posibilidades de elección, y tiene dos aspectos negativos principales: el animal puede elegir lo que no es bueno para él (comer en exceso por ejemplo), y la acción requerida para hacer la elección puede ser sencilla y no indicar la importancia de ésta. En cualquier caso, la elección (lo que gusta o disgusta al animal) es la clave para entender su salud psicológica.

Hay tres aspectos principales relacionados con los indicadores del bienestar psicológico: 1) ¿hay indicadores generales del bienestar? Esto es poco probable, aunque existen indicadores generales del bienestar cuya eficacia hay que demostrar y no suponer; 2) ¿son distintos los indicadores del bienestar alto y los del bienestar bajo? Si el nivel elevado de corticosterona, ritmo cardíaco o ritmo respiratorio, es más frecuente en situaciones indeseables, también ocurre en situaciones deseables como el sexo o la posibilidad de comida. El cambio en los indicadores anteriores es más bien una preparación a corto plazo para la acción, sea ésta agradable o desagradable, y aún tomando muchas medidas fisiológicas diferentes no distinguiremos ambas acciones; 3) ¿cualquier cambio en el indicador significa un cambio en el bienestar? No se debería concluir que cualquier cambio es indicativo de bienestar bajo, ya que muchos indicadores del bienestar sólo difieren de la respuesta natural en detalles de forma, frecuencia o duración; por ejemplo, el incremento de corticosterona como respuesta a un predador es algo natural, pero el incremento permanente no es natural e indica problemas de bienestar.

Genética del bienestar animal

La domesticación ha cambiado mucho a los animales pero ha cambiado poco su comportamiento. Este proceso, que suponía medio y nutrición nuevos, confinamiento, y contacto estrecho con el hombre, fue estresante y resultó en selección para tolerancia al estrés. Esta selección desestabilizante para resistencia al estrés (BELYAEV, 1979) resultó a su vez en respuestas correlacionadas en anatomía, fisiología y comportamiento. Los animales sujetos a domesticación evolucionan siempre en la misma dirección debido a la selección para comportamiento, que tiene dos consecuencias principales: cambios en el sistema responsable del estrés, y cambios en el sistema responsable de la agresividad. La selección para comportamiento induce novedades morfológicas, y produce una desestabilización temporal en el desarrollo (asimetría fluctuante). Los animales salvajes seleccionados para temperamento tranquilo pierden su reproducción estacional, tienen pelaje blanco y negro, y actúan como los domésticos. Aunque la genética del comportamiento ha tenido un papel importante durante la domesticación, no ocurre así en los programas de mejora modernos. El único ejemplo es la selección contra el cloqueo en gallinas ponedoras, como un subproducto de la selección para la puesta de huevos; en la actualidad, muchas estirpes ya no muestran síntomas de cloquear.

Es muy probable que en el futuro se intensifique la selección genética para modificar el comportamiento, ya que una solución para reducir el daño de comportamientos anómalos en los animales domésticos es utilizar poblaciones sin esos comportamientos. Los caracteres esenciales en estado salvaje (como el cloqueo) pueden no serlo en cautividad, y la mayoría podrían ser eliminados por selección, de forma que los animales no estuviesen frustrados por la ausencia de su expresión.

El estudio de la genética del bienestar atrae poco a los investigadores por tres razones: 1) la heredabilidad de los indicadores utilizados es baja (esto no es correcto); 2) los indicadores son difíciles de medir (esto es verdadero); 3) los indicadores no tienen distribución normal (se utilizan cambios de variable o métodos no paramétricos). Los estudios genéticos relacionados con la selección de indicadores del bienestar han sido de varios tipos: definición del parámetro de bienestar, estimación de su heredabilidad, búsqueda de algún marcador genético asociado, estimación de correlaciones genéticas y búsqueda de antagonismos entre producción y bienestar, y selección para el indicador de bienestar o por medio de un índice con valoración positiva para la producción y negativa para el miedo (MUIR y CRAIG, 1998). La selección para poco miedo produce animales más fáciles de capturar y puede beneficiar tanto al bienestar como a la producción.

La heredabilidad es generalmente de magnitud moderada (0,25-0,50): inmovilidad muscular en gallinas (CRAIG y MUIR, 1989), inmovilidad muscular en codornices (GERKEN y PETERSEN, 1992), inmovilidad muscular en cerdos (HEMSWORTH *et al.*, 1990), y comportamiento de la cerda que supone un peligro para sus lechones (MCGLONE *et al.*, 1991). Diferentes genotipos pueden responder de forma distinta al estrés, y la interacción genotipo-medio es importante en la tolerancia al estrés. Los genes mayores que afectan al comportamiento y al bienestar son raros, y el único ejemplo conocido es el alelo recesivo en el locus del halotano en porcino.

Hay un número significativo (13) de marcadores genéticos afectando a la asime-

tría fluctuante, pero no a la asimetría direccional, para seis medidas del esqueleto en ratones (LEAMY *et al.*, 1998), y un número significativo (16) de marcadores genéticos afectando a la asimetría direccional, pero no a la asimetría fluctuante, para diez medidas de la mandíbula.

Existe asociación negativa entre la inmovilidad muscular y el crecimiento, y entre los indicadores de bienestar y la calidad. Los pavos seleccionados para peso alto tienen más miedo (NÉSTOR *et al.*, 1996), indicado por el menor número de inducciones necesarias para conseguir una inmovilidad muscular más duradera.

La selección ha tenido éxito en muy pocas generaciones en gallinas para la duración de la inmovilidad muscular (GALLUP, 1974), el estrés social (GROSS *et al.*, 1984), el comportamiento anterior a la puesta (MILLS *et al.*, 1985), y el canibalismo (CRAIG y MUIR, 1993), en pavos para nivel de adrenalina en respuesta al frío (BROWN y NESTOR, 1974), y en codornices para nivel de corticosterona en respuesta a la inmovilización (SATTERLEE y JOHNSON, 1988). En codornices, la selección divergente para duración de la inmovilidad muscular o para nivel de corticosterona, en respuesta a la sujección mecánica, redujo el miedo a nuevos lugares, cosas, o personas (JONES *et al.*, 1999); las líneas con duración de la inmovilidad muscular corta y nivel de corticosterona bajo tenían menor reducción en calidad de producto y peso corporal inducidos por el estrés, respectivamente. La rapidez de la divergencia sugería la existencia de un gen mayor.

El bienestar de las gallinas

Las gallinas ponedoras se mantuvieron en sistemas de producción al aire libre hasta 1950. Luego hubo un cambio al sistema de producción sobre yacija durante 10-15 años, seguido de un cambio al sistema de jaulas, y de una pequeña vuelta desde éste último a los dos anteriores en años recientes. El canibalismo es más frecuente en los sistemas intensivos y en los híbridos ligeros. Los animales al aire libre tienen una incidencia de enfermedades parasitarias (coccidiosis y helmintiasis) diez veces mayor, una incidencia alta de predadores, y están sometidos a condiciones climatológicas extremas. Su bienestar desde estos puntos de vista puede ser escaso, pero estos problemas pueden resolverse con un alojamiento bien diseñado.

El sistema de producción sobre yacija es el usual para reproductoras y es aceptable para la producción comercial de huevos, excepto por el coste adicional que supone la recogida de huevos puestos en el suelo. Las gallinas tienen libertad de movimientos (aunque hay limitaciones sociales), casi todas las actividades relacionadas con el comportamiento son posibles, y el picaje es raro. Los problemas de bienestar se originan por el aumento de enfermedades víricas y bacterianas, y por el canibalismo, aunque la incidencia de este último es menor en aviarios. En los gallineros de reproductoras, las gallinas dominantes en la escala social se aparean menos frecuentemente que las subordinadas, mientras que los gallos dominantes lo hacen con más frecuencia que los subordinados. Hay que tener en cuenta que los lotes de más de 80 aves se separan en dos o más órdenes de picaje.

Las jaulas permiten la separación total de los animales y las heces, y ésta es su mayor ventaja. Muchos de los problemas de una gallina enjaulada son las actividades relacionadas con el comportamiento que no puede hacer: moverse, aletear, aselarse, construir un nido para la puesta, escarbar,

bañarse en arena, y picotear. Las consecuencias principales son la frustración, el picaje, y las anomalías del crecimiento (principalmente osteoporosis, huesos rotos, y problemas de patas). Las jaulas producen síntomas de frustración extrema en el período anterior a la puesta, y los estereotipos son muy difíciles de eliminar en este período. Las jaulas modificadas, con aseladeros, nidal y baño de arena, deberían resultar en un mejor bienestar de las ponedoras.

Actualmente, se necesita investigación sobre sistemas alternativos para gallinas ponedoras, identificación de poblaciones que no requieran corte de pico, y métodos menos estresantes de inducción de muda. Para alojamientos alternativos, el emplume bien desarrollado y el comportamiento dócil son caracteres prioritarios para la selección; la calidad del emplume de hermanos y medio-hermanos alojados en la misma jaula se usan para estimar el valor genético aditivo de un animal (PREISINGER, 2001). También hay que tener en cuenta que con bajos niveles de iluminación se pueden reducir los problemas de canibalismo, picaje, histeria y comportamiento agonístico.

El bienestar del pollo de carne, producido sobre yacija, está menos estudiado que el de la gallina ponedora. La densidad alta de animales es el mayor problema de bienestar, y el efecto del fotoperíodo ha sido estudiado ampliamente para reducir sus repercusiones negativas. El número de lesiones por picaje es menor en celdas enriquecidas con paja añadida a la yacija, cadenas cromadas y barras coloreadas como objetivos alternativos de picaje. Se necesita una estirpe nueva que pueda producirse extensivamente, y la mejor estrategia para hacer una población de pollo campero, con la producción equilibrada con el bienestar, es seleccionar para ausencia de canibalismo. En este sentido, las líneas seleccionadas para duración más corta de la inmovilidad muscular tienen menor incidencia de canibalismo.

El bienestar de los cerdos

En cerdos sometidos a estrés, los aumentos del cociente entre neutrófilos y linfocitos (WIDOWSKI *et al.*, 1989) reflejan aumentos a corto plazo en el nivel de corticosterona, apareciendo neutrofilia y linfopenia. La inmovilización de lechones es un estresante agudo, y en los estudios de inmovilidad muscular (KANITZ *et al.*, 1999) se tienen dos minutos boca arriba, sujetos por las patas, y se mide la frecuencia de los intentos de escape y de las vocalizaciones. Las enfermedades relacionadas con el estrés incluyen úlceras gástricas y el síndrome de la muerte súbita.

Los cerdos prefieren un extensivo y variado ambiente al aire libre. Pasan mucho tiempo hozando, y el uso de arena en ambientes cerrados aumenta el bienestar, mientras que la preferencia por la paja en vez de la viruta no está tan clara.

Un problema importante de bienestar es el aplastamiento de los lechones por la cerda, ya que la selección genética ha producido una cerda muy grande pero mucho menos cambio en el tamaño de los lechones. Antes del parto la cerda tendrá tendencia a construir un nido, y la incapacidad de hacerlo cuando el ambiente es inadecuado le producirá frustración. La mordedura del rabo entre animales crea muchos problemas a la industria porcina, y es más corriente en la raza Landrace (GADD, 1967).

El destete (comercialmente a las 3-4 semanas en vez de a las 10 semanas o más) es traumático para los lechones, y produce

cambios fisiológicos y comportamientos anómalos como succionamientos a su propio cuerpo, al de otros, o a objetos inanimados, peleas etc. El cociente entre neutrófilos y linfocitos se incrementa significativamente un día después del destete (PUPPE *et al.*, 1997).

La mortalidad durante el transporte es mayor en la raza Pietrain, y la raza Landrace es más vulnerable que la raza Large White (SYBESMA *et al.*, 1978). La aparición de mayor número de cerdos con anomalías del comportamiento en los mataderos está relacionada con la selección para carne magra (GRANDIN, 1997).

Estudios de bienestar en las gallinas del programa de conservación del INIA

El ayuno disminuyó significativamente la duración de la inmovilidad muscular en seis razas diferentes (CAMPO y ÁLVAREZ, 1991); aunque la interacción tratamiento-raza era significativa, la inmovilidad muscular era siempre menor en el grupo tratado que en el control; había efectos heteróticos negativos en el cruce Castellana Negra x Prat Leonada, y menor duración de la inmovilidad muscular en las razas ligeras en comparación con las semipesadas. La adición de óxido de zinc al pienso, para inducir la muda del plumaje, disminuía significativamente la inmovilidad muscular (CAMPO y ALVAREZ, 1992).

La adición de corticosterona al pienso aumentó significativamente la duración de la inmovilidad muscular, combinada con el número de intentos necesarios para inducirla, en ocho razas diferentes (CAMPO y CARNICER, 1994); la temperatura alta disminuía significativamente la inmovilidad muscular, mientras que la temperatura baja mostraba interacción significativa con la raza, y disminuía significativamente la inmovilidad muscular en una de ellas; las gallinas capturadas en el nidal tenían menor duración de la inmovilidad muscular que las gallinas del control. La adición de colesterol al pienso tenía interacción significativa con la raza (CAMPO y CARNICER, 1995), incrementando significativamente la inmovilidad muscular en una de ellas y disminuyéndola significativamente en otra.

La adición de tocoferol al pienso (CAMPO y DÁVILA, 2002a) reducía significativamente el cociente de leucocitos en gallinas estresadas por el calor, lo mismo que sucedía con la adición de niacina, mostrando las gallinas tratadas linfofilia significativa en ambos casos; la adición de ácido láctico aumentaba significativamente el valor del cociente, mostrando heterofilia significativa.

La duración de la inmovilidad muscular fue significativamente más corta en las gallinas que ponían los huevos de cáscara rosa (CAMPO y REDONDO, 1996) en comparación con las que los ponían de cáscara marrón normal. El cociente entre heterófilos y linfocitos era significativamente más alto en el primer grupo, presentando las gallinas heterofilia y linfopenia significativas. Las gallinas que ponían huevos de cáscara marrón con manchas oscuras no diferían en su inmovilidad muscular o en su cociente de leucocitos de las gallinas control (CAMPO y REDONDO, 1995). La correlación entre inmovilidad muscular y cociente de leucocitos era negativa y significativa (CAMPO y REDONDO, 1997).

La duración de la inmovilidad muscular era más corta en gallinas que ponían huevos con manchas internas (CAMPO y GIL, 1998) en comparación con las gallinas control; el cociente entre heterófilos y linfocitos era

significativamente más alto en el primer grupo, mostrando las gallinas heterofilia significativa. La incidencia de manchas internas era mayor en los huevos de cáscara rosa.

La madurez sexual producía diferencias significativas tanto en hembras como en machos (CAMPO *et al.*, 1999); las pollitas maduras tenían menor duración de la inmovilidad muscular que las inmaduras, mientras que los pollitos maduros tenían mayor duración que los inmaduros; el cociente de leucocitos era significativamente mayor en las pollitas maduras que en las inmaduras.

La duración de la inmovilidad muscular tenía correlación positiva y significativa con la asimetría fluctuante media para tres caracteres morfológicos en las hembras de una raza (CAMPO *et al.*, 2000). La asimetría fluctuante media para tres caracteres sexuales secundarios en los machos no tenía correlación significativa con la inmovilidad muscular o el cociente de leucocitos (CAMPO *et al.*, 2002).

El cociente entre heterófilos y linfocitos era significativamente menor en las gallinas capturadas durante un baño de arena (CAMPO y MUÑOZ, 2001) en comparación con las del control, teniendo las gallinas del primer grupo heteropenia significativa; la duración de la inmovilidad muscular era similar en ambos grupos.

Las gallinas mal emplumadas (CAMPO *et al.*, 2001) tenían duración de la inmovilidad muscular más corta y cociente de leucocitos más alto que las gallinas bien emplumadas.

El manejo de las gallinas en posición invertida (por las patas) acortaba significativamente la duración de la inmovilidad muscular (CAMPO, 2001) en comparación con el manejo de las gallinas por las alas.

Las gallinas alojadas con una proporción de sexos 1:1 (CAMPO y DÁVILA, 2002b) tenían un cociente de leucocitos significativamente más alto que las gallinas alojadas con una proporción 1:11, y un tamaño de grupo de 12 aves o 60 aves; la proporción 1:3 y la 1:5 no diferían significativamente de la 1:1; el efecto del tamaño de grupo era significativo con la proporción 1:1 pero no con la 1:11; los gallos alojados con una proporción 1:1 y un tamaño de grupo de 60 aves mostraban inmovilidad muscular significativamente más corta que los alojados con una proporción 1:11.

El efecto del fotoperíodo (23:1 o 14:1) no tenía efectos significativos sobre el cociente entre heterófilos y linfocitos (CAMPO y DÁVILA, 2002c), aunque las gallinas alojadas con 23 horas de luz mostraban inmovilidad muscular más larga que las alojadas con 14 horas de luz.

La heredabilidad realizada en un experimento de selección para disminuir la duración de la inmovilidad muscular era 0,32 (CAMPO y CARNICER, 1993); había efectos heteróticos negativos en los cruces Leghorn x Castellana y Prat Leonada x Prat Blanca. La heredabilidad del cociente de leucocitos estimada por REML (CAMPO y DÁVILA, 2002d) fue 0,59; el cruce Castellana Codorniz x Leghorn Blanca mostraba efectos heteróticos negativos significativos.

Bibliografía

BELYAEV D.K., 1979. J. Hered. 70, 301-308.

BROOM D.M., 1988. Appl. Anim. Behav. Sci., 20, 5-19.

BROWN K.I., NESTOR K.E., 1974. Poult. Sci. 53, 1297-1306.

CAMPO J.L., 2001. 6th Poult. Welfare Europ. Symp. 1, 228-231.

CAMPO J.L., ÁLVAREZ C., 1991. Europ. Poult. Sci. 55, 19-22.

CAMPO J.L., ÁLVAREZ C., 1992. XIX World's Poult. Congr. 2, 417.

CAMPO J.L., CARNICER C., 1993. Poult. Sci. 72, 2193-2199.

CAMPO J.L., CARNICER C., 1994. Europ. Poult. Sci. 58, 75-78.

CAMPO J.L., CARNICER C., 1995. 46th EAAP Meeting 1, 63.

CAMPO J.L., DÁVILA S.G., 2002a. Europ. Poult. Sci. 66, 80-84.

CAMPO J.L., DÁVILA S.G., 2002b. Poult. Sci. 81, 1-5.

CAMPO J.L., DÁVILA S.G., 2002c. Poult. Sci. 81.

CAMPO J.L., DÁVILA S.G., 2002d. Poult. Sci. 81.

CAMPO J.L., GIL M.G., 1998. Poult. Sci. 77, 1743-174.

CAMPO J.L., MUÑOZ I., 2001. Europ. Poult. Sci. 65, 88-91.

CAMPO J.L., REDONDO A., 1995. Europ. Poult. Sci. 61, 267-269.

CAMPO J.L., REDONDO A., 1996. Poult. Sci. 75, 155-159.

CAMPO J.L., REDONDO A., 1997. 5th Poult. Welfare Europ. Symp. 1, 163-164.

CAMPO J.L., GIL M.G., ALONSO M., MUÑOZ I., 1999. Europ. Poult. Sci. 63, 1-5.

CAMPO J.L., GIL M.G., MUÑOZ I., ALONSO M., 2000. Poult. Sci. 79, 453-459.

CAMPO J.L., GIL M.G., TORRES O., DÁVILA S.G., 2001. Poult. Sci. 80, 549-552.

CAMPO J.L., GIL M.G., TORRES O., DÁVILA S.G., 2002. Europ. Poult. Sci. 66, 85-89.

CRAIG J.V., MUIR W.M., 1989. Poult. Sci. 68, 1040-1046.

CRAIG J.V., MUIR W.M., 1993. Poult. Sci. 72, 411-420.

FAURE J.M., 1975. Ann. Genet. Sel Anim. 7, 197-204.

FRASER A.F., 1960. Canad. J. Comp. Med. 24, 330-332.

GADD J., 1967. Pig Farm. 15, 57-58.

GALLUP G.G., 1974. Anim. Learn Behav. 2, 145-147.

GALLUP G.G., 1979. Anim. Behav. 27, 316-317.

GERKEN M., PETERSEN J., 1992. Poult. Sci. 71, 779-788.

GRANDIN T., 1997. J. Anim. Sci. 75, 249-257.

GROSS W.B., SIEGEL H.S., 1983. Avian Dis. 27, 972-979.

GROSS W.B., SIEGEL P.B., 1993. Livestock, Handling and Transport. CAB, 21-34.

GROSS W.B., DUNNINGTON E.A., SIEGEL P.B., 1984. Europ. Poult Sci. 48, 3-7.

HEMSWORTH P.H., BARNETT J.L., TREACY D., MADGWICK P., 1990. Appl. Anim. Behav. Sci. 25, 85-95.

HURNIK J.F., LEHMAN H., 1988. J. Agric. Ethics 1, 305-318.

JONES R.B., 1987. Br. Poult. Sci. 28, 319-326.

JONES R.B., SATTERLEE D.G., FAURE J.M., MILLS A.D., 1999. Poult. Sci. 78, 27.

KANITZ E., OTTEN W., NUMBERG G., BRUSSOW K.P., 1999. Anim. Sci. 68, 519-526.

LEAMY L.J., ROUTMAN E.J., CHEVERUD J.M., 1998. Heredity 80, 509-518.

MARIN R.H., ARCE A., MARTIJENA I.D., 1997. Appl. Anim. Behav. Sci. 54, 197-205.

MCGLONE J.J., AKINS C.K., GREEN R.D., 1991. Appl. Anim. Behav. Sci. 30, 319-322.

MILLS A.D., WOOD-GUSH D.G.M., HUGHES B.O., 1985. Br. Poult. Sci. 26, 187-197.

MUIR W.M., CRAIG J.V., 1998. Poult. Sci. 77, 1781-1788.

MURPHY L.B., WOOD-GUSH D.G.M., 1978. Biol. Behav. 3, 39-61.

NESTOR K.E., NOBLE D.O., ZHU J., MORITSU Y., 1996. Poult Sci. 75, 1180-1191.

PREISINGER R., 2001. 6th Poult. Welfare Europ. Symp. 1, 44-46.

PUPPE B., TUCHSCHERER M., TUCHSCHERER A., 1997. Liv. Prod. Sci. 48, 157-164.

SATTERLEE D.G., JOHNSON W.A., 1988. Poult. Sci. 67, 25-32.

SIEGEL H.S., 1980. Bioscience 30, 529-534.

SIEGEL P.B., 1995. Br. Poult. Sci. 36, 3-22.

SYBESMA W., WESTERINK N.G., CORTIAESEN G.P., VAN LOGESTIJN J.G., 1978. Europ. Fleisch. Congress 24, 1-7.

WIDOWSKI T.M., CURTIS S.E., GRAVES C.N., 1989. Can. J. Anim. Sci. 69, 501-504.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 195-215

MEJORA GENÉTICA DEL COMPORTAMIENTO Y DEL BIENESTAR DEL GANADO RUMIANTE

Jesús Piedrafita*, Xavier Manteca**

* Departament de Ciència Animal i dels Aliments, UAB

** Departament de Biologia Cel·lular, Fisiologia i Immunologia, UAB, 08193 Bellaterra, Barcelona, España

RESUMEN

En las sociedades avanzadas y ricas, la preocupación de los consumidores por el bienestar de nuestros animales de granja es cada vez mayor. En el presente artículo se revisan las posibilidades de mejora del bienestar animal por métodos genéticos. Se comienza definiendo el bienestar animal y cuáles son los factores que lo determinan, relacionando el bienestar con el temperamento y la capacidad para sobreponerse al estrés. La descripción de los aspectos psicobiológicos de estos fenómenos da paso al análisis de los aspectos genéticos de los mismos y a las dificultades metodológicas para medirlos. Los conocimientos relativos al comportamiento y a la capacidad de adaptación se ejemplifican en tres tipos de ganado: vacuno lechero, vacuno de carne y ovinos criados en condiciones extensivas. Se ponen de manifiesto las diferencias entre razas y entre los individuos de la misma raza, las consecuencias sobre el bienestar de una aplicación intensa de la selección artificial y las distintas estrategias de las poblaciones para adaptarse al ambiente; sobre esta base se discuten las posibles alternativas de mejora. Finalmente se postula la necesidad de seguir investigando los aspectos genéticos del estrés y del bienestar, así como de sus relaciones con caracteres de producción, a pesar de las dificultades que dichas investigaciones entrañan.

Palabras clave: Comportamiento, Bienestar, Rumiantes, Selección, Mejora genética.

SUMMARY

GENETIC IMPROVEMENT OF BEHAVIOUR AND WELFARE IN RUMINANT LIVESTOCK

In the richer and more advanced societies, the preoccupation of the consumers by the welfare of our farm animals is gradually increasing. In the present article the possibilities of genetic improvement of the animal welfare are reviewed. We begin defining animal welfare and which are the factors that determine it, relating welfare and temperament and the ability to cope with stress. The description of the psycho-biological aspects of these phenomena precedes the discussion of methodological difficulties in measuring them and the methodology of genetic analysis. The knowledge relative to the behaviour and the capacity of adaptation are exemplified in three types of livestock: dairy cows, beef cattle and sheep reared in extensive conditions. The differences between breeds and individuals of the same breed, the consequences on the welfare of an intense application of artificial selection, and the different strategies to cope with environmental challenges are shown; on the basis of these phenomena, possible alternatives

of improvement are discussed. Finally it is postulated the necessity to continue investigating the genetic aspects of stress and welfare, as well as their relationships with production traits, in spite of the difficulties that these investigations involve.

Key words: Behaviour, welfare, ruminants, selection, genetic improvement.

Introducción

La preocupación por el bienestar de los animales de granja ha aumentado considerablemente en los últimos años en Europa y en otros países (APPLEBY *et al.*, 1992). En el caso concreto de la Unión Europea, esta preocupación se ha traducido en la elaboración de varias directivas que establecen las normas mínimas para la protección de los animales de granja, tanto en las explotaciones ganaderas como durante el transporte y sacrificio; dichas directivas son de cumplimiento obligatorio en todos los estados miembros de la UE. Además, la exigencia por parte de los consumidores de que se garantice el bienestar de los animales se ha convertido en un condicionante importante en producción animal, especialmente en los países del norte de Europa, si bien parece que esta diferencia norte-sur es cada vez menos marcada. La preocupación por el bienestar animal aumenta conforme más rica y urbana es una sociedad; por lo tanto, todo parece indicar que los consumidores españoles estarán cada vez más sensibilizados sobre este tema y, en consecuencia, el bienestar animal se convertirá en un aspecto importante más allá de requerimientos legales.

Concepto de bienestar animal

El estudio del bienestar animal puede abordarse desde distintos puntos de vista. Algunos autores (DUNCAN, 1996) definen bienestar como ausencia de sufrimiento; aunque esta definición tiene la ventaja de ser muy intuitiva, presenta la dificultad de que el sufrimiento de un animal no puede cuantificarse de forma objetiva. Por esta razón, otros autores adoptan una perspectiva más amplia y definen el bienestar como una medida de la adaptación de los animales a su ambiente (BROOM, 1986). De acuerdo con esta definición, un animal puede encontrarse teóricamente en tres situaciones diferentes. En primer lugar, si la adaptación al ambiente es imposible, el animal morirá o enfermará; en consecuencia, la mortalidad, la incidencia de enfermedades y las lesiones causadas por el ambiente son indicadores de falta de bienestar.

En segundo lugar, la adaptación al ambiente puede ser posible pero suponiendo un coste biológico importante para el animal. Dicho coste es consecuencia normalmente de dos factores: 1) una respuesta de estrés intensa o duradera que afecte negativamente al crecimiento, reproducción o sistema inmunitario (BROOM y JOHNSON, 1993) o 2) conductas anormales tales como estereotipias o conductas redirigidas, que causan lesiones o disminuyen la condición corporal de los animales. En consecuencia, la aparición de estas conductas así como los parámetros fisiológicos y comportamentales indicativos de estrés o de sus consecuencias son también medidas objetivas de falta de bienestar.

En tercer lugar, un animal puede encontrarse en un ambiente adecuado en el que la adaptación sea no sólo posible sino también fácil, de modo que no suponga ningún coste biológico para el animal. En este caso el bienestar del animal sería satisfactorio.

De una forma tal vez más práctica, el *Farm Animal Welfare Council* del Reino Unido (FAWC updates ..., 1992) considera que un nivel adecuado de bienestar requiere cinco condiciones: 1) un buen control de las enfermedades, especialmente de aquellas que cursan con dolor, 2) una nutrición correcta, 3) confort térmico y físico (es decir, ausencia de lesiones causadas por el tipo de suelo, etc.), 4) ausencia de miedo o estrés intensos o prolongados, y 5) posibilidad de llevar a cabo las conductas por las que el animal muestra una motivación importante. Los puntos 2 y 3 estarían condicionados principalmente por factores ambientales, mientras que en el control de los restantes se concitarían los aspectos ambientales y genéticos.

La mayoría de recomendaciones para mejorar el bienestar de los animales de granja suponen cambios en el diseño de las instalaciones o en las prácticas de manejo; es decir, en cierta medida se intenta adaptar el sistema de producción a las necesidades del animal. Si bien esta aproximación tiene un valor indudable, presenta al menos tres problemas. En primer lugar, algunos de los cambios recomendados suponen un aumento considerable de los costes de producción o son difíciles de poner en práctica, como sucede en algunos sistemas de producción intensivos. En segundo lugar, hay determinados aspectos de la cadena de producción que causan problemas de bienestar y son difícilmente evitables (por ejemplo, la carga y descarga de los animales al ser transportados). En tercer lugar, las prácticas ganaderas cambian con demasiada rapidez, de forma que los procesos adaptativos no pueden evolucionar a medida que lo hacen los sistemas de cría, si bien es cierto que la mejora del ganado se ha acompañado indirectamente de la selección por adaptación al manejo intensivo (PRICE, 1984).

Por lo tanto, frente a determinados problemas, resultaría muy útil no sólo adaptar el sistema al animal, sino también poner en marcha programas de selección que dieran como resultado animales mejor adaptados (es decir, cuya adaptación supusiera un menor coste biológico) a los sistemas de producción normalmente utilizados.

En relación con estos problemas, en las páginas que siguen se revisarán los aspectos más relevantes de la relación del animal con el ambiente, tanto en lo que respecta al comportamiento, como a las relaciones que generan miedo y/o ansiedad y estrés. Posteriormente, analizaremos los aspectos genéticos de caracteres de temperamento y relacionados con el bienestar, así como las posibilidades de seleccionar estos caracteres e integrarlos en programas de mejora del ganado rumiante, haciendo referencia especial a bovinos de aptitud cárnica y ovinos criados en régimen extensivo y también al vacuno lechero.

Aspectos psicobiológicos y genéticos del comportamiento y del bienestar animal

Temperamento

Los individuos reaccionan ante distintas situaciones con un comportamiento particular, propio, es decir, según su temperamento. Éste es el resultado de la organización hormonal, nerviosa y física del individuo. A menudo el concepto de temperamento se

restringe a la expresión o modo en que los animales perciben los estímulos que originan miedo y reaccionan frente a ellos (BOISSY y BOUISSOU, 1995). Se habla entonces de reactividad emocional, carácter miedoso o "*fearfulness*" en terminología anglosajona. En nuestro ámbito, podríamos adoptar la definición de BURROW (1997), para quien temperamento es la respuesta de comportamiento de un animal al manejo producido por el hombre; sería el equivalente a la personalidad en humanos.

Las investigaciones relativas al miedo pueden ser particularmente relevantes para la evaluación del bienestar animal, ya que éste depende de la medida en que el animal es capaz de hacer frente a los desafíos ambientales (BROOM, 1988). Por otra parte, el miedo prolongado o intenso tiene efectos negativos sobre la productividad (ver la revisión de BOISSY, 1998).

El temperamento puede valorarse mediante observadores adiestrados, a través de escalas con puntuaciones predefinidas y mediante tests de comportamiento. Estos últimos han sido revisados por BURROW (1997) y PALACIO (2000). Muchos de los tests de comportamiento están destinados a evaluar el miedo, para lo cual se imitan condiciones peligrosas con las que se encuentran los animales en su ambiente natural o de producción. Con ello se pretende facilitar la comparación de la reactividad psicobiológica entre individuos de forma estandarizada (BOISSY, 1998).

Existen tests que restringen físicamente el comportamiento del animal, en los que se observan o registran vocalizaciones, la cantidad de movimiento, coces, intentos de huir, etc. Otro grupo importante de tests se realizan dejando que el animal se mueva libremente, en un área grande y en presencia del observador. Entre éstos cabe citar el test de aproximación, de distancia de huida, de velocidad de huida al salir de la manga de manejo, de docilidad, el test de campo abierto (*open field test*) y la rapidez de huida, entre otros. Cabe también la posibilidad de evaluar los movimientos de los animales en distintas instalaciones y dispositivos, aunque los resultados suelen ser difíciles de interpretar.

Una manera alternativa de evaluar el temperamento es atender a la respuesta a cambios ambientales, como el aislamiento social (los rumiantes son animales altamente sociales), el manejo, la introducción de un objeto nuevo o la competición alimentaria. El test de campo abierto sería una prueba para detectar el miedo en general, mientras que la determinación del miedo a personas podría hacerse mediante la inmovilidad tónica (aves), el coceo del ganado vacuno durante el ordeño y a través de los test de aproximación-evitación.

En diversas especies ganaderas, vacuno lechero incluido, se ha visto que el manejo intensivo podría ser útil para modificar el comportamiento de los animales. En bovinos de carne, no obstante, la experiencia demuestra que el manejo intensivo no mejora el temperamento de los animales ni a corto ni a largo plazo (BURROW, 1997). El manejo tampoco tendría en este tipo de ganado efecto sobre el nivel de susceptibilidad al estrés, el crecimiento y la calidad de la carne (experimento realizado con animales *Shorthorn* por MCINTYRE y RYAN, 1986).

Variabilidad genética

Si bien las experiencias previas de cada individuo tienen un efecto importante sobre la magnitud de la respuesta de miedo (HEMSWORTH y BARNETT, 1991), diversos

trabajos han puesto de manifiesto que los procesos de miedo y ansiedad se encuentran en parte bajo control genético, lo cual puede contribuir a la existencia de diferencias individuales (BOUCHARD *et al.*, 1990). En varias especies domésticas, el componente genético es responsable de parte de las diferencias individuales en la respuesta a los seres humanos. La heredabilidad de la reacción de defensa a los humanos ha mostrado valores consistentes en bovinos lecheros (DICKSON *et al.*, 1970), bovinos de carne (LE NEINDRE *et al.*, 1995), cerdos (HEMSWORT *et al.*, 1990) y perros (GODDARD y BEILHARZ, 1984).

Al igual que sucede en distintas poblaciones de roedores, se ha visto que hay diferencias en las reacciones relacionadas con el miedo entre dos razas ovinas, *Romanov* e *Ile de France* (ROMEYER y BOUISSOU, 1992). Pero la raza también influye en la reactividad social. Así, cerdos chinos separados de sus compañeros de piara manifiestan menos reactividad social que las razas europeas (BOISSY *et al.*, 1996), mientras que la reactividad hacia los seres humanos varía entre razas de ovinos y bovinos (ROMEYER y BOUISSOU, 1992; LE NEINDRE *et al.*, 1993).

Dado que la reactividad emocional está en cierta medida bajo control genético, se podrían iniciar programas de selección para reducir los comportamientos relacionados con el miedo y la ansiedad en los animales domésticos (LE NEINDRE *et al.*, 1996). El desarrollo de investigaciones encaminadas a evaluar patrones de reactividad psicofisiológica en los animales domésticos podría mejorar nuestro conocimiento de los factores y mecanismos que gobiernan las causas del estrés, ofreciendo nuevas estrategias para la mejora del bienestar y la eficiencia de producción. Esta estrategia, no obstante, no está exenta de problemas, como vamos a ver a continuación.

Problemas en la evaluación de la reactividad emocional

Acabamos de comentar que se han demostrado diferencias entre razas ovinas en relación con el miedo. Si analizamos los aspectos metodológicos de las experiencias que ponen de manifiesto dichas diferencias, podemos apreciar las grandes dificultades que limitan los estudios de reactividad emocional. El análisis de la reactividad de los ovinos hacia el hombre (LE NEINDRE *et al.*, 1993) se realizó sobre una muestra de 55 corderas de un año. De éstas, 19 eran de la raza *Merino de Arlés*, 20 eran *Romanov* y 16 eran el producto de un cruce de Merino por *Romanov*. Como no existe un indicador único que detecte la reacción de miedo se suele utilizar una amplia batería de tests, que implican a su vez la medición de múltiples variables que sería largo de describir en estas líneas. La necesidad de realizar un gran número de medidas obliga en general a limitar el tamaño de la muestra. Además, las variables medidas son de distinta naturaleza: discontinuas, cuasi-continuas y continuas. En el caso de estas últimas a menudo presentan distribuciones no normales y/o presentan varianzas no homogéneas. Consecuencia de todo ello es que deben llevarse a cabo análisis no paramétricos (p.e. Mann-Whitney) o análisis de la varianza complejos, a la vez que se ve limitada la potencia estadística de los experimentos. Conclusiones similares se extraen sobre la metodología del experimento de ROMEYER y BOUISSOU (1992) en el que se analizan 15 variables para cuantificar el miedo en 88 ovinos, 54 *Ile de France* y 34 de la raza *Romanov*.

Como se ha dicho en un párrafo precedente, se ha demostrado la variabilidad genética existente dentro de las poblaciones, pero los experimentos publicados son más

bien escasos. DICKSON *et al.* (1970) evaluaron el temperamento de las vacas lecheras durante el ordeño en una escala de 1 (vacas muy quietas, dóciles e "ideales" para el ordeño) a 4 (vacas inquietas en la preparación del ordeño, que a veces cocean al operario, con temblores cuando se les pone la mano encima). En el experimento se estudiaron 1017 vacas pertenecientes a 27 rebaños de Wisconsin, realizándose un análisis de la varianza en el que se anidaron los padres dentro de rebaños para estimar la heredabilidad. La estimación de la heredabilidad del temperamento estuvo en el entorno de 0,5. A la luz de los conocimientos actuales sería interesante reestimar este parámetro asumiendo un modelo umbral que tal vez se ajustase mejor al tipo de datos que analizaron.

Más reciente es el estudio de la docilidad en vacas de la raza *Limousin* realizado por LE NEINDRE *et al.* (1995). Se registraron los valores de agresividad, tiempo pasado en la esquina, número de veces en que los animales intentan escapar durante el test, tiempo que transcurre hasta que los manejan o durante el manejo, intervalo entre el comienzo del test de manejo y el momento en que son sujetos por tiempos menores de 10, 15, 20, 25, y 30 s, sujeción en la esquina más de 30 s y actitud para dejarse acariciar. Como varias de estas variables estuvieron muy lejos de distribuirse normalmente no se utilizó su suma, sino que a partir de las mismas se elaboró un valor de docilidad, tras un análisis multidimensional. Definieron además un criterio de docilidad, considerado como carácter categórico con cuatro clases. Para estimar la heredabilidad del valor de docilidad se asumió un modelo padre convencional, mientras que para el criterio de docilidad se utilizó un análisis de umbral. Las estimaciones obtenidas fueron 0,22 y 0,18 respectivamente. Este experimento pone claramente de manifiesto la complejidad biológica y estadística de los estudios comportamentales.

Resultará fácil al lector reconocer lo manifestado por FAURE (1994). Según este autor, la genética del comportamiento ha jugado un papel importante, probablemente de forma inconsciente, durante las primeras etapas de la domesticación. A pesar de ello, la genética del comportamiento raramente ha sido objeto de estudio de genetistas y mejoradores por tres razones: a) muchas personas, algunos etólogos incluidos, han percibido el comportamiento como un resultado del ambiente, b) el comportamiento es difícil de medir, y c) los caracteres de comportamiento a menudo no se distribuyen normalmente.

Estrés y sus mecanismos fisiológicos

El miedo es una respuesta emocional que se manifiesta con cambios comportamentales y a su vez presenta cambios fisiológicos que se corresponden con lo que se denomina genéricamente estrés, el cual constituye una manifestación importante de falta de bienestar. GARCÍA-BELENGUER y MORMÈDE (1993) describen que, ya en 1935, CANNON habló de "homeostasis" para referirse al estado estable de los fluidos orgánicos, a la vez que utilizó la palabra "estrés" para denominar a aquellos factores capaces de alterar la homeostasis. SELYE (1936) definiría el "Síndrome General de Adaptación" y más tarde este mismo autor concluiría que la exposición de los animales a factores ambientales nocivos (estresores) producía una reacción no específica (estrés) caracterizada por un aumento de la actividad hipófiso-adrenal y por facilitar el restablecimiento de la homeostasis (SALYE, 1956). Posteriormente MASON (1971) demostró que la activación del eje

corticotropo dependía del estado emocional con que se percibe el estímulo externo, siendo por tanto una respuesta elaborada en el sistema nervioso central.

Más recientemente, BROOM (1988) dice que el estrés es el proceso por el cual los factores del medio ambiente sobrecargan los sistemas de regulación de un individuo y perturban su estado de adaptación. Esta no es la única definición de estrés que se ha propuesto y de hecho se utiliza la palabra estrés para designar tanto al estímulo como a la respuesta de adaptación del individuo o sus efectos perjudiciales sobre la salud.

En la respuesta de estrés se ven implicados el sistema simpático-méduloadrenal, responsable de una respuesta rápida mediada por catecolaminas (adrenalina y noradrenalina), y el eje hipotálamo-hipofisario-corticoadrenal, que se encuentra bajo el control de centros nerviosos superiores. Ante una respuesta de estrés el hipotálamo libera CRF (*corticotropin releasing factor*) que estimula la producción de POMC (propiomelanocortina) de la que derivan la ACTH (hormona adrenocorticotropa), β-endorfinas y hormonas melanotropas. La ACTH estimula la producción de glucocorticoides (cortisol y corticosterona) en la glándula adrenal, ejerciendo a su vez estos glucocorticoides una acción de retrocontrol sobre la liberación de CRF y ACTH.

La respuesta de estrés es en general catabólica, ya que tiende a movilizar reservas energéticas del cuerpo para ponerlas a disposición del cerebro y de los músculos. Las catecolaminas aumentan la función cardiovascular y en conjunción con los glucocorticoides producen un incremento de la gluconeogénesis, la degradación proteica en las fibras musculares, la lipolisis y la concentración de ácidos grasos en sangre, a la vez que se produce una acción antiinflamatoria y efectos sobre el sistema inmunitario. Como consecuencia de la situación de estrés se producen cambios en las constantes fisiológicas que pueden utilizarse como criterios de diagnóstico de animales estresados. Dichos criterios se presentan en el cuadro 1. Además, para evaluar el estado sanitario y de bienestar de los animales, se están utilizando de forma creciente las concentraciones plasmáticas de las proteínas de fase aguda (APPs), tales como la haptoglobina y el amiloide sérico A (SKINNER, 2001).

La medición de estos criterios de estrés puede llevar a conclusiones erróneas si no se tiene en cuenta que el simple manejo de los animales ya puede ser suficiente para causar un aumento importante de ACTH y de los niveles de cortisol. Así, el vacunos se encontraron grandes diferencias entre animales según su habituación o no al manejo (MITCHELL *et al.*, 1988) y las experiencias tempranas de los mismos (LAY *et al.*, 1992; DANTZER *et al.*, 1983). La influencia del manejo también se ha extendido al hematocrito y otros metabolitos plasmáticos (MITCHELL *et al.*, 1988). En ovinos se ha observado que el aislamiento social les origina un incremento del ritmo cardiaco y alteraciones en el comportamiento (SYME, 1981).

Teniendo en cuenta los hechos mencionados, MANTECA y DEAG (1994) revisan y discuten distintas estrategias para reducir el aumento de la variación individual que aparece como respuesta al estrés del manejo. Los animales que sean sometidos a un experimento deberían haber sido criados en las mismas condiciones, si bien ello no eliminaría completamente las diferencias individuales de las novillas lecheras (KERR y WOODGUSH, 1987) o de las cabras (LYONS *et al.*, 1988). Se sugiere asimismo habituar a los animales al procedimiento de manejo, así como hacer éste lo menos estresante posible, eliminando cualquier novedad ambiental y

Cuadro 1. Criterios de evaluación de la respuesta al estrés en el ganado
Table 1. Criteria to evaluate the stress response in livestock

Estrés agudo
Criterios directos
Cortisol o corticosterona plasmáticos
ACTH en plasma
Catecolaminas en plasma
Criterios indirectos
Glucosa en plasma
Ácidos grasos no esterificados en plasma
Fórmula leucocitaria
Ritmo cardiaco
Presión arterial
Activación del sistema renina-angiotensina
Estrés crónico
Criterios directos
Cortisol o corticosterona en plasma[1]
Actividad enzimática en la síntesis de catecolaminas
Tirosina hidroxilasa
Feniletanolamina N-metil transferasa
Criterios indirectos
Peso relativo del timo
Peso relativo de las glándulas adrenales

[1] A veces tras estimulación con ACTH.
Fuente: GARCÍA-BELENGUER Y MORMÈDE (1993).

manteniendo la presencia de compañeros de corral si es posible. En cualquier caso, siempre es probable que quede una variabilidad individual de origen genético que hasta la fecha no ha sido evaluada.

Variabilidad genética

En la medida que reactividad emocional y estrés están relacionados, debería esperarse un componente genético en los parámetros de estrés. No obstante, a diferencia de lo reseñado en relación con la reactividad emocional, los datos que se tienen sobre aspectos genéticos de parámetros de estrés son limitados. En ratones, cuando se les exponía a estimulación eléctrica en la pata, la magnitud del incremento en la concentración de corticosterona y el tiempo requerido para retornar a la concentración basal varió entre cepas (SHANKS *et al.*, 1990). Por su parte, se ha demostrado que el nivel de actividad de las endorfinas está genéticamente determinado y que el grado de implicación de los opioides en la analgesia inducida por estrés difiere entre estirpes de ratones (MAREK *et al.*, 1988) y ratas (URCA *et al.*, 1985). En animales domésticos las referencias escasean, si bien se han descrito las alteraciones circulatorias, inmunológicas,

del músculo cardiaco y de susceptibilidad a la apomorfina que experimentan los cerdos sensibles al estrés (ver revisión de ERHARD y SCHOUTEN, 2001).

La nueva frontera

Lo que se acaba de describir se encuadra dentro de un contexto de genética cuantitativa clásica, si bien se ha argumentado que la identificación de nuevos QTLs relacionados con el miedo puede conducir a identificar genes que condicionan el comportamiento, lo cual daría oportunidades para la selección de nuestros animales y también pistas para un diseño racional de nuevos fármacos. En roedores de laboratorio se ha comenzado a cartografiar algunos QTLs, de los que vamos a reseñar dos trabajos a modo de ejemplo. GERSHENFELD y PAUL (1997) estudiaron mediante una batería de tests la tendencia natural de los ratones a explorar un ambiente nuevo y a evitar una luz brillante o el centro de un campo abierto. Encontraron diversos QTLs que explicaban individualmente entre el 2,3 y el 8,4% de la varianza fenotípica. Los autores, no obstante, reconocían la complejidad y heterogeneidad de los factores genéticos que sustentan estos comportamientos de miedo, dada la ausencia de QTLs compartidos entre paradigmas de comportamiento y al hecho de cartografiar diferentes QTLs para pruebas de comportamiento repetidas.

FERNÁNDEZ-TERUEL *et al.* (2002) han publicado recientemente el primer análisis multivariado que explora la arquitectura genética del comportamiento de roedores en relación con la ansiedad. Para ello han realizado un experimento de cartografía utilizando una F2 de ratas romanas obtenida a partir de cepas seleccionadas divergentemente según su respuesta al miedo. El análisis ha demostrado que existen un locus en el cromosoma 5 que influiría el comportamiento en diferentes modelos de ansiedad. El QTL influye mediante acción pleiotrópica la evitación activa a dos vías, el miedo condicionado, la actividad en el laberinto elevado en cruz y la actividad en campo abierto. Los autores sugieren que como la base neural del miedo se conserva entre especies, el QTL podría tener relevancia para estudiar la ansiedad en humanos.

En los animales domésticos, éste es un campo de estudio recientemente iniciciado. SCHNMUTZ *et al.* (2001) detectaron siete QTLs relacionados con la reacción de miedo de los terneros hacia el hombre. Por su parte FISHER *et al.* (2001) identificaron varios marcadores ligados con respuestas comportamentales y fisiológicas hacia el hombre por parte de terneros cruzados *Limousin – Jersey*: La distancia de huida se mostró ligada a cinco marcadores, mientras que las respuestas de cortisol plasmático y de cortisol de la orina se mostraron relacionadas con uno y dos marcadores respectivamente. Cabe sugerir, no obstante, que a la detección de regiones cromosómicas con efecto significativo sobre el miedo, cabría añadir la búsqueda de genes candidatos relacionados con el sistema nervioso simpático y el eje hipotalámico-pituitario-adrenocortical, de acción demostrada en las reacciones de miedo.

Mejora genética del temperamento y el bienestar animal

En esta sección vamos a revisar algunos de los aspectos más relevantes que se conocen sobre el temperamento y los caracteres de bienestar en relación con la producción lechera y de carne de los bovinos, así como

con la cría de ovinos en sistemas extensivos. Terminaremos el apartado haciendo una reflexión sobre las posibilidades de incluir los caracteres de comportamiento y bienestar en programas de mejora de los tipos de ganado que acabamos de mencionar.

Vacuno lechero

KOVALCIKOVÁ y KOVALCIK (1982/83) encontraron que la mejor medida de docilidad en vacas lecheras fue su disposición a comer en el campo de prueba. Asimismo observaron correlaciones fenotípicas altas y estadísticamente significativas entre la puntuación obtenida al evaluar la respuesta al alimento y la producción lechera en estabulación libre. Estudiaron las razas berrenda eslovaca, berrenda en negro y su cruce. Las correlaciones estimadas fueron 0,57, 0,41 y 0,45 respectivamente. Cuando se consideraron tres lactaciones, las correlaciones fueron superiores. La relación entre la actividad motora y la producción de leche fue siempre claramente negativa en los tres tipos. Otros comportamientos, tales como vocalizaciones, eliminaciones y ruminación no tuvieron relación con la producción lechera. Es de notar, sin embargo, que el estudio se realizó en el plano fenotípico, sin llegar a establecer las relaciones genéticas entre ambos tipos de caracteres (comportamiento y producción).

LAWSTUEN *et al.* (1988) encontraron correlaciones significativas entre temperamento y velocidad de ordeño (0,36), producción de leche corregida por la grasa y ajustada a edad madura (0,19), y puntuación morfológica (0,36). Las correlaciones genéticas fueron superiores a las fenotípicas. Las relaciones entre otras medidas de temperamento y la producción lechera halladas en otros experimentos ya no fueron tan claras. A pesar de ello, podría concluirse que existe una relación positiva entre el temperamento de las vacas y la producción lechera. A partir de este hecho, la inclusión del temperamento de los animales en un objetivo global de mejora dependería de las relaciones genéticas con la producción lechera, las cuales son poco conocidas por el momento. Estos autores observaron además una correlación genética positiva entre el temperamento y la resistencia a la mamitis y la salud general, aunque la precisión de las estimaciones fue limitada (0,46 ± 0,18 y 0,37 ± 0,22 respectivamente).

Consecuencias de la selección

En el vacuno lechero, los mayores problemas relacionados con el bienestar pueden proceder de la selección intensa que se está practicando. No cabe duda de que los métodos de selección aplicados en la mayoría de las especies domésticas han sido muy eficaces en lo que toca a mejorar múltiples aspectos productivos, pero los cambios mencionados han venido asociados a cambios genéticos deletéreos en caracteres de eficacia biológica y bienestar. Los animales seleccionados para una elevada eficiencia de producción parecen estar expuestos a un mayor riesgo de padecer problemas de comportamiento, fisiológicos e inmunológicos (RAUW *et al.*, 1998). Los efectos colaterales negativos se han estudiado con detalle en animales explotados intensivamente, como son las aves, los cerdos y el vacuno lechero. Dado que en una ponencia paralela (CAMPO *et al.*, 2002) se presentan los aspectos genéticos del comportamiento y el bienestar en cerdos y aves, en las líneas que siguen nos referiremos solamente al ganado lechero.

En su trabajo de revisión, RAUW *et al.* (1998) muestran con cifras cómo la produc-

ción de leche ha ido aumentando en las últimas décadas, en gran medida por la eficacia de la selección de animales de altos rendimientos lecheros, aunque ello ha implicado importantes cambios fisiológicos. Es conocido que al comienzo de la lactación, las vacas de elevada producción se encuentran generalmente en balance energético negativo y movilizan reservas corporales para la producción lechera (BUTLER y SMITH, 1989). La condición corporal es una medida aceptada para estimar las reservas corporales, que se ha demostrado correlacionado negativamente con la producción lechera (GALLO *et al.*, 1996). Un balance energético negativo podría estar asociado con una alta incidencia de desórdenes metabólicos y problemas de fertilidad y de salud, aunque los resultados encontrados en distintas experiencias son contradictorios.

La magnitud y la tasa de recuperación del balance energético negativo pueden estar relacionados con el reinicio de la actividad ovárica e interferir la capacidad del eje hipotálamo-hipofisario para regular la hormona luteinizante (LH) necesaria para el desarrollo folicular y la ovulación, aunque el mecanismo de estas reacciones no es bien conocido. El fallo en el inicio temprano de la actividad ovárica puede dar como resultado un menor número de ciclos ovulatorios previos a la inseminación, lo que llevaría a una menor tasa de concepción y fertilidad (BUTLER y SMITH, 1989; SENATORE *et al.*, 1996).

En una revisión sobre interacciones entre producción lechera y reproducción, NEBEL y MCGILLIARD (1993) han señalado que hasta el año 1970 los datos mostraban una ausencia o bien una escasa asociación entre ambos caracteres, mientras que frecuentemente se han descrito relaciones fenotípicas antagonistas a partir de 1975. Los pocos experimentos de selección realizados muestran que en general las vacas de mayor producción se cubrieron más tarde, mostraron un mayor número de días abiertos, una menor tasa de no retorno a los 56 días y requirieron mayor número de servicios por concepción que las vacas de menor producción (RAUW *et al.*, 1998).

El sistema de registro de incidencias veterinarias de los países nórdicos proporciona datos muy valiosos para investigar el trasfondo epidemiológico y genético de varias patologías. Aunque los resultados están sometidos a controversia en algunos casos, sugieren que el incremento genético de la producción de leche conduce en general a que las vacas presenten un mayor riesgo de mamitis, cetosis y problemas de aplomos, a la vez que presentan una menor incidencia de quistes ováricos y desplazamientos de abomaso. RAUW *et al.* (1996) argumentan que la aparición de datos contradictorios puede deberse a la confusión de los datos de campo (producción y salud) con el rebaño y el manejo, así como la dificultad de analizar caracteres todo-nada y la naturaleza multifactorial de las enfermedades.

Este conjunto de perturbaciones podrían ser el resultado de la ruptura de lo que LERNER (1954) denominó "homeostasis genética", que supone que la evolución, a través de la selección natural, ha venido seleccionando genotipos que están altamente adaptados a su ambiente. También podríamos explicarlas en el contexto de la "Teoría de asignación de recursos" (GODDARD y BEILHARZ, 1977) que relaciona la cantidad de recursos disponibles por un animal con su eficacia biológica (*fitness*), es decir, la aportación total de descendientes de un individuo (número de partos × tamaño medio de la camada). Los recursos consumidos por éste y otros procesos (mantenimiento, (re)producción, movimiento, reacción a agentes patógenos y estresores) constituirían la can-

tidad total de recursos consumidos, ya que los recursos consumidos por un proceso no pueden asignarse a otros procesos. El animal seleccionado estaría preprogramado para asignar recursos a un carácter determinado. En este contexto, la ingesta residual, es decir, la parte de la ingesta no utilizada para el mantenimiento y la (re)producción, podría ser una medida de los recursos disponibles por el animal para otras necesidades en distintos estados metabólicos y etapas de la vida (LUITING *et al.*, 1997).

Cualquier estímulo que desafíe la homeostasis puede verse como un agente estresante que desencadenaría los procesos colaterales anteriormente comentados. Las alteraciones de los sistemas fisiológicos destinados a mantener la homeostasis derivarían a otros procesos recursos que estaban utilizando antes de la situación de estrés, lo cual llevaría al aumento de patologías y por ende a un menor bienestar de los animales (MOBERG, 1987; NEWMAN, 1994). Si modificásemos el ambiente de forma que aumentara la cantidad de recursos disponibles para el animal, bien por incrementar el aporte energético o por reducir el estrés ambiental, podríamos prevenir efectos colaterales negativos o incluso permitir mejoras de la producción.

Bovinos de carne

Hace más de cuarenta años que se publicaron las primeras diferencias en temperamento entre razas bovinas. TULLOH (1961) llegó a la conclusión de que los animales *Hereford* eran dóciles, los *Angus* inquietos y nerviosos y los *Shorthorn* impredecibles. Cinco años más tarde, WAGNON *et al.* (1966) llegaría a una conclusión similar, pero matizando que los animales de la raza *Shorthorn* presentaban una predisposición media al manejo, si bien eran los que más vocalizaban. Además vio como los *Angus* eran los más dominantes y los *Hereford* los menos.

En nuestro país, RIOL *et al.* (1988) compararon el temperamento de las razas de Lidia, Avileña-Negra Ibérica y Parda Alpina. Según estos autores las dos primeras razas son las que muestran mayor actividad investigadora y presentan más temor hacia el hombre, mientras que las hembras pardas se muestran indiferentes a la aparición de objetos nuevos y manifiestan una habituación total a la presencia del ser humano. Por su parte, PALACIO (2000) comprobó que las respuestas frente a estímulos como la novedad o el aislamiento social son de mayor intensidad en la raza Pirenaica que en la raza Parda.

Cuando se ha estudiado el temperamento de los cebuinos y sus cruces en relación con los bovinos, siempre se ha visto que los primeros son más difíciles de manejar en condiciones extensivas. No obstante, también existen diferencias de temperamento entre las razas (BURROW, 1997).

Algunas de las diferencias de temperamento pueden estar ligadas a genes mendelianos como el de la hipertrofia muscular (gen culón). Los animales homocigotos para el gen culón son más temperamentales que los homocigotos normales, siendo los heterocigotos intermedios, con independencia de la raza (HOLMES *et al.*, 1972). Los animales culones tienden a ser excitables e incapaces de adoptar acciones de evasión adaptativas. Por otra parte, estos animales culones presentan una mayor susceptibilidad al estrés y con ello una mayor dificultad para adaptarse a las condiciones de manejo del rebaño (HOLMES *et al.*, 1973).

Se ha comentado anteriormente que el temperamento es heredable. Según BURROW (1997), el promedio no ponderado de la heredabilidad de caracteres temperamenta-

les hallada en distintos experimentos fue de 0,36 y 0,23 para tests no restringidos y restringidos, respectivamente. Sin embargo, estas estimaciones tienden a ser más altas en animales jóvenes, lo cual sugiere que la experiencia de los animales afecta a su temperamento, cuya variación se reduce en los animales más viejos.

Relación entre temperamento y caracteres económicos

Se ha visto que los bovinos cárnicos dóciles crecen mejor que los animales inquietos, nerviosos, salvajes o agresivos (TULLOH, 1961). Asimismo, FORDYCE *et al.* (1985) comprobaron que los animales más pesados lograban la mejor puntuación en temperamento. Estos resultados sugerirían que la selección por elevada tasa de crecimiento mejoraría el comportamiento. Por su parte, BLOCKYE y LADE (1974) comunicaron que en terneros de carne el crecimiento estaba relacionado con la puntuación de dominancia cuando el pasto era escaso y los animales no recibían suplemento. Esta correlación no era significativa, en cambio, cuando el pasto era abundante.

La calidad de la carne se ve influida por el estrés. GRANDIN (1980) llegó a la conclusión de que el estrés no inmediato (tal como las luchas entre animales, el tiempo frío, el ayuno y el transporte) que se produce entre las 12-48 horas previas al sacrificio detrae glucógeno muscular, dando como resultado una carne que tiene un pH más alto, es más oscura y seca (carnes DFD). El estrés agudo que se produce inmediatamente antes del sacrificio produce ácido láctico al degradar el glucógeno. El resultado es una carne de bajo pH, color claro y escasa capacidad de retención de agua, aunque probablemente es más tierna. Esta autora ha sugerido que los estresores psicológicos, tales como las peleas o cualquier tipo de excitación pueden tener peor efecto sobre la calidad de la carne que los estresores físicos, tales como el ayuno o el tiempo frío.

La estructura empresarial de los mataderos actuales obliga a que a menudo los animales tengan que ser transportados durante un largo trayecto, lo cual unido a las elevadas velocidades de faenado conduciría a un gran estrés presacrificio que podría redundar negativamente en la calidad de la carne. A este respecto, el descanso de los animales durante el transporte o antes del sacrificio se ha demostrado que tiene efectos beneficiosos sobre la calidad de la carne (WYTHES *et al.*, 1988). Estos autores sugieren que los animales más temperamentales sufrirían más y no serían capaces de descansar tan eficazmente como los animales dóciles, si bien se carece de estudios que contrasten esta hipótesis.

Por otra parte, se tienen datos de que el temperamento tiene un efecto significativo sobre la aparición de magulladuras (FORDYCE *et al.*, 1988). En promedio, la diferencia en magulladuras entre bovinos con las mayores (peores) y las menores puntuaciones de temperamento fueron equivalentes a 1,5 kg de mermas por recortes por canal. Las muestras de bovinos con los temperamentos más fuertes fueron menos tiernas en la prueba de resistencia a la cizalla, si bien el temperamento no estuvo correlacionado con el pH o la longitud del sarcómero.

Los estudios de FRANC *et al.* (1988) indican que la actividad social generada tras reagrupar terneros antes del sacrificio está relacionada con la incidencia de carne oscura. Los valores de reflectancia y capacidad de retención de agua estuvieron correlacionados con el número de interacciones pasivas (esto es, las veces en que un ternero es atacado) y en menor medida con el número

de interacciones activas (número de ataques del toro). El estudio indicó que la aparición de carnes oscuras estaba causada principalmente por actividades que dejan exhaustos a los animales, tales como la monta, complementadas por interacciones sociales causantes de estrés.

Todos estos datos sugieren que el estrés presacrificio tiene un efecto económico significativo sobre los caracteres de calidad de la canal y de la carne. No obstante, se tiene mucha menos información sobre el papel que juegan las diferencias entre individuos en su nivel de susceptibilidad al estrés y sus efectos sobre dichos caracteres.

Ovinos criados en condiciones extensivas

Desde hace tiempo se vienen percibiendo problemas de bienestar (p.e. mortalidad de los corderos, parasitismo intestinal) en el ganado que se cría en régimen extensivo. Es probable por ello que algunas razas se hayan adaptado mejor a determinados sistemas de producción mediante una combinación de selección natural y de selección artificial no formal, subjetiva. Para realizar comparaciones entre razas o cruces se han venido utilizando medidas indirectas o más bien brutas de adaptación. Así, se ha medido la eficacia en la reproducción, que es un carácter de importancia económica por sí mismo y revela la ausencia de problemas patológicos graves, la tasa de supervivencia, que darían una medida absoluta de la adaptación y se ha sugerido la evaluación de los cambios en condición corporal (SIMM *et al.*, 1996).

En muchos casos, las razas utilizadas en los sistemas de producción extensivos están bien adaptadas a ellos. Cuando se ha practicado selección intrarraza (p.e. selección en algunos rebaños de ovinos de las zonas altas del Reino Unido y de otros países), se han dirigido los esfuerzos a caracteres de productividad (prolificidad, crecimiento de los corderos, tamaño adulto de la oveja). Esta selección se ha visto acompañada por la dependencia de la selección natural que ha eliminado los animales no adaptados al medio ambiente (SIMM *et al.*, 1996).

Adaptación física

La capacidad de almacenar grasa corporal se ha visto como un mecanismo de adaptación a periodos de carencia de alimentos, comunes en sistemas extensivos. A este respecto se ha llevado a cabo un experimento conjunto en el *Scottish Agricultural College* y en el *Roslin Institut* para comprobar si era posible seleccionar animales magros sin comprometer su capacidad para sobrevivir y reproducirse en ambientes severos. Los resultados preliminares apuntan a que no existen efectos deletéreos de la reducción de grasa sobre la supervivencia o la reproducción, medidas éstas indirectas de bienestar.

Por otra parte, WEBSTER (1993) ha sugerido que la selección debería incluir caracteres que aumentaran la tolerancia a las consecuencias a largo plazo de las restricciones de alimento, y no sólo de energía, sino también de nitrógeno, fósforo, cobre y selenio. En este sentido WOOLLIAMS *et al.* (1986) demostraron que los corderos de dos líneas seleccionadas divergentemente según su concentración hemática de cobre diferían sustancialmente en su mortalidad y resistencia a las infecciones.

El vellón del animal constituye una adaptación primaria a los ambientes severos. Las ovejas escocesas de cara oscura (*Scottish*

blackface) presentan unas fibras externas largas que protegen las fibras finas del vellón; estas características presentan variabilidad genética. Asimismo, en ovinos *Welsh Mountain* se ha visto que los corderos con lana densa tienen ventajas significativas en relación con los que presentan lana fina y rizada, en particular cuando el tiempo es malo (PURSER y KARAM, 1967).

Se han demostrado también diferencias entre razas y dentro de razas en su capacidad para soportar el frío agudo por parte de animales adultos y recién nacidos en ovejas *Blackface* y *Welsh Mountain* (SLEE, 1986). Este autor mostró asimismo que las razas de las colinas fueron más tolerantes al frío que las razas de los valles, siendo la heredabilidad realizada de este carácter 0,36 (SLEE y STOTT, 1986).

Adaptación comportamental

La mayor parte de los estudios de comportamiento relevante para la producción o la adaptación a sistemas extensivos se han centrado en mostrar diferencias entre razas, en vez de examinar la variación genética dentro de razas. Las diferencias entre razas, no obstante, pueden ser útiles para indicar áreas potenciales de investigación dentro de razas.

Las razas se diferencian en su capacidad de discriminar a sus jóvenes a distancia a partir de señales visuales o auditivas. En todas, sin embargo, se necesitan señales olfatorias para establecer los lazos iniciales con el cordero (LEVY y POINDRON, 1987). El lamido (*grooming*) por el que la oveja aprende a reconocer al cordero juega un papel fundamental en su secado y estímulo de búsqueda de la ubre. Se ha visto que las razas de las colinas tienden a mostrar un comportamiento materno homogéneo, siendo en general buenas madres, mientras que las razas criadas más intensivamente muestran un comportamiento materno más heterogéneo y una mayor propensión a abandonar o rechazar a sus crías. En este contexto, O'CONNOR *et al.* (1985) mostraron que un comportamiento materno bien desarrollado en la etapa perinatal permite disminuir la mortalidad de los corderos, siendo por tanto un componente importante de la productividad de la hembra.

Respecto al comportamiento en el pastoreo también se han demostrado diferencias entre y dentro de razas. Se han demostrado diferencias entre el tiempo de pastoreo de seis razas (DUDZINSKI y ARNOLD, 1979), así como en la distancia recorrida por ovinos *Cheviot* y *Romney* (CRESSWELL, 1960). Además, la distancia entre los animales que pastan osciló entre los 4 m en Merinos y los 19 m de las razas de las colinas inglesas (ARNOLD y DUDZINSKI, 1975). Los merinos sólo se dispersaban cuando la disponibilidad de hierba era muy baja (FRASER y BROOM, 1990). Además, cuando hay suficiente área pastable y posibilidad de elección, las ovejas tienden a seleccionar la dieta, tanto la especie vegetal como la planta y la parte de ésta (LYNCH *et al.*, 1992). A este respecto se ha visto que distintas razas prefieren distintas especies vegetales, si bien existen variaciones entre los individuos de la misma raza.

Resistencia a enfermedades

Cuando existe variación genética respecto a una enfermedad, la selección puede ser una medida preventiva útil. Se han demostrado diferencias en lo que toca a resistencia (o susceptibilidad) a enfermedades entre especies, razas y entre individuos de una

misma raza. Las ovejas *Scottish blackface* son más resistentes al helminto *Haemonchus contortus* que las *Dorset* (ALTAIF y DARGIE, 1978). Experimentos realizados en Australia y Nueva Zelanda muestran que la selección para resistencia a parásitos podría ser exitosa dado que la heredabilidad del recuento de huevos fecales estaría entre 0,2 y 0,4.

La selección para la resistencia a enfermedades puede suscitar preocupaciones éticas dado que para evaluar la resistencia de los animales habría que someterlos a infección o infestación, a menos que éstas se dieran de forma involuntaria o bien habitual durante el proceso de producción (NICHOLAS, 1996). Si se supera esta limitación, otro aspecto importante sería disponer de una escala de resistencia continua o con suficientes clases, puesto que la clasificación de los animales como resistentes o sensibles limitaría la eficacia de la selección al no poderse evaluar las diferencias genéticas entre los individuos. Como alternativa también podría aplicarse algún tipo de selección familiar.

Inclusión de caracteres temperamentales y de bienestar en programas de mejora

Hemos visto que el temperamento es moderadamente heredable, lo cual implica que sería susceptible de selección. Sobre las posibilidades de mejora por cruzamiento no se tienen datos. La selección debería hacerse sobre las puntuaciones obtenidas en uno de los tests no restringidos en vacuno de carne o sobre el comportamiento en el ordeño en el vacuno lechero.

Lo ideal sería incluir el temperamento en el objetivo global de mejora. Este planteamiento ha sido utilizado por FIMLAND (1984), al incluir el temperamento en un índice de selección por prueba de descendencia en vacunos lecheros de Noruega. En este índice, el temperamento se incluyó como un índice objetivo pero su valor se absorbió al utilizar la relación entre temperamento y producción lechera, ya que únicamente se calcularon los valores mejorantes para la producción lechera. MÄNTYSAARI *et al.* (1984) utilizaron un índice de selección tradicional para mejorar los toros de IA en Finlandia. La inclusión del temperamento en el índice aumentaba la ganancia genética entre un 5 y un 7% respecto a la selección por producción corregida por la grasa. Recientemente, BOWMAN *et al.* (1996) han identificado siete características (una de ellas el temperamento) que afectan la producción de los bovinos lecheros australianos. El índice utilizado, sin embargo, no incluía el valor de mejorar el temperamento en la reducción de la mano de obra y otros costes o en la mejora del bienestar animal.

En el vacuno de carne, BURROW (1997) opina que no sería posible construir un índice de selección convencional al desconocerse las relaciones entre temperamento y los caracteres de producción o bien, en los casos en que se conocen las correlaciones, al ser sus estimaciones inconsistentes o poco fiables. La situación se complica cuando consideramos que algunas de las relaciones entre temperamento y caracteres productivos pueden ser dependientes del sistema de producción. A modo de ejemplo, el temperamento tendría mayor efecto sobre el crecimiento en sistemas de producción extensivos.

La mejora del temperamento podría mejorar la rentabilidad de la producción bovina de carne reduciendo los costes de producción (mano de obra, reducción de lesiones, coste de las instalaciones de manejo, etc.), pero ello requeriría un análisis económico que por el momento no se ha reali-

zado. Además existen problemas con los actuales sistemas de valoración del temperamento. La mayoría de los baremos son subjetivos y no lineales, por lo cual se hace necesario acordar un sistema de evaluación estándar, como paso previo a la inclusión del temperamento entre los objetivos de selección formales. Aunque se han propuesto diversas aproximaciones no dependientes de la importancia económica relativa de los caracteres, p.e. la ganancia genética deseada (MUKAI *et al.*, 1989), para incluir estos caracteres en el objetivo global de selección debemos insistir en la necesidad de contar con un sistema de valoración del temperamento estandarizado (¿velocidad de huida al salir de la manga de manejo?), así como de disponer de estimaciones precisas de las relaciones entre el temperamento y otros caracteres productivos y de adaptación al sistema de producción.

A efectos de paliar los efectos negativos de la selección intensa que se practica en el vacuno lechero, se ha sugerido anteriormente modificar el ambiente de forma que aumento la cantidad de recursos disponibles para el animal, bien por incrementar el aporte energético o por reducir el estrés ambiental. Debemos tener en cuenta, no obstante, que las posibilidades de cambiar el ambiente suelen ser costosas y limitadas. Una solución mejor sería redefinir el objetivo de mejora de una forma más amplia, es decir, criar animales de larga vida económica productiva y reproductiva, a un nivel productivo económico y sin que den signos de alteración de su bienestar.

En el ganado ovino, para integrar la evaluación del bienestar en el contexto global de la producción ovina se ha sugerido recurrir a la aproximación coste : beneficio, discutida por WEBSTER (1994), que implica evaluar cualquier coste en bienestar para el animal, a la vez que los beneficios que representa para la sociedad. No obstante, la introducción de los caracteres relacionados con la adaptación y el bienestar en un objetivo global de selección, al igual que en otras especies rumiantes, padece el inconveniente de la escasez de parámetros genéticos relevantes, es decir, de estimaciones de heredabilidades de estos nuevos caracteres y las asociaciones de los mismos entre sí y con otros caracteres conocidos. Por otra parte, al contemplar el objetivo global de mejora habría que tener en cuenta las relaciones de la resistencia a las enfermedades con otros caracteres de producción y también con la resistencia / susceptibilidad a otros agentes patógenos. El peso que deberían tener estos caracteres de resistencia es difícil de evaluar, pero dependería del grado de parasitismo en el ambiente de producción y del coste de oportunidad de realizar medidas de control alternativas (SIMM *et al.*, 1996).

Comentario final

En relación con los caracteres productivos, la mejora del comportamiento y bienestar ha tenido una lenta andadura, que incluso en muchos casos ni siquiera ha comenzado. Estos caracteres se han mostrado complejos, con una arquitectura genética poco conocida (aunque presumiblemente compleja), esquivos por el momento a una evaluación fenotípica unívoca y fácilmente transferible a distintos ambientes de producción y, finalmente, de difícil evaluación económica. A pesar de ello, va creciendo en los países más avanzados la demanda de productos obtenidos mediante una producción animal cada vez más respetuosa con el bienestar de los animales. Por ello, es de esperar que cobre una importancia creciente la investigación de los aspectos genéticos

del bienestar y el estrés y sus relaciones con otros caracteres de producción y de calidad de los productos, sobre todo cuando ya se ha resuelto la vertiente cuantitativa de la producción en los países de nuestro entorno.

Bibliografía

ALTAIF K.I., DARGIE J.D., 1978. Genetic resistance to helmints. The influence of breed and haemoglobin type on the response of sheep to primary infections with Haemonchus contortus. Parasitology, 77, 161-175.

APPLEBY M.C., HUGHES B.O., ELSON H.A., 1992. Poultry Production Systems. Behaviour, Management and Welfare. Ed. CAB International, Wallingford.

ARNOLD G.W., DUDZINSKI M.L., 1978. Ethology of free-ranging domestic animals. Developments in Animal and Veterinary Sciences. Ed. Elsevier, Amsterdam.

BLOCKEY M.A. DE B., LADE A.D., 1974. Social dominance relationships among young bulls in a test of rate of gain after weaning. Aust. Vet. J., 50, 435-437.

BOISSY A., 1998. Fear and fearfulness in determining behavior, pp. 67-11. En: Genetics and the behavior of domestic animals. T. Grandin (Ed.). Ed. Academic Press, San Diego.

BOISSY A., BOUISSOU M.F., 1995. Assessment of individual differences in behavioural reactions of heifers exposed to various fear-eliciting situations. Appl. Anim. Behav. Sci., 46, 17-31.

BOISSY A., LE NEINDRE P., ORGEUR P., BOUIX J., 1996. Genetic influences on reactions to social isolation and to human in sheep reared under open-range management. Proc 30 th Int. Cong. Int. Soc. Apll. Ethol., p. 59.

BOUCHARD T.J., LYKKEN D.T., MCGUE M., SEGAL N.L., TELLEGEN A., 1990. Sources of human psychological differences: The Minnesota study of twins reared apart. Science, 250, 223-228.

BOWMAN P.J., WISSCHER P.M., GODDARD M.E., 1996. Customized selection indices for dairy bulls in Australia. Anim. Sci., 62, 393-403.

BROOM D.M., 1986. Indications of poor welfare. Br. Vet. J., 142, 524-526.

BROOM D.M., 1988. Needs, freedoms and the assessment of welfare. Appl. Anim. Behav. Sci., 19, 384-386.

BROOM D.M., JOHNSON K.G., 1993. Stress and animal welfare. Ed. Chapman Hall, Londres.

BURROW H.M., 1997. Measurements of temperament and their relationships with performance traits of beef cattle. Anim. Breed. Abst., 65(7), 477-495.

BUTLER W.R., SMITH R.D., 1989. Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. J. Dairy Sci., 72, 767-783.

CAMPO J.L., GIL M.G., DÁVILA S.G., 2002. El bienestar de los animales domésticos. XI Reunión de Mejora Genética, Pamplona.

CANNON W.B., 1935. Stresses and strains of homeostasis. Amer. J. Med. Sci., 189, 1-14.

CRESSWELL E., 1960. Ranging behaviour studies with Romney Marsh and Cheviot sheep in New Zealand. Anim. Behav., 8, 32-38.

DANTZER R., MORMÉDE P., HENRY J.P., 1983. Physiological assessment of adaptation in farm animals, pp. 8-19. En: Farm animal housing and welfare. S.H. Baxter, M.R. Baxter y J.A.D. MacCormack (Eds.). Ed. Martinus Nijhoff, Boston.

DICKSON D.P., BARR G.R., JOHNSON L.P., WIECKERT D.A., 1970. Social dominance and temperament of Holstein cows. J. Dairy Sci., 53, 904-907.

DUDZINSKI M.L., ARNOLD G.W., 1979. Factors influencing the grazing behaviour of sheep in a Mediterranean climate. Appl. Anim. Ethol. 5, 125-144.

DUNCAN I.J.H., 1996. Animal welfare measured in terms of feelings. Acta Agric. Scand., Section A, Animal Science, Suppl. 27, 29-35.

ERHARD H.W., SCHOUTEN W.G.P., 2001. Individual differences and personality, pp. 333-352. En: Social behaviour in farm animals. L.J. Keeling, H.W. Gonyou (eds.). Ed. CAB International, Wallinford.

FAURE J.M., 1994. Behavioral genetics: an overview. Proc 5th World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod., 20, 129.

FAWC updates the five freedoms. 1992. Vet. Rec., 131 (16), 357.

FERNÁNDEZ-TERUEL A., ESCORIHUELA A., GRAY J.A., ET AL., 2002. A quantitative trait locus influencing anxiety in the laboratory rat. Genome Res., 12, 618-626.

FIMLAND E., 1984. Progeny testing procedures in Norway. IDF Bulletin, 14, 329-332.

FISHER A.D., MORRIS C.A., MATTEWS L.R., PITCHFORD W.S., BOTTEMA C.D.K., 2001. Handling and stress response traits in cattle: identification of putative genetic markers. Proc 35 th IC ISAE, Daves, USA, 100.

FORDYCE G., GODDARD M.E., TYLER R., WILLIAMS G., TOLEMAN M.A., 1985. Temperament and bruising of Bos indicus cross cattle. Aust. J. Exp. Agric., 25, 283-288.

FORDYCE G., WYTHES J.R., SHORTHOUSE W.R., UNDERWOOD D.W., SHEPHERD R.K., 1988. Cattle temperament in extensive beef herds in northern Queensland. 2. Effect of temperament on carcass and meat quality. Aust. J. Exp. Agric., 28, 689-693.

FRANC C., BARTOS L., HANYS Z., TOMES Z., 1988. Preslaughter social activity of young bulls relating to the occurrence of dark-cutting beef. Anim. Prod., 46, 153-161.

FRASER A.F., BROOM D.M., 1990. Farm animal behaviour and welfare. Ed. Balliere Tindall, London.

GALLO L., CARNIER P., CASSANDRO M., ET AL., 1996. Change in body condition score of Holstein cows as affected by parity and mature equivalent milk yield. J. Dairy Sci., 79, 1009-1015.

GARCÍA-BELENGUER S., MORMÈDE P., 1993. Nuevo concepto de estrés en ganadería: psicobiología y neurología de la adaptación. Invest. Agr.: Prod. Sanid. Anim., 8 (2), 87-110.

GERSHENFELD H.K., PAUL S.M., 1997. Mapping quantitative trait loci for fear-like behaviors in mice. Genomics, 46(1), 1-8.

GODDARD M.E., BEILHARZ R.G., 1984. A factor analysis of fearfulness in potential guide dogs. Appl. Anim. Behav. Sci., 12, 253-265.

GODDARD M.E., BEILHARZ R.G., 1977. Natural selection and animal breeding. Proc. 3rd Int. Cong. S.A.B.R.A.O., Animal Breeding Papers, 4.19 to 4.21.

GRANDIN T., 1980. The effect of stress on livestock meat prior to and during slaughter. Int. J. Study Animal Problems, 1, 313-337.

HEMSWORTH P.H., BARNETT J.L., 1991. The effects of aversively handling pigs, either individually or in groups, on their behaviour, growth and corticosteroids. Appl. Anim. Behav. Sci., 30, 61-72.

HEMSWORT P.H., BARNET J.L., TREACY D., MADGWICK P., 1990. The heritability of the trait fear of humans and the association between this trait and subsequent reproductive performance of gilts. Appl. Anim. Behav. Sci., 25, 85-95.

HOLMES J.H.G., ROBINSON D.W., ASHMORE C.R., 1972. Blood lactic acid and behaviour in cattle with hereditary muscular hyperthropy. J. Anim. Sci., 35, 1011-1013.

HOLMES J.H.G., ASHMORE C.R., ROBINSON D.W., 1973. Effects of stress on cattle with hereditary muscular hyperthrophy. J. Anim. Sci., 36, 684-694.

KERR S.G.C., WOOD-GUSH D.G.M., 1987. The development of behaviour patterns and temperament in dairy heifers. Behav. Proc., 15, 1-16.

KOVALCIKOVÁ M., KOVALCIK K., 1982/83. Relationships between parameters of the open field test of cows and their milk production in loose housing. Appl. Anim. Ethol., 9, 121-129.

LAWSTUEN D.A., HANSEN L.B., STEUERNAGEL G.R., 1988. Management traits scored linearly by dairy producers. J. Dairy Sci., 71, 788-799.

LAY D.C., FRIEND T.H., RANDEL R.D., ET AL., 1992. Does maternal deprivation affect a calf's physiological and behavioral reactions to later stress? J. Anim. Sci., 70 (suppl.1), 162.

LE NEINDRE P., BOIVIN X., BOISSY A., 1996. Handling extensively kept animals. Appl. Anim. Behav. Sci., 49, 73-81.

LE NEINDRE P., POINDOU P., TRILLAT G., ORGEUR P., 1993. Influence of breed in reactivity of sheep to humans. Génét. Sél. Evol., 25, 447-458.

LE NEINDRE P., TRILLAT G., SAPA J., MÉNISSIER F., BONNET J., CHUPIN J., 1995. Individual differences in docility in Limousin cattle. J. Anim. Sci., 73, 2249-2253.

LERNER I.M., 1954. Genetic homeostasis. Ed. Wiley, New York.

LEVY F., POINDRON P., 1987. The importance of amniotic fluids for the establishment of maternal behaviour in experienced and inexperienced ewes. Anim. Behav., 35, 1188-1192.

LUITING P., VANGEN O., RAUW W.M., KNAP P.W., BEILHARZ R.G., 1997. Physiological consequences of selection for growth. 48 Annual Meeting of the EAAP, Vienna, Austria.

LYNCH J.J., HINCH G.N., ADAMS D.B., 1992. The behaviour of sheep. Biological principles and implications. Ed. CAB International, Wallingford.

LYONS D.M., PRICE E.O., MOBERG G.P., 1988. Social modulation of the pituitary-adrenal responsiveness and individual differences in behavior of yourn domestic goats. Phys. Behav., 43, 451-458.

MANTECA X., DEAG J.M., 1994. Individual variation in response to stressors in farm animals: implications for experimenters. Anim. Welf., 3, 213-218.

MÄNTYSAARI E., SYVÄJÄRVI J., HELLNAN T., 1984. A multiple trait selection index for progeny testing in dairy bulls in Finland. IDF Bulletin, 183, 204-212.

MAREK P., YIRMIYA Y., LIEBESKIND J.C., 1988. Strain differences in the magnitude of swimming-induced analgesia correlate with brain opiate receptor concentration. Brain Res., 447, 118-190.

MASON J.M., 1971. A reevaluation of the concept of non specificity in stress theory. J. Psychiat. Res., 8. 323-333.

MCINTYRE B.L., RYAN W.J., 1986. Effect of level of handling on meat quality of cattle of two breed types. Proc. Australian Soc. Anim. Prod., 16, 267-270.

MITCHELL G., HATTING J., GANHAO M., 1988. Stress in cattle assessed after handling, after transport and after slaughter. Vet. Rec., 123, 201-205.

MOBERG G.P., 1987. A model for assessing the impact of behavioral stress on domestic animals. J. Anim. Sci., 65, 1228-1235.

MUKAI F., SHOGAKI R., YAMADA Y., 1989. Comparison of genetic gains achieved by the classical selection index and the desired genetic gains. J. Anim. Breed. Genet., 106, 345-350.

NEBEL R.L., MCGILLIARD M.L., 1993. Interactions of high milk yield and reproductive performance in dairy cows. J. Dairy Sci., 76, 3257-3268.

NEWMAN S., 1994. Quantitative- and molecular-genetic effects on animal well-being: adaptative mecanisms. J. Anim. Sci., 72, 1641-1653.

NICHOLAS F.W., 1996. Introduction to Veterinary Genetics. Ed. Oxford University Press, Oxford.

O'CONNOR C.E., JAY N.P., NICOL A.M., BEATSON P.R., 1985. Ewe maternal behaviour score and lamb survival. Proc. N. Z. Soc. Anim. Prod., 45, 159-162.

PALACIO J., 2000. Estudio comparativo de la respuesta de adaptación de dos razas bovinas: Parda Alpina y Pirenaica 314 pp. Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza.

PRICE E.O., 1984. Behavioral aspects of animal domestication. Q. Rev. Biol., 59, 1-32.

PURSER A.F., KARAM H.A. 1967. Lamb survival, growth and fleece production in relation to birthcoat type among Welsh Mountain sheep. Anim. Prod., 9, 75-85.

RAUW W.M., KANIS E., NOORDHIZEN-STASSEN E.N., GROMMERS F.J., 1998. Undesirable side effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. Livest. Prod. Sci., 56, 15-33.

RIOL J.A., SÁNCHEZ J.M., GAUDIOSO V.R., GONZALO C., 1988. Comportamiento investigatorio y distancia de huida en las razas Pardo Alpina, Avileña-Negra Ibérica y de Lidia. Proc 15th World Buiatrics Congress, 1051-1058.

ROMEYER A., BOUISSOU M.F., 1992. Assessment of fear reactions in domestic sheep and influence of breed and rearing conditions. Appl. Anim. Behav. Sci., 34, 93-119.

SCHMUTZ S.M., STOOKEY J.M., WINKELMAN-SIM D.C., WALTZ C.S., PLANTE Y., BUCHANAN F.C. 2001. A QTL study of cattle behavioral traits in embryo transfer families. J. Hered., 92 (3), 290-292.

SELYE H., 1936. A syndrome produced by diverse nocious agents. Nature, 138, 32-33.

SELYE H., 1956. The stress life. Ed. McGraw Hill, New York.

SENATORE E.M., BUTLER W.R., OLTENACU P.A., 1996. Relationships between energy balance and postpartum ovarian activity and fertility in first lactation dairy cows. Anim. Sci., 62, 17-23.

SHANKS N., GRIFFITHS J., ZALCMAN S., ZACHARKO R.M., ANISMAN H., 1990. Mouse strains differences in plasma corticosterone following uncontrollable footshock. Pharmacol. Biochem. Behav., 36, 515-519.

SIMM G., CONINGTON J., BISHOP S.C., DWYER C.M., PATTINSON S., 1996. Genetic selection for extensive conditions. Appl. Anim. Behav. Sci., 49, 47-49.

SKINNER J.G., 2001. International standardization of acute phase proteins. Vet. Clin. Pathol., 30(1), 2-7.

SLEE J., 1986. The genetics of adaptation to cold climates with particular reference to sheep. Proc. 3rd. World Cong. Genet. Appl. Livest. Prod., XI, 462-473.

SLEE J., STOTT A.W., 1986. Genetic selection for cold resistance in Scottish Blackface lambs. Anim. Prod., 43, 397-404.

SYME L.A., 1981. Social disruption and forced movement orders in sheep. Anim. Behav., 29, 283-288.

TULLOH N.M., 1961. Behaviour of cattle in yards. II. A study of temperament. Anim. Behav., 9, 25-30.

URCA G., SEGLV S., SARNE Y., 1985. Footshock-induced analgesia: its opioid nature depends on the strain of rat. Brain Res., 329, 109-116.

WAGNON K.A., LOY R.G., ROLLINS W.C., CARROLL F.D., 1966. Social dominance in a herd of Angus, Hereford and Shorthorn cows. Anim. Behav., 14, 474-479.

WEBSTER A.J.F., 1993. Environment: heat and cold tolerance. Proc. Sheep Vet. Soc., 17, 123-128.

WEBSTER J., 1994. New breeding technologies: ethical and animal welfare issues. Digest No. 49, British Cattle Breeders Club, 41-44.

WOOLIAMS C., SUTTLE N.F., WOOLLIAMS J.A., JONES D.G., WIENER G., 1986. Studies on lambs from lines genetically selected for high and low cooper status. I. Differences in mortality. Anim. Prod., 43, 293-302.

WYTHES J.R., SHORTHOSE W.R., POWELL V.R., 1988. Cattle handling abbatoirs. I. The effects of rest and resting conditions before slaughter and of electrical estimulation of carcasses on carcass weight and muscle properties. Aust. J. Agric. Res., 39, 87-95.

ITEA (2002). Vol. **98A N.° 2,** 216-232

ECOPATOLOGÍA DE LAS ENFERMEDADES ANIMALES

Carmelo Ortega Rodríguez

Patología Infecciosa y Epidemiología, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza, Miguel Servet 177, 50013 Zaragoza, España

RESUMEN

El artículo realiza una presentación de los principales aspectos epidemiológicos de las enfermedades de los animales de abasto y de sus implicaciones en el diseño de medidas de lucha frente a ellas. El carácter multifactorial de la mayoría de las enfermedades actuales, hace que el límite entre la salud y la enfermedad esté poco definido, dependiendo aquellas de un débil equilibrio entre tres elementos fundamentales, el hospedador, el agente patógeno y el medio. Por ello es importante conocer que factores de cada uno de esos tres elementos intervienen en la presentación de una enfermedad para, una vez identificados, poder actuar en su control mediante las diferentes estrategias de medicina preventiva. El trabajo realiza igualmente una revisión de los estudios epidemiológicos de tipo observacional, principal herramienta epidemiológica para realizar la identificación de aquellos factores de riesgo de enfermedad.

Palabras clave: Salud, Enfermedad, Epidemiología, Medicina preventiva.

SUMMARY
ECOPATHOLOGY OF ANIMAL DISEASES

This document presents the most important epidemiological components of the animal diseases and their role in the design of control strategies. The multifactorial character of the diseases makes difficult to define the limit between health and disease, both of them are depending on the balance of three elements, animal, pathogen and environment. This means it is important to know the factors of every one of the three elements that are associated to disease presentation, and according to this, it will be possible to design the different preventive medicine strategies to control it. The paper also presents the observational epidemiological studies as the most important epidemiological tool to use in the identification of that risk factors associated to disease presentation.

Key words: Health; Disease, Epidemiology, Preventive medicine.

La salud y la enfermedad en las poblaciones

Los estados de salud de las poblaciones dependen de dos hechos fundamentales, por un lado ser capaces de eliminar la enfermedad y devolver el estado de salud cuando aquella se presenta, y por otro de la capacidad de prevenir y evitar la aparición de la enfermedad cuando esta no está presente, si bien este último resulta más complejo que el primero en muchas ocasiones.

Las estrategias de actuación para prevenir o controlar la enfermedad pueden instaurarse a nivel individual, implica identificar aquellos individuos con un alto riesgo de enfermedad, o a nivel colectivo, que supone aplicar las medidas en toda la población evitando la tarea de identificar los individuos que realmente están expuestos a riesgos.

Actuar frente a las enfermedades implica plantear una serie de actuaciones que tienden a promover el mantenimiento del estado de salud o su recuperación cuando se ha perdido, por tanto es necesario conocer previamente que se entiende por estado de salud.

Salud- (concepto de la Organización Mundial de la Salud - OMS), Estado completo de bienestar físico, mental y social y no sólo ausencia de afecciones o enfermedades.

Este concepto que posee una clara orientación hacia la especie humana, tiende a ser considerado también cada vez con más frecuencia en el mundo de la producción animal, en la que ya no solo se persigue la ausencia de enfermedad, sino también la existencia de un bienestar o falta de sufrimiento por parte del individuo y de la colectividad.

Por otro lado es importante tener en cuenta que el estado de salud es dinámico y por tanto condicionado por el tiempo, con un rango de variación amplio, ya que puede variar desde el óptimo de salud hasta la ausencia total de la misma (muerte) quedando entre medio un espacio neutro donde es difícil distinguir lo normal de lo patológico, figura 1.

En función de esta idea, se define la salud en un concepto más amplio como: "*el logro del más alto nivel de bienestar físico, mental y social y de capacidad de funcionamiento que permitan los factores sociales en que vive inmerso el individuo y la colectividad*".

Determinantes de salud: cuatro elementos son los determinantes clave del estado de salud, el medio ambiente, la forma de vida, la biología del ser vivo y los sistemas sanitarios puestos en marcha, figura 2.

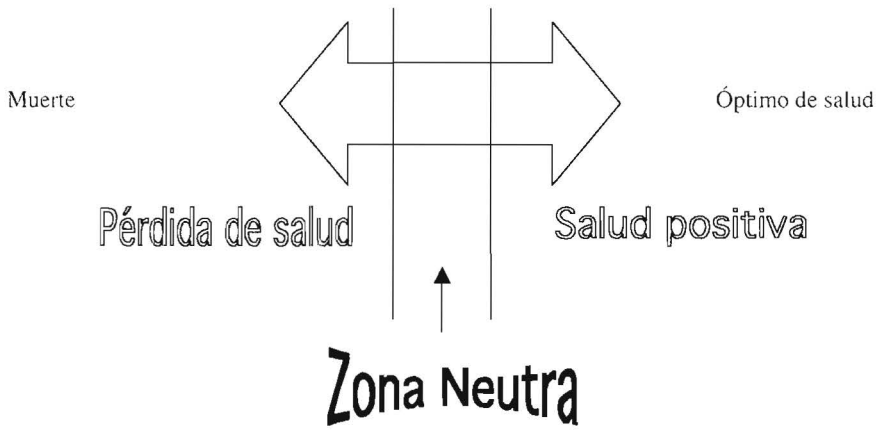


Figura 1. Equilibrio Salud- Enfermedad
Figure 1. Health - Disease equilibrium

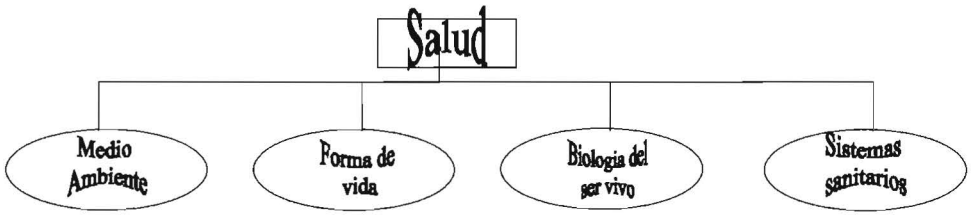


Figura 2. Determinantes de los que depende el estado de salud
Figure 2. Factors affecting the health status

Sobre estos cuatro elementos es posible actuar para luchar (mediante prevención o control) frente a la enfermedad, por lo que la actuación sobre estos resultará la clave a partir de este momento para lograr un buen estado de salud, algo de lo que se encargará básicamente la medicina preventiva.

El hecho de que la salud dependa de todos esos elementos, hace que, al igual que aquella, la enfermedad sea un concepto dinámico en el tiempo en función de la intervención de cada uno de esos elementos.

Enfermedad- Proceso definible desde una perspectiva médica en términos de patofisiología y patología. Circunstancia que exige una alteración de alguna función corporal del animal. Supone la presentación de síntomas y lesiones o bien, la disminución de la productividad del animal.

Parámetros que definen el estado de salud o el riesgo de enfermedad en la población:

- Tasas de mortalidad/morbilidad.
- Esperanza de vida.
- Índice de supervivencia.
- Riesgo relativo/Odds ratio.
- Riesgo atribuible a la población.

La enfermedad y el modelo de iceberg: La identificación de una parte de la población que presenta la enfermedad de forma detectable, no significa que sean solo esos los animales que van a presentarla, ya que existirá otra parte muy importante de la población que está infectada y no manifiesta clínicamente la enfermedad en el momento en que se está valorando, o incluso en muchos casos, no llegará a ser detectable en ningún momento pero en cambio, si que estará actuando como fuente de agente para los animales sanos. Eso explica que las enfermedades de naturaleza infecciosa sigan un modelo de "iceberg" en el que la parte de población que sufre una infección inaparente es tan importante o más que aquella parte que manifiesta la enfermedad, y por tanto, la actuación no solo se deberá limitar a estos segundos, sino que también debería incluir a los primeros, figura 3.



Figura 3. Modelo Iceberg de la enfermedad
Figure 3. Iceberg disease model

Infección- Entrada y desarrollo o multiplicación de un microorganismo en el animal hospedador.

De lo visto hasta el momento se deduce que las poblaciones animales están expuestas a permanentes riesgos potenciales de infección y enfermedad, ya sea directamente por la intervención de agentes patógenos, o indirectamente por la acción de factores predisponentes.

Determinantes del estado de salud o enfermedad

Las características de las enfermedades actuales, de naturaleza multifactorial en su gran mayoría, hacen que en la presentación de las mismas deban considerarse diversos aspectos además del propio agente patógeno, aspectos o elementos que de algún modo determinan la aparición de una enfermedad en una población animal. Estos elementos pueden agruparse como:

• *Primarios*- su presencia produce un efecto directo y de gran intensidad en la presentación de la enfermedad.

• *Secundarios*- predisponen o facilitan en mayor o menor grado la aparición de la enfermedad.

• Tanto unos como otros, se estudian en función de cual es su origen, lo que permite hablar de tres grandes grupos de factores:

Constitutivos de la población

Especie- En función de receptores de especie para los agentes patógenos.

Raza- Mayor incidencia en razas puras que en cruces.

Sexo- Según determinantes hormonales, sociales y genéticos.

Edad- Ausencia de inmunidad en jóvenes.

Características genéticas de los animales que hacen más resistentes a la enfermedad a determinados grupos de población de forma natural.

Tipo de población- Cuando se trata de colectividades. Determina los posibles contactos entre animales de diferentes poblaciones.

Constitutivos del agente patógeno (figura 4)

Infecciosidad- Capacidad de un agente patógeno de penetrar, multiplicarse y transmitirse en el organismo de un animal.

Infección inaparente- Presencia de una infección en un hospedador sin que existan manifestaciones clínicas de enfermedad (opción "*a*" en el gráfico).

Infección aparente- Presencia de una infección en un hospedador observándose además manifestaciones clínicas de la enfermedad. Dentro de esta pueden existir diferentes grados: moderada (opción "*b*" en el gráfico), grave (opción "*c*" en el gráfico) y fatal (opción "*d*" en el gráfico).

Virulencia- Capacidad de un agente patógeno (exclusivamente microorganismos) para multiplicarse en el organismo de un animal y producir enfermedad desde el punto de vista cuantitativo, equivale a:

$$C+D \,/\, B+C+D$$

Patogenicidad- Capacidad de un agente patógeno para multiplicarse en el organismo de un animal y producir la enfermedad desde el punto de vista cualitativo, equivale a:

$$B+C+D \,/\, A+B+C+D$$



Figura 4. Elementos de la enfermedad constitutivos del agente
Figure 4. Agent disease constitutive elements

Poder inmunógeno- Capacidad del agente para producir una respuesta defensiva (inmune generálmente) en el hospedador.

Inmunidad- Estado de resistencia asociado a la presencia de una respuesta defensiva frente a los agentes patógenos y que está mediada por células (celular) o por moléculas orgánicas del tipo de anticuerpos o interferones (humoral). En general, cuando se alcanza la inmunidad en el 70-80% de los individuos de una población la infección no se transmite a niveles en los que pueda mantenerse la enfermedad en forma epidémica.

Constitutivos del medio ambiente

Abióticos

Localización- En función de vegetación, ruido, orografía, geología...

Clima- Existen el macroclima y el microclima (este es fundamental en animales de explotación intensiva, desempeñando un papel de mayor importancia que el macroclima).

Alojamiento- Estructura de los suelos, ventanas...

Dieta- Influencia de las carencias alimenticias tanto en calidad como en cantidad.

Manejo- Tipo de producción, densidad de animales.

Estrés- Es la suma de reacciones biológicas frente a estímulos físicos o emocionales que tienden a alterar la homeostasis. El principal componente de las situaciones de estrés es la liberación de "*cortisol*" que actúa como inhibidor de los mecanismos defensivos del animal.

Bióticos

Fauna- Animales como posibles transmisores de la enfermedad.

Flora- Plantas que como elementos constitutivos de la alimentación o del entorno en el que viven los animales pueden transmitir la infección o introducir esta en una población exenta.

Interacción entre los determinantes de salud y enfermedad

La interacción de los elementos incluidos en los tres grupos dará lugar a la *"cadena epidemiológica de la enfermedad"* (figura 5) en la que se pone de manifiesto que, en condiciones normales en que existe ausencia de un patógeno perturbador, se establece un equilibrio entre el ser vivo y el medio que origina la *salud*. Cuando por algún motivo se introduce el patógeno perturbador, ese equilibrio se rompe dando lugar a la *enfermedad*. En producción intensiva, el componente medio externo se desglosa en varios elementos, lo que hace que esa cadena epidemiológica triangular se transforme en un modelo de equilibrio salud – enfermedad con diversos factores, lo que se conoce como el *"modelo hexagonal de enfermedad"*.

En ocasiones ese elemento perturbador no es un sino varios cuyo control simultaneo resulta complejo o imposible, razón por la cual es necesario que en producción intensiva (donde este tipo de procesos es más frecuente) el veterinario deba interesarse más por orientar su trabajo hacia la identificación de posibles factores relacionados con la enfermedad para poder prevenirlos antes de que lleguen a actuar. Por tanto, el estudio la enfermedad descompuesta en esos factores y su interacción constituye la base de la denominada *ecopatología* de la enfermedad.

Por tanto, la *ecopatologia* se centra en el *estudio de las patologías de tipo multifactorial* en las que intervendrán diversos grupos de elementos como factores implicados, con mayor o menor intensidad, en la presentación de la enfermedad. Trata por tanto de explicar la enfermedad como un sistema de causas y factores asociados organizados e interdependientes. Estas enfermedades de tipo multifactorial se caracterizan por:

- Son patologías de grupo.

- La sintomatología y lesiones, en caso de existir son muy variables.

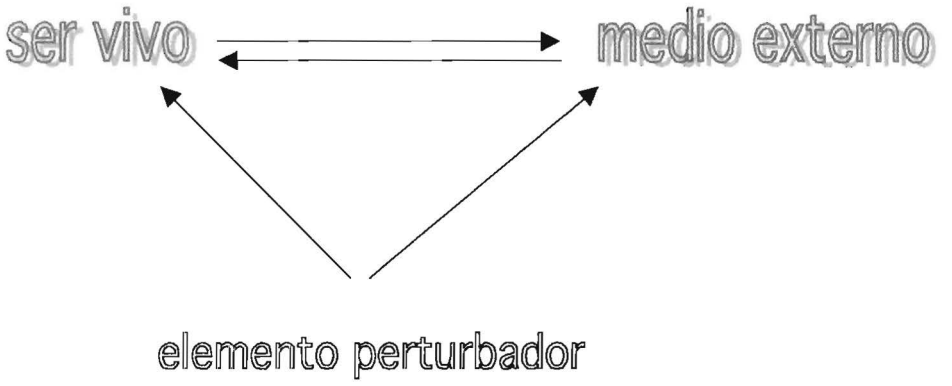


Figura 5. Cadena epidemiológica de la enfermedad
Figure 5. Disease epidemiological chain

• Los casos de enfermedad son muchos pero las muertes son escasas.

• Suelen intervenir agentes saprófios o comensales (no suelen ser patógenos primarios).

• Persisten largos periodos de tiempo.

• La manifestación más importante es la pérdida de productividad.

• La reproducción experimental es dificil o imposible.

Aplicación de la ecopatología en producción intensiva

De manera general puede definirse la "*producción intensiva*" como un "*grupo de animales*" que el "*hombre*" mantiene dándoles "*alimento*" y "*alojamiento*", realizando sobre ellos un "*manejo*" adecuado con el fin de lograr una rentabilidad de los mismos (producción).

Si a ese conjunto de variables que determinan la productividad de una población animal le añadimos la existencia de agentes causantes de procesos patológicos, "*microbismo*", podemos completar lo que se conoce como el modelo hexagonal que explica los estados de salud – enfermedad de una explotación intensiva.

Todas esas variables del modelo están interrelacionadas entre sí, de manera que existe un equilibrio. Si en algún momento se produce una alteración en uno de los vértices del modelo (lo que se deberá a modificaciones de alguno de aquellos elementos de la enfermedad: constitutivos del hospedador, del agente o del medio) se produce un desequilibrio en el modelo que hace que el sistema de producción intensiva deje de ser rentable (figura 6).

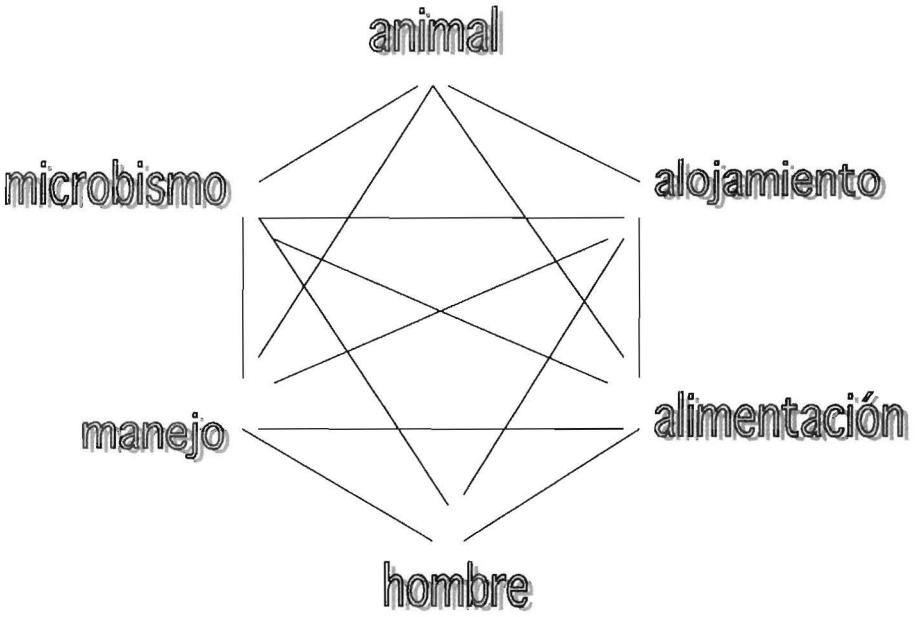


Figura 6. Modelo hexagonal de la enfermedad
Figure 6. Disease hexagonal model

Desde el punto de vista económico, a estas seis variables deberían añadirse dos más resultantes de la interacción entre las anteriores, la obtención de "*los objetivos técnico-económicos*" y el "*estado sanitario de la población*".

Animal

Considerado en cada caso como un ente individual por un lado y como población conjunta por otro (ya que debe existir una homogeneidad entre individuos de una población para un mismo sistema de cría). En la actualidad en esta variable del modelo desempeña un papel primordial la constitución genética de los animales y en función de ella, la posibilidad de que exista una resistencia natural a la enfermedad. De allí que la selección genética sea, cada vez más, un componente importante en los programas de prevención de algunas enfermedades.

Alojamiento

Importantes en este sentido son el propio concepto del alojamiento atendiendo al tipo de producción (intensivo o extensivo) ya que determinará en si mismo el concepto de superficie a utilizar. Igualmente importante será aspectos como el tipo de suelos, el ambiente creado en el interior de la explotación o el equipamiento disponible atendiendo al tipo de producción al que los animales se destinan.

Alimentación

Esta debe ser considerada desde el punto de vista "cualitativo", lo que lleva consigo una selección en cuanto a los componentes y materias primas de las que procede, su composición y digestibilidad, la existencia de un equilibrio en la ración suministrada o la calidad sanitaria del propio alimento y del agua aportada, y desde el punto de vista "cuantitativa" la cantidad aportada debe ser la adecuada.

Manejo

Apoyado fundamentalmente en el trato a los animales cuando se manipulan o la calidad sanitaria de la explotación y que dependerá de las medidas de tipo preventivo y de lucha frente a enfermedades instauradas que se lleguen a aplicar.

Hombre

Resulta fundamental la actitud y aptitud del ganadero, lo que vendrá dado por su profesionalidad en el comportamiento específico en la explotación en función de los objetivos marcados para la misma.

Microbismo

Los agentes microbianos que se presentan en una población animal sometida a un sistema de producción intensiva no tienen por que ser *"patógenos primarios o per se"*, es decir agentes que por si mismos causan enfermedad, ya que en muchas ocasiones los agentes implicados en los procesos multifactoriales son los denominados *"patógenos secundarios"* es decir, agentes que por si mismos no son patógenos y que además su presencia es frecuente en los sistemas de producción intensiva. Estos agentes se transforman en patógenos ante la intervención de otros factores predisponentes que

darán lugar a situaciones de estrés. Dentro de los patógenos secundarios deben considerarse:

• *Saprófitos*- agentes que habitualmente se encuentran en el medio en condiciones normales sin producir enfermedad.

• *Comensales*- agentes habituales del organismo de los animales que no causan enfermedad en condiciones normales.

Actuaciones frente a la enfermedad

Medicina Preventiva- Arte o ciencia de organizar y dirigir los esfuerzos colectivos para la defensa, promoción y restauración de la salud en la población.

Ciencia que estudia las medidas destinadas a prevenir la aparición de enfermedad. Se apoya en la aplicación de técnicas dirigidas a promover y mantener la salud y el bien estar de las poblaciones (American College of Preventive Medecine).

Hoy en día este concepto incluye aspectos preventivos propiamente y aspectos curativos, siendo muy complicado separar unos de otros, al primero se dedicará la medicina preventiva estricta y al segundo la medicina curativa, por tanto la situación será la que se observa en la figura 7.

Las diferencias más importantes entre lo que serían las medidas curativas y las preventivas son que la primera reduce solo la "prevalencia de enfermedad (casos totales que existen)", mientras que la segunda reduce tanto la "prevalencia como la incidencia (aparición de nuevos casos en el tiempo)". No obstante, como en sanidad animal interesa trabajar con el concepto más amplio de medicina preventiva, consideraremos dentro de esta tanto la prevención como la curación.

En medicina preventiva es frecuente que se de la paradoja de que al aplicar una serie de estrategias frente a la enfermedad que aportan grandes ventajas sanitarias sobre la población, estamos ofreciendo poco a cada individuo independiente que forma parte de aquella población.

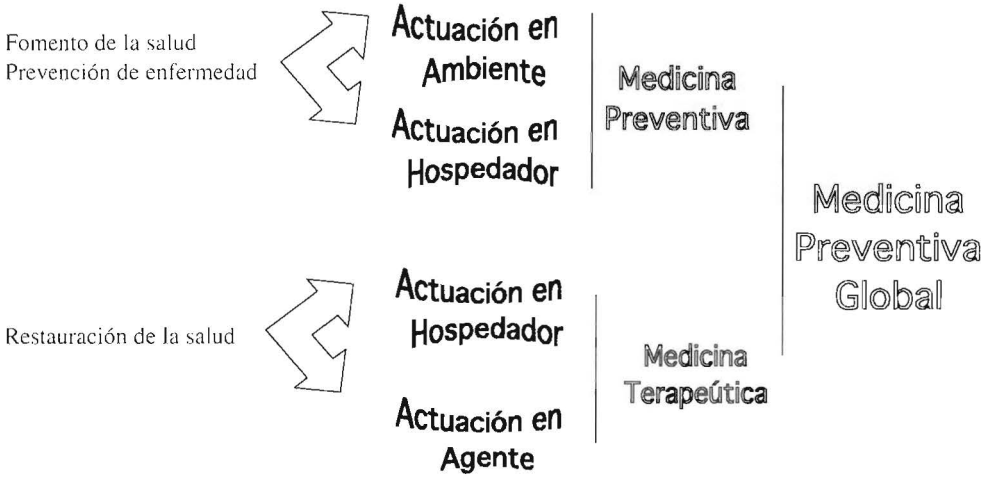


Figura 7. Elementos de la medicina preventiva
Figure 7. Elements of the preventive medicine

Otro aspecto importante en medicina preventiva es la consideración de las implicaciones que la enfermedad o la lucha frente a ella tienen en salud pública, implicaciones cada vez con mayor repercusión social tanto desde la perspectiva de la prevención, ya sea por la manipulación genética o por la utilización de productos de inmunización, como desde la perspectiva curativa, particularmente por el uso de antibióticos.

Salud Pública- Acciones organizadas a nivel social para prevenir y mejorar la salud de una población. Arte o ciencia que se ocupa de prevenir las enfermedades, prolongar la vida y promover la salud física a través de esfuerzos sociales orientados a la mejora del medio ambiente, el control de las infecciones de la comunidad, la educación en aspectos higiénico-sanitarios, la organización de los servicios médicos para la rápida detección y el tratamiento preventivo de las enfermedades y el desarrollo de la maquinaria social que asegure a cada individuo de la comunidad un modo de vida adecuado para el mantenimiento de su salud (C.E.A. Winslow, 1920).

Bases de la medicina preventiva

En Medicina Preventiva general se definen tres niveles de actuación:

• *Primario-* Actuación para reducir la aparición de nuevos casos. Supone actuar sobre la *incidencia* de enfermedad y su ámbito de actuación son las poblaciones susceptibles. Se apoya en el control del medio y la acción sobre el hospedador, bien mediante selección genética o bien mediante la inmunización y la educación sanitaria.

• *Secundario-* Actuación para cortar la evolución de la enfermedad. Actúa sobre la *prevalencia* de enfermedad. Supone la identificación precoz de casos.

• *Terciario-* Actuación para reducir los efectos de la enfermedad en la población tratando de minimizar la gravedad de los efectos. Se apoya en la aplicación de aspectos curativos (tratamientos). En ocasiones se limita a evitar los efectos de la enfermedad o reducirlos al mínimo posible, mientras que en otras ocasiones además de limitar esos efectos trata de regenerar el estado de salud perdido.

Estos tres niveles de actuación buscan:

• Inactivar o destruir el agente etiológico.

• Romper la cadena epidemiológica de transmisión de la enfermedad.

• Aumentar la resistencia del hospedador. En este sentido cabe destacar la actuación a dos niveles diferentes:

- Selección de poblaciones animales resistentes, básicamente mediante actuaciones de tipo genético.
- Mejorar la capacidad de defensa de los individuos, lo que se apoya en actuaciones de inmunización.

Según se haga más hincapié en uno u otro, las estrategias de actuación de la medicina preventiva serán diferentes: control, prevención, erradicación o eliminación.

Algunos elementos clave en la medicina preventiva

Los mecanismos básicos de medicina preventiva utilizados son el control, la prevención, la eliminación y la erradicación, si bien entre ellos "no" existe un límite preciso por lo que a veces se superponen uno con otro.

• *Control:* Consiste en mantener la enfermedad a unos niveles económicamente aceptables. Para ello es necesario reducir la mor-

bilidad y mortalidad de la enfermedad hasta alcanzar unos niveles suficientemente bajos con los que posteriormente pueda plantearse otro tipo de actuación. Esta estrategia de medicina preventiva está a caballo entre la prevención y la erradicación y suele incluir aspectos de ambos. Las medidas de control de la enfermedad se agruparán en:

- *Medidas frente al foco* - son medidas de emergencia que actúan directamente en el foco de enfermedad para evitar la propagación a otros hospedadores susceptibles o zonas próximas. Son medidas de aplicación inmediata en un grupo de la población de un área localizada (foco) y están encaminadas a obtener resultados inmediatos en ese grupo. Suelen ser la base de la campaña de control y exigen muchos recursos.
- *Medidas permanentes*- son medidas de aplicación sistemática y durante largos periodos de tiempo en toda la población (no solo en el foco). En este grupo se incluirán básicamente las medidas aplicadas al hospedador, aspectos genéticos o de inmunización.

• *Erradicación:* Desaparición total de una enfermedad o de una infección de una zona y en un plazo de tiempo definido. En aquellos casos en que se pretende solo lograr hacer desaparecer la enfermedad no se hace necesario eliminar el agente (la infección, si bien es aconsejable), sino reducirlo hasta un nivel en que su transmisión no sea posible. En los casos en que se pretende hacer desaparecer la infección si es necesaria la total eliminación del agente.

Una vez iniciada y lograda la erradicación, se deben aplicar medidas que eviten su reaparición (de la enfermedad o de la infección), luego una vez que se ha terminado la enfermedad debe darse por finalizada la estrategia de erradicación y a partir de ese momento debe instaurarse un programa de seguimiento epidemiológico de la población.

¿Cuándo puede decirse que una enfermedad se ha erradicado?, cuando se cumple:

- Se ha establecido claramente el "último caso".
- Se han eliminado las vías de diseminación internas
- Se han establecido barreras para evitar la entrada de la enfermedad desde el exterior.

En ocasiones conviene diferenciar entre *erradicación* y *eliminación*, siendo la primera el proceso por el cual se ha cortado totalmente la posibilidad de transmisión de la enfermedad en un área y por tanto las medidas aplicadas ya pueden suspenderse, mientras que la eliminación supone que la enfermedad ha desaparecido de un área pero la posibilidad de transmisión persiste, por lo que las medidas de lucha no pueden suspenderse.

• *Prevención:* Medidas que se establecen para evitar que aparezca la enfermedad en una zona donde no existía previamente o en la que la enfermedad ha sido erradicada. Se puede aplicar tanto con carácter "individual" como "poblacional". La prevención puede realizarse a tres niveles diferentes (que definen globalmente los tres tipos de medicina preventiva básica) dependiendo del periodo evolutivo de la enfermedad en que se aplica, ello exige conocer la historia natural de la misma, y de los elementos que están implicados en el proceso:

- *Primaria*- la aplicación de medidas para control de la causa y de los factores de riesgo "antes" de que aparezca la infección (autentica prevención). En general son medidas inespecíficas

por no actuar directamente contra un agente en concreto (en ocasiones puede incluir medidas más específicas una vez identificados elementos de riesgo propios del agente). Esta prevención contempla medidas de protección de la salud basadas en actuaciones medioambientales que permitan controlar los factores de riesgo o basadas en la actuación en los individuos, lo que supone realizar una selección genética o conferir protección (inmunización, quimioprofilaxis).

- *Secundaria-* la apoyada en la aplicación de técnicas de diagnóstico que permitan la detección de casos de infección cuando esta ya está instaurada y antes de que llegue a manifestarse clínicamente. Aplica generalmente técnicas de cribado que identifican la probabilidad de presentar la enfermedad en función de que exista el agente o los factores de riesgo.
- *Terciaria-* apoyada en medidas que permitan reducir las manifestaciones clínicas y las pérdidas en productividad o la muerte como situación extrema. Se trata de evitar, ante una eventual entrada o aparición de la enfermedad, los efectos una vez que la enfermedad que podría llegar a originar (tratamientos con carácter preventivo).

La elección de la forma de actuar, dependerá en cada caso concreto de la situación de la explotación, figura 8.

La necesidad de instaurar estrategias de control o de erradicación suponen que se ha producido previamente un fallo en las estrategias de prevención (si es que estas han existido). Por otro lado, hay que considerar que las estrategias de control no tienen la urgencia de las estrategias de erradicación, puesto que en el control siempre quedará un remanente de la infección, mientras que en la erradicación no debe quedar.

Finalmente hay que indicar, que en la instauración de estrategias de medicina preventiva para luchar frente a la enfermedad, tanto prevención como control, existirá un importante factor limitante para su aplicación, es el "coste económico" de las mismas.

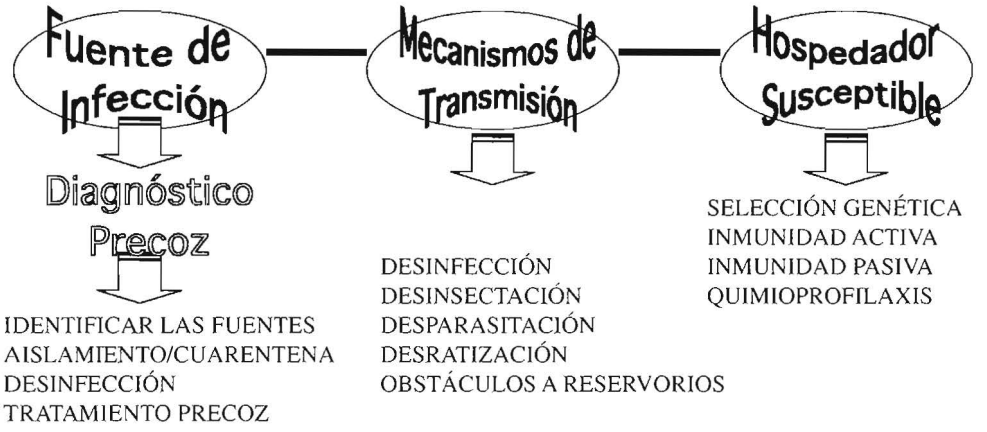


Figura 8. Posibilidades de actuación en medicina preventiva
Figure 8. Possibilities of performance in preventive medicine

Genotipo y fenotipo en la presentación de enfermedad; algunos ejemplos

En el ámbito de las enfermedades, tanto infecciosas como no infecciosas, las diferencias genéticas con respecto a la presentación de las mismas, puede heredarse de 3 formas diferentes:

• *Ligado al sexo-* se produce cuando el fragmento de DNA que es responsable de la enfermedad, se localiza en uno de los cromosomas, X o Y. Ejemplo de esta enfermedad es la *hemofilia canina* A y B, que está asociada al cromosoma X, heredándose de forma recesiva y predominando su presentación en los machos.

• *Limitada por el sexo-* se produce cuando el DNA responsable del proceso no se encuentra en los cromosomas sexuales pero la enfermedad solo se manifiesta en un sexo. Ejemplo es la *criptorquidia canina.*

• *Influida por el sexo-* en este caso la expresión de un carácter genético es menor en un sexo que en el otro, razón que hace que exista un mayor número de casos en ese sexo. Ejemplo son los *melanomas* o *fibromas faríngeos* en perro.

Cuando las enfermedades están influidas por el sexo se debe considerar el papel genético en su presentación, ya que en su gran mayoría esas enfermedades se deben a diferencias anatómicas y fisiológicas entre los sexos, diferencias que vienen codificadas genéticamente. Así, enfermedades como la *fiebre vitularia*, la *mamitis*, la *metritis* o el *cáncer de glandulas mamarias* son claras evidencias de ello.

Lo mismo que ocurre con el sexo podría decirse de la raza, ya que las diferencias en la información genética entre razas, pueden ser elementos condicionantes de la aparición de una determinada enfermedad, tanto en el caso de enfermedades no infecciosas como infecciosas. Algunos ejemplos del primer tipo de enfermedades son el *osteosarcoma* en la raza canina gran danés o los *tumores* de piel en la raza boxer. Ejemplo de enfermedad infecciosa sería el *Scrapie* ovino, variable en función del papel del gen PrP en las diferentes razas.

En algunas ocasiones, existen enfermedades que parecen ligadas a la herencia genética pero que realmente no son así, sino que son la consecuencia directa de la influencia del medio externo o del entorno en que se realiza la producción de esos animales. Un ejemplo claro es la mayor *mortalidad* entre los *machos bovinos de razas lecheras*, en los que si bien parece que esa mayor mortalidad está ligada al sexo de forma genética, realmente es una consecuencia del manejo, ya que a los machos de estas especies de producción lechera no se les presta la atención que se presta a las hembras, al ser este el grupo productivo, son estas las más cuidadas.

A pesar del papel claro en muchas ocasiones del componente genético o del componente ambiental, cada vez parece más evidente que son muy pocas las enfermedades determinadas solo por uno o por el otro, siendo lo más frecuente que la constitución final de un ser vivo, y por tanto la susceptibilidad a las enfermedades, sea consecuencia de la selección realizada por el medio externo sobre la información genética que ha recibido de sus progenitores, de manera que la interacción entre medio externo y genotipo es permanente. Ejemplos claros de esta situación son la *mamitis bovina*, en la que existe predisposición genética en algunas razas pero que acaban siendo determinadas por la influencia del manejo de los animales.

La información genética no solo codificará la susceptibilidad a una enfermedad, ya que en determinadas ocasiones, lo que determina es la resistencia a esas enfermedades, hecho que resulta muy útil para trabajar en la prevención de las mismas mediante la selección genética. Así, la *rinitis atrófica*, enfermedad con un importante componente hereditario en algunos casos, puede evitarse mediante la selección de los machos y hembras reproductores.

También la existencia de inmunidad innata (no específica de una enfermedad) es, en la mayoría de los casos, de origen genético, determinando en esas situaciones la resistencia natural a las enfermedades. Ejemplo de esta situación es la resistencia del conejo europeo en Australia a la *mixomatosis*. No obstante, también en la presentación de esta inmunidad innata existirá una mayor o menor influencia de condiciones ambientales, manejo, clima, etc, que hacen que la expresión de esa respuesta defensiva sea mayor o menor.

En conclusión, aunque en muchas enfermedades la susceptibilidad o la resistencia a las mismas, tienen un componente genético importante, será la expresión de este en relación con el medio externo, el que determine que finalmente los hospedadores sean más sensibles o resistentes s la enfermedad.

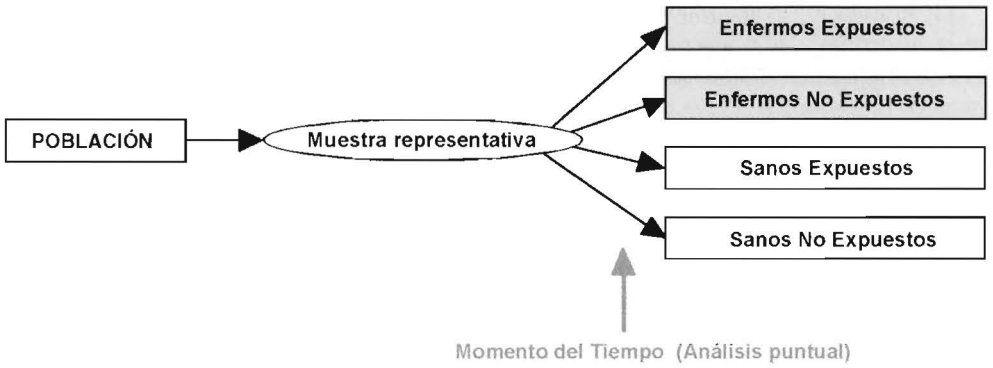
Estudios y modelos epidemiológicos; método de identificación de riesgo de enfermedad

El carácter multifactorial de la mayoría de las enfermedades actuales hace necesario disponer de algunas herramientas que permitan la identificación de cuales son esos factores que condicionan la presentación de una enfermedad y además determinar el papel que desempeñan en la misma (como la incrementan o como la disminuyen en caso de que su papel sea la protección). La obtención de esa información permitirá diseñar un modelo teórico de enfermedad que la desglosará en sus componentes (factores), tanto los propios del agente como los dependientes del hospedador o del medio.

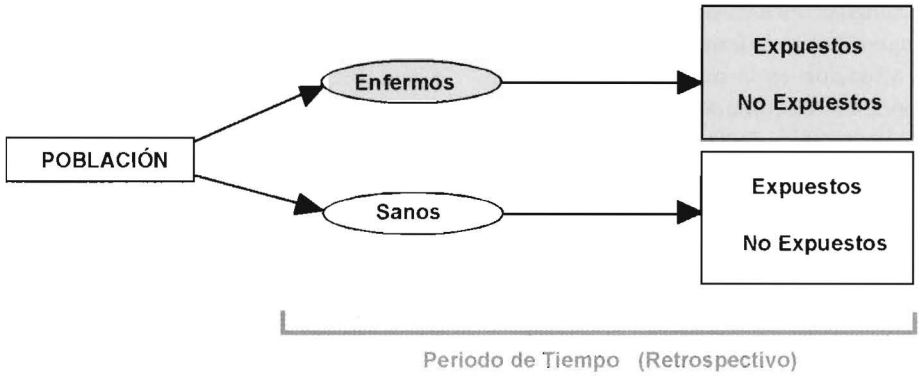
La epidemiología cuantitativa aporta la principal de esas herramientas, los *estudios epidemiológicos*, ya sean experimentales (realizados generalmente bajo condiciones de laboratorio) o de tipo observacional (realizados en condiciones naturales de campo), siendo estos últimos los más utilizados.

La realización de un estudio observacional permite determinar "el riesgo de presentar enfermedad que supone la exposición a un factor". Para ello se hace necesario ver la distribución que existe en la población, o en una muestra representativa de la misma, de la enfermedad y de la exposición a cada factor en estudio.

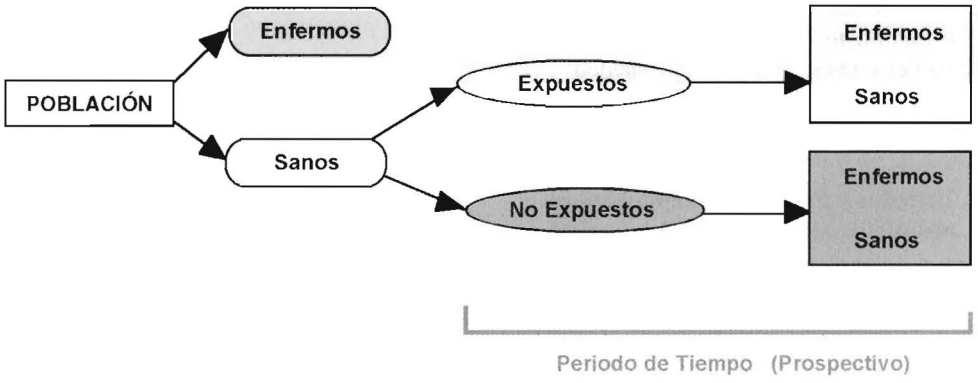
En función de la intervención del tiempo se definen tres tipos de estudios epidemiológicos observacionales, "estudios transversales o de prevalencia" realizados con información de la presencia o no de enfermedad y de la exposición o no al factor obtenida en un momento del tiempo, "estudios longitudinales retrospectivos o de caso control", realizados con información obtenida a lo largo de un periodo de tiempo y analizando, a partir del dato de enfermedad la exposición o no al factor en el pasado, y "estudios longitudinales prospectivos o de cohorte", realizados igualmente con información obtenida en un periodo de tiempo estudiando el desarrollo de la enfermedad en el futuro a partir de la exposición presente al factor, figura 9.



Esquema de la organización de un estudio observacional de tipo transversal



Esquema de la organización de un estudio observacional de caso-control



Esquema de la organización de un estudio observacional de cohorte

Figura 9. Diseño de los diferentes tipos de estudio epidemiológico observacional
Figure 9. Design of the different types of observational epidemiological studies

En cualquiera de los tres tipos de estudios observacionales, la información obtenida respecto a la exposición o no al factor y la presencia o ausencia de enfermedad, dividirá la población (o muestra de esta) en cuatro grupos:

Animales expuestos al determinante

		SI	NO	
Animales con la enfermedad	SI	a	b	a + b
	NO	c	d	c + d
		a + c	b + d	N = a + b + c + d

La relación entre esos cuatro grupos de población se determina mediante los parámetros Razón de Prevalencias (en estudios transversales), Riesgo Relativo (en estudios de cohorte) y Odds Ratio (en estudios de caso control). Su valor equivale a:

Razón de Prevalencias (RP) se calcula como la razón entre la prevalencia en los expuestos y la prevalencia en los no expuestos.

$$RP = \frac{\text{P expuestos}}{\text{P no expuestos}} = \frac{\frac{a}{a+c}}{\frac{b}{b+d}}$$

Riesgo Relativo (RR) que equivale a la razón entre la incidencia en los expuestos y la incidencia en los no expuestos.

$$RR = \frac{I \text{ expuestos}}{I \text{ no expuestos}} = \frac{\frac{a}{a+c}}{\frac{b}{b+d}}$$

Odds Ratio (OR), su valor se obtienen aplicando la fórmula:

$$OR = \frac{a/c}{b/d} = \frac{a \cdot d}{b \cdot c}$$

La interpretación de la RP, el RR y el OR es la siguiente:

Valores de "1" indican que no existe asociación mensurable entre la exposición al determinante y el estado de enfermedad. Valores diferentes a "1" indican que el determinante tiene una influencia mensurable en la presentación de la enfermedad. Si son mayores de 1 indica que existe un incremento del riesgo de presentación de la enfermedad entre los expuestos al determinante, en ese caso el determinante se denomina *factor de riesgo*. Valores inferiores a 1 indican un descenso del riesgo de enfermedad entre los expuestos, en este caso el determinante se denomina *factor de protección*.

Por tanto, el RR, OR o RP son una "medida de riesgo de enfermedad que supone la exposición a un factor. Evidentemente, si el objetivo buscado era reducir la presencia de

enfermedad mediante la selección genética (en nuestro caso), el estudio epidemiológica deberá demostrar que ese factor, selección genética, actúa como elemento de protección.

Una vez identificado el factor "selección genética" como elemento de protección, será necesario explicarse la evolución de la enfermedad cuando dicho factor está presente, para ello se recurrirá a introducir el factor en un modelo teórico de la enfermedad. Este fenómeno es particularmente importante en enfermedades infecciosas y parasitarias en las que para que una enfermedad adquiera el carácter epidémico no basta con que estén presentes las causas y factores asociados, puesto que la existencia de un nivel de población susceptible resulta clave, tal y como queda definido en el *teorema del umbral mínimo o listón de Kendall*, que dice que para que una enfermedad infecciosa se propague y adquiera el carácter de epidémica es necesario un "número mínimo de población susceptible" ya que en caso contrario la enfermedad tiende a extinguirse.

Un ejemplo claro de este fenómeno y por tanto del papel que una correcta selección genética podría jugar en la evolución de las enfermedades lo representa el modelo de Reedfrost (verlo en el programa informático WINEPISCOPE).

Bibliografía

LILIENFELD A.M., LILIENFELD D.E., 1987. Fundamentos de Epidemiología. Ed: Addison-Wesley Iberoamericana. México.

MARTIN S.W., MEEK A.H., WILLEMBERG P., 1987. Veterinary epidemiology: principles and methods. Iowa state. Univ. Press Amer. EE.UU.

NOORDHUIZEN J.P., FRANKENA J.P.T.M., VAN DER HOOFD C.M., GRAAT E.A.M., 1999. Application of Quantitative Methods in Veterinary Epidemiology. Ed: Wageningen Pers. Wageningen.

ORTEGA C., GRAAT L., 1994. Principles and methods of sampling in animal disease surveys. In: Proc. Models and Quantitative Methods in Veterinary Epidemiology. C.I.H.E.A.M.-I.A.M.Z. Zaragoza.

ORTEGA C., DE BLAS I., FRANKENA K., NOORDHUIZEN J.P.T.M., 1996. WINEPISCOPE 1.0.: su aplicación en investigaciones epidemiológicas de tipo cuantitativo. Proceedings of the XIV Reunión Científica de la SEE. Zaragoza.

ROTHMAN K.J., 1987. Epidemiología Moderna. Ed: Díaz de Santos, S.A. Madrid.

THRUSFIELD M., 1990. Epidemiología Veterinaria. Ed: Acribia. Zaragoza.

THRUSFIELD M., FRANKENA K., 1994. Observational studies I, basic design, types, measures. In: Proc. Models and Quantitative Methods in Veterinary Epidemiology. C.I.H.E.A.M.-I.A.M.Z. Zaragoza.

THRUSFIELD M., 1995. Veterinary Epidemiology. Ed: Blackwell Science. Edinburg.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2**, 233-238

EXPRESIÓN DE LA HIPERTROFIA MUSCULAR Y POLIMORFISMO DEL GEN DE LA MIOSTATINA EN RAZAS BOVINAS DE PRODUCCIÓN CÁRNICA

M.E. Miranda*, M.Y. Boscher, J. Cañón*, F. Ménissier***, M. Vallejo*, S. Dunner***

* Laboratorio de Genética Molecular, Dpto. Producción Animal, Facultad de Veterinaria, UCM

** G.I.E., Labogena, Domaine de Vilvert, 78352 Jouy-en-Josas Cedex, France

*** INRA, Station de Génétique Quantitative et Appliquée, 78352 Jouy-en-Josas Cedex, France

Introducción

El síndrome de la hipertrofia muscular (HM) es un fenómeno conocido desde hace largo tiempo que aparece en varias razas bovinas europeas. Su interés radica en el extremo desarrollo muscular mostrado por los animales, que por ello reciben el nombre de "culones". Se han descrito una serie de mutaciones responsables de la inactivación del gen de la *miostatina* como la causa genética de este carácter (GROBET *et al.*, 1998), así como otros polimorfismos que han permitido la definición de los distintos haplotipos presentes (MIRANDA *et al.*, 2000; MIRANDA *et al.*, 2001). Utilizando la técnica OLA (*Oligonucleotide Ligation Assay*), se genotiparon animales pertenecientes a diferentes poblaciones bovinas de producción cárnica a los que se evaluó externamente, con el fin de determinar la asociación entre la presencia de los haplotipos del gen de la miostatina y la expresión de la HM.

Material y métodos

Material Biológico

Se muestrearon aleatoriamente 2041 terneros pertenecientes a ocho razas bovinas cárnicas europeas, de las cuales tres son españolas: *Asturiana de los Valles* (AV), *Pirenaica* (PI) y *Rubia Gallega* (RG) y cinco francesas: *Bazadaise* (BZ), *Charolaise* (CH), *Gasconne* (GA), *Maine-Anjou* (MA) y *Parthenaise* (PA). Todos ellos fueron calificados fenotípicamente (cuadro 1) asignando una puntuación entre 0 (ausencia de expresión) y 2 (expresión extrema del carácter) para catorce caracteres fenotípicos externos relacionados con la expresión de la HM. La suma de los mismos dio lugar a tres puntuaciones parciales: aspecto General (AG), caracteres más Expresivos (CE) y caracteres Asociados (CA). A su vez la suma de éstas permitió obtener una Puntuación Cular Total (PCT).

Cuadro 1. Caracteres evaluados en la "Puntuación Cular"

Clasificación del Animal (CLA)	0-2
Expresión de los Músculos (EM)	0-2
Ancho de Espalda (AE)	0-2
Aspecto General (AG)	**0-6**
Abultamiento de Hombros (AH)	0-2
Hipertrofia del Gran Dorsal (HGD)	0-2
Hipertrofia del Lomo (HL)	0-2
Abultamiento del Muslo (AM)	0-2
Inclinación de la Grupa (IG)	0-2
Surcos Intermusculares (SI)	0-2
Caracteres más Expresivos (CE)	**0-12**
Finura de Hueso (FH)	0-2
Defectos de Aplomos (DA)	0-2
Nacimiento de la Cola (NC)	0-2
Retracción del Vientre (RV)	0-2
Finura de Piel (FP)	0-2
Caracteres Asociados (CA)	**0-10**
Puntuación Cular Total (PCT)	**0-28**

Genotipado

Se optimizó un único análisis OLA para la detección de las nueve mutaciones que modifican la secuencia aminoacídica de la miostatina: seis de ellas inactivantes (nt821, Q204X, E226X, C313Y, E291X y nt419) y tres con cambio de sentido (S105C y D182N), siendo la tercera de tipo sinónimo (F94L). El estudio previo realizado de los haplotipos del gen de la miostatina (Miranda *et al.*, 2001) permite afirmar que el diagnóstico de cada una de estas mutaciones define un haplotipo distinto. Tan solo la ausencia de mutaciones no corresponde a un único haplotipo (Miranda *et al.*, 2001), por lo que es representada como 0.

Análisis Estadístico

Se calcularon las frecuencias de los distintos genotipos presentes dentro de las poblaciones estudiadas. Con el fin de estudiar el efecto del genotipo sobre la expresión de la HM se llevó a cabo un Análisis de Varianza y un test de significación de DUNCAN entre las puntuaciones medias de los caracteres fenotípicos, utilizando el programa GLM de SAS (SAS, Inst. Inc. Cary, NC). También se efectuó un Análisis de Correspondencia (CORRESP, SAS Inst. Inc. Cary, NC) entre los genotipos y las diferentes puntuaciones (0, 0,5, 1,0, 1,5 y 2,0) de cada uno de los catorce caracteres fenotípicos considerados. Asimismo los datos fueron analizados mediante un Análisis Dis-

criminante (DISCRIM, SAS Inst. Inc. Cary, NC) ejecutando el procedimiento STEPWISE de selección de variables para ser incluidas en el modelo.

Resultados

Frecuencias Genotípicas

En este estudio se han detectado 6 de las mutaciones diagnosticadas, dando lugar a los genotipos que aparecen en la cuadro 2 con sus respectivas frecuencias porcentuales. La mutación inactivante nt821 es la más difundida entre las poblaciones bovinas, y a su vez, la mutación F94L es hallada en gran número de poblaciones. En algunas razas se detecta una sorprendente variabilidad genotípica, como en PA o en PI, que muestran la influencia de otras poblaciones. De igual modo, la presencia de genotipos con dos mutaciones inactivantes es superior a la esperada en las poblaciones PA, MA o RG.

Análisis de Varianza

En la mayoría de las razas la PCT es significativamente mayor para los genotipos doblemente inactivantes (cuadro 3). Sin embargo, esto no ocurre en PA, PI y RG, probablemente debido a una deficiente calificación fenotípica. Se aprecian otras particularidades entre las razas, ya que el genotipo carente de mutaciones (0) alcanza puntuaciones fenotípicas diferentes en las distintas razas. La presencia de la mutación F94L junto a una mutación inactivante (nt821 o Q204X) acentúa el efecto fenotípico de ésta última, no distinguiéndose del que muestra cualquiera de estas cuando se halla en homocigosis.

Análisis de Correspondencia

En la figura 1 se representan las distintas variables frente a los ejes 1 y 2 que contribuyen con el 70% y el 17 % de la inercia respectivamente. En esta representación gráfica se observa la relación entre las puntuaciones fenotípicas más altas y los genotipos doblemente inactivantes o que portan en heterocigosis la mutación F94L junto a una mutación inactivante. A su vez, dentro de los genotipos doblemente inactivantes se aprecia una diferencia en las puntuaciones otorgadas, pero con los datos existentes no se puede asegurar que se deba al efecto distinto de los haplotipos ya que en general no se dan simultáneamente en una misma población.

Análisis Discriminante

La puntuación fenotípica discrimina en mayor medida los genotipos presentes del gen de la miostatina en las razas CH y GA (como indica el bajo valor de λ Wilks que presentan) (cuadro 4). Es destacable que los caracteres que presentan mayor capacidad discriminativa difieren entre razas, ya que tanto en AV como en CH y MA es la puntuación CLA la que alcanza mayor valor F, mientras que en GA es la denominada RV.

Discusión

Estos resultados además de confirmar el patrón de herencia parcialmente recesivo del "carácter culón" han permitido observar como la presencia de la mutación F94L en heterocigosis junto a una mutación inactivante, logra una expresión de la HM similar a la de los genotipos que portan dos muta-

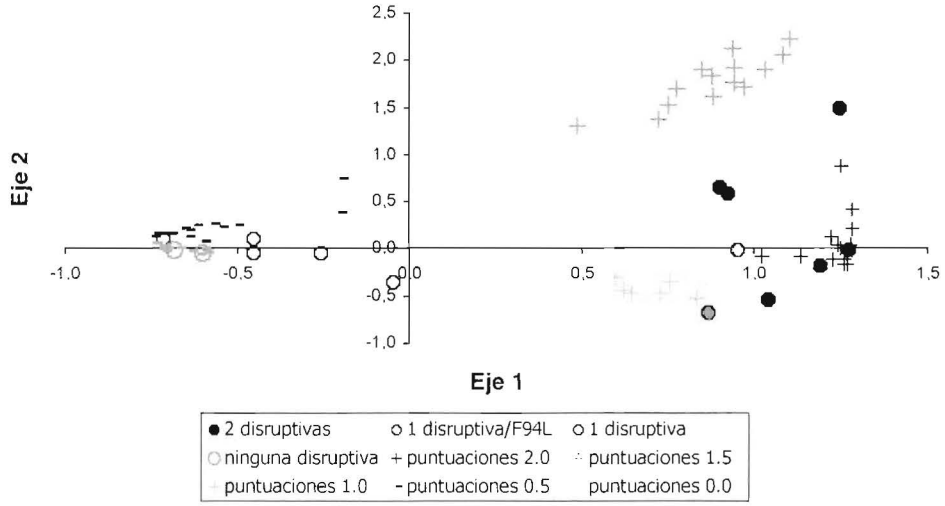


Figura 1. Representación gráfica del análisis de correspondencia entre genotipos y categorías fenotípicas. Tal y como figura en la leyenda del gráfico, los puntos representan los genotipos, diferenciados por el número de mutaciones disruptivas que portan. Los guiones representan las setenta combinaciones fenotípicas diferenciadas para las cinco puntuaciones posibles

Cuadro 2. Frecuencias genotípicas dentro de las 8 poblaciones estudiadas. Los genotipos se distinguen por el número de mutaciones disruptivas que portan (gris oscuro: dos; gris medio: una junto a la mutación F94L; gris claro: una; blanco: ninguna)

Genotipos	AV	BZ	CH	GA	MA	PA	PI	RG
nt821-nt821	74,0					77,1	1,4	28,7
Q204X-Q204X			33,3					
E226X-E226X					17,4	0,4		
C313Y-C313Y				10,4				
nt821-E226X						10,7		
Q204X-nt821			0,5			1,8		
nt419-E226X					9,8			
nt821-nt419						4,4	0,2	
nt419-F94L							2	
nt821-F94L	0,4					1,5	22,1	0,9
Q204X-F94L			3,3					
nt419-0					8,6		0,7	
nt821-0	23,5					3,0	5,5	61,4
Q204X-0			14,3					
E226X-0					37,3	0,4		
C313Y-0				59,2				
F94L-F94L						0,7	21,4	
F94L-0			5,7				33,2	0,9
0-0	2,1	100	42,9	30,4	26,9		13,5	8,1
N.° total	238	47	210	299	327	271	416	233

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza realizado para la PCT dentro de cada una de las 8 razas. Los genotipos se distinguen por el número de mutaciones disruptivas que portan (gris oscuro: dos; gris medio: una junto a la mutación F94L; gris claro: una; blanco: ninguna).

Genotipos	AV	BZ	CH	GA	MA	PA	PI	RG
nt821-nt821	19,1[a]					8,58[a]	4,58[bc]	14,8[a]
Q204X-Q204X			23,2[a]					
E226X-E226X					18,6[a]	8,50[a]		
C313Y-C313Y				23,0[a]				
nt821-E226X						8,47[a]		
Q204X-nt821			22,0[a]			10,9[a]		
nt419-E226X					18,8[a]			
nt821-nt419						6,50[a]	0,5[c]	
nt419-F94L							7,69[ba]	
nt821-F94L	16,0[ab]					0,88[a]	6,72[bac]	14,0[a]
Q204X-F94L			18,4[a]					
nt419-0					4,48[b]		12,2[a]	
nt821-0	7,5[c]					4,38[a]	6,80[bac]	13,9[a]
Q204X-0			6,50[b]					
E226X-0					4,15[b]	9,00[a]		
C313Y-0				2,0[b]				
F94L-F94L						3,50[a]	4,90[bc]	
F94L-0			2,50[b]				4,37[bc]	12,5[a]
0-0	10,2[bc]	13,0	1,73[b]	0,57[c]	2,69[b]		6,08[bac]	14,1[a]
N.° total	16,18	13,03	10,27	3,76	7,74	8,25	5,48	14,14

ciones inactivantes. Este efecto fenotípico desconocido hasta el momento puede ser la causa subyacente a la difusión de la mutación F94L en numerosas razas, entre ellas algunas en las que los genotipos doblemente inactivantes son muy poco frecuentes como la Pirenaica. Además estos resultados estimulan la investigación del posible efecto fenotípico de las nuevas mutaciones recientemente descritas S105C y D182N (MIRANDA *et al.*, 2001).

La expresión de la HM varía con la raza, como evidencia el hecho de que los individuos genotípicamente normales reciben puntuaciones muy dispares, unido a las diferencias mostradas en la capacidad discriminante de los caracteres fenotípicos entre las razas. Este estudio ha reflejado la desigualdad existente entre las puntuaciones asignadas a las diversas mutaciones inactivantes. Debido a la falta de datos fenotípicos fiables de distintas mutaciones presentes en la misma población no es posible asegurar que estas diferencias se deban al efecto desigual de las mutaciones o a la acción de otros factores propios de la raza.

Cuadro 4. Resultados del análisis discriminante. Se muestra la potencia discriminativa (VALOR F) de las distintas variables dentro de razas, así como la potencia del modelo construido con las variables incluidas en cada PASO (λ de Wilks).

Razas	Paso	Variables	Valor F	λ de Wilks	PR > F
AV	1	CLA	59,81	0,5660	<,0001
	2	FH	6,61	0,5216	0,0003
	3	AE	5,92	0,4845	0,0007
	4	IG	3,11	0,4657	0,027
	5	HL	1,96	0,4541	0,121
CH	1	CLA	177,03	0,1873	<,0001
	2	IG	8,91	0,1536	<,0001
	3	NC	4,45	0,1383	0,0007
	4	AM	3,74	0,1266	0,0029
	5	FH	3,19	0,1172	0,0085
	6	EM	2,42	0,1105	0,0369
	7	HGD	2,91	0,1029	0,0148
	8	AE	2,19	0,0975	0,0573
	9	FP	2,4	0,0919	0,0384
GA	1	RV	435,68	0,2536	<,0001
	2	AM	23,55	0,2187	<,0001
	3	HL	11,15	0,2032	<,0001
	4	FH	6,15	0,1951	0,0024
	5	FP	7,36	0,1857	0,0008
	6	IG	4	0,1807	0,0194
	7	DA	5,26	0,1744	0,0057
	8	NC	3,2	0,1706	0,0424
	9	AE	2,08	0,1682	0,127
	10	EM	2,59	0,1652	0,0768
MA	1	CLA	123,65	0,3943	<,0001
	2	IG	8,22	0,3577	<,0001
	3	EM	5,55	0,3345	0,0002
	4	FH	2,28	0,3252	0,0602
	5	EA	2,6	0,3149	0,0364

Bibliografía

GROBET L., PONCELET D., ROYO L.J., BROUWERS B., PIROTTIN D., MICHAUX C., MÉNNISSIER F., ZANOTTI M., DUNNER S., GEORGES M, 1998. Molecular definition of an allelic series of mutations disrupting the myostatin function and causing double-muscling in cattle. Mammalian Genome 9: 210-213.

MIRANDA M.E., DUNNER S., AMIGUES Y., BOSHER M.-Y., BOURGEOIS-BOSSAERT F., CAÑÓN J., CORTÉS O., GEORGES M., GROBET L., HANSET R., MAUGRION P., MÉNISSIER F., 2000. SNP screening at the myostatin gene level in European cattle breeds. 27th International Conference on Animal Genetics (ISAG), p. 93.

MIRANDA ME., CAÑÓN J., MÉNISSIER F., HANSET R., WILLIAMS J., DUNNER S., 2001. Identificación de los distintos haplotipos del gen de la miostatina en razas bovinas Europeas. IX Jornadas sobre Producción Animal (ITEA). Nº 22, p. 39.

ITEA (2002), Vol. 98A N.° 2, 239-242

GENERACIÓN EN CÉLULAS *ES* MURINAS DE UN ALELO DEL GEN DE LA MIOSTATINA SUSCEPTIBLE DE ACTIVACIÓN BAJO LA DEPENDENCIA DE CRE

C. Fernández*, M. Georges, L. Grobet**, J. Cañón*, S. Dunner***

* Laboratorio de Genética Molecular, Dpto. Producción animal, Facultad de Veterinaria, UCM, 28040 Madrid, España

** Department of Genetics, Faculty of Veterinary Medicine, University of Liège (B43), 20 Bd de Colonster, 4000-Liège, Belgium

Introducción

La miostatina es un miembro de los TGFβ implicada en la regulación negativa del desarrollo del músculo esquelético en distintas especies; así, en los individuos, tanto de la especie bovina como murina, que no poseen una miostatina funcional, se ha observado un patente aumento de la masa muscular (McPherron *et al.*, 1997; Grobet *et al.*, 1997). Esta proteína se expresa en ratón desde el día 10 *p.c.* en los somitos y continúa haciéndolo en el estado adulto en todos los músculos esqueléticos (McPherron *et al.*, 1997). Aunque la expresión es mayor durante el período fetal (Ji *et al.*, 1998; Bass *et al.*, 1999) la diferencia de expresión en casos de desgaste o de regeneración muscular en el adulto hace pensar en un papel regulador tras el nacimiento (González-Cadavid *et al.*,1998; Sharma *et al.*, 2001).

Nuestro objetivo es el de aportar algún conocimiento sobre el patrón temporal de acción de la miostatina utilizando una estrategia de activación condicional del gen de la miostatina basado en el sistema Cre-*loxP* (Abremski y Hoess, 1984). Por ello, se ha creado un alelo en el que el tercer exón de la miostatina está invertido (y por lo tanto el gen estará inactivo) pero permanece susceptible de inversión para volver a su orientación correcta (en la que el gen recupera su actividad).

La construcción plasmídica utilizada ha sido previamente testada para evaluar su capacidad de efectuar la recombinación Cre-dependiente con los *lox* mutados utilizados, y de permanecer tras ello bloqueada.

Tras ello, y como paso preliminar a la creación de un ratón modelo del estudio deseado, se ha procedido a la generación de una línea estable de células madre embrionarias (*ES*) portadoras del alelo mencionado del gen de la miostatina susceptible de activación bajo la dependencia de la Cre-recombinasa.

Materiales y métodos

Para la creación de un alelo activable condicionalmente (estrategia "OFF to ON") se ha recurrido a la propiedad que posee la

recombinasa Cre de recombinación entre dos regiones *loxP*. Con el fin de evitar la introducción de elementos extraños entre el promotor y la zona codificante que pudieran alterar la funcionalidad de la expresión, se ha optado por colocar dos sitios *lox* en posición inversa uno con respecto al otro flanqueando el tercer exón del gen que está dispuesto a su vez en orientación inversa, lo que acarrea la inversión de la zona flanqueada cuando actúa Cre. Sin embargo, esta inversión es reversible y la posibilidad de recombinación (fenómeno "flip-flop") persiste tanto tiempo como la Cre esté presente, lo que generaría una cantidad equivalente de las dos formas recombinadas. Para favorecer la producción de la orientación "ON" se han utilizado *loxP* mutados (ALBERT *et al.*, 1995), bien en el extremo izquierdo de la secuencia del *loxP* (*lox66*), bien en su extremo derecho (*lox71*); la reacción entre ambos tipos de *lox* provoca la aparición de un *lox* doble mutante, por el que la Cre presenta tan baja afinidad que la nueva orientación se encuentra prácticamente bloqueada (fig.1).

La construcción representada en la figura 1 ha sido clonada en una versión del plásmido pNEB193 (Biolabs) mediante técnicas de digestión y ligado habituales (fig. 2A), y dada su capacidad de revertir de un alelo inactivo en uno activo, se la ha denominado "OFF to ON". A la versión recombinada de "OFF to ON", que sería el alelo activo y ya supuestamente bloqueado, se la ha definido como "ON bloqueada" (fig.1).

Para evaluar la eficacia de recombinación de este plásmido se transformó una cepa de *E.coli*, MM294 (BUCHHOLZ *et al.*, 1996), en cuyo genoma lleva incorporado el gen de Cre, con la construcción plasmídica "OFF to ON". Paralelamente esta cepa se transformó con un plásmido control "ON to OFF" (plásmido análogo al evaluado pero en el que el tercer exón aparece en orientación "ON" y flanqueado por dos *loxP* convencionales –cuya eficacia de recombinación está ampliamente documentada– en orientación directa, por lo que su recombinación originará la deleción del exón) (Fig. 2B). Además se llevó a cabo una tercera transformación con el propio plásmido "OFF to ON" una vez en posición "ON" bloqueada. Los clones resultantes se analizaron por digestión de los plásmidos correspondientes con EcoRI, que aportaba un patrón de bandas distinto según hubiera o no recombinación, y los productos de digestión se resolvieron en un gel de agarosa. La figura 3 muestra el patrón de bandas de varios clones en los que hay recombinación (inversión) frente al control de la derecha en el que no se produce dicha inversión.

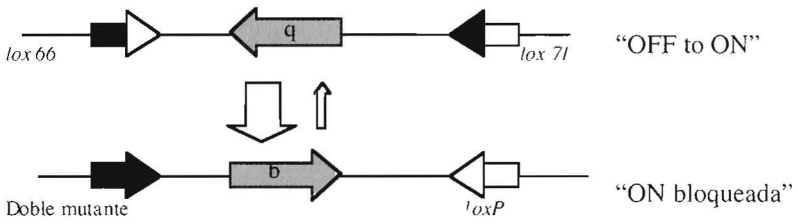


Figura 1. Esquema de la reacción de Cre entre dos *lox* invertidos. Al ser *lox* mutantes el equilibrio de la reacción se desplaza hacia la conformación del doble mutante

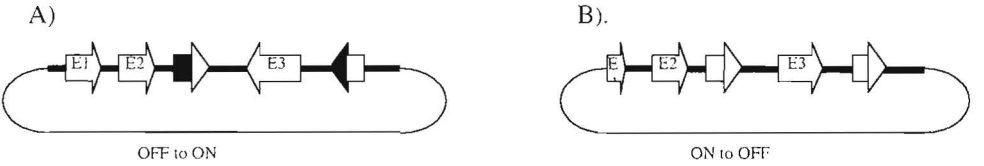


Figura 2. Representación esquemática de la construcción evaluada (A) y del control utilizado (B)

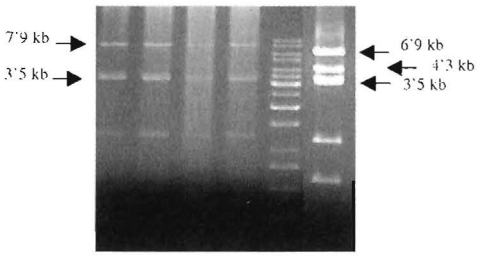


Figura 3. Patrón diferencial de bandas de varios clones de la construcción "OFF to ON" transformados en la cepa MM294-Cre. A la derecha, como control, el mismo plásmido transformado en AG-1 (sin Cre)

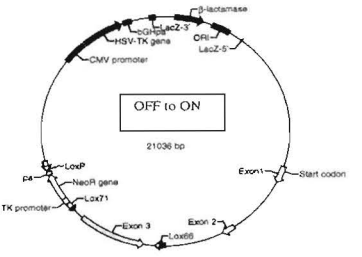


Figura 4. Representación esquemática del plásmido final utilizado para electroporación en células ES

Posteriormente, una versión previamente linearizada de la construcción "OFF to ON", a la que se adicionó una serie de genes de selección (fig. 4), se introdujo por electroporación en una línea R1 de células madre embrionarias de ratón (A. Nagy, Mount Sinai Hospital, Toronto). De las 10^7 células electroporadas se obtuvo un total de 7 clones recombinantes homólogos, que fueron discriminados mediante PCR y Southern blot. Tras ello, el gen Neo fue eliminado con ayuda de un plásmido pMC-Cre.

Resultados y discusión

Tras la transformación de las tres construcciones en MM294-Cre se obtuvieron las recombinaciones que se muestran en el cuadro 1.

Los resultados de los experimentos *in vitro* muestran que la construcción "OFF to ON" con sus *lox* mutantes tiene una capacidad de recombinación análoga a la de una construcción flanqueada de *loxP* convencionales. Es más, la capacidad de permanecer

Cuadro 1. Número de clones resultantes para las distintas construcciones evaluadas en MM294-Cre

	Recombinantes	No recombinantes	Totales
"OFF to ON"	30	0	30
"ON to OFF"	24	0	24
"ON bloqueada"	1	38	39

bloqueada aún en presencia de Cre es prácticamente total (38/39 clones).

Por otro lado, los sucesivos cultivos de las construcciones durante su generación y amplificación en ausencia de Cre no han hecho aparecer un solo clon recombinante espontáneamente, lo que demuestra que la recombinación entre dos *lox* (*loxP* o *lox* mutantes) es específica y dependiente de la recombinasa.

Esta estrategia pretende sustituir a otra, más comúnmente utilizada, y que consiste en la introducción de una secuencia "STOP" flanqueada de dos *loxP* entre el promotor y el codon inicio. Con la estrategia "OFF to ON" utilizada se consigue el mismo objetivo de activación condicional e inducible pero evitando el riesgo de introducir un elemento exógeno (un *loxP*) directamente en 5' del codon de inicio de la transcripción, lo que podría interferir con una expresión apropiada de la miostatina.

Todo ello hace de esta estrategia Cre-*lox* una candidata óptima para su utilización en el estudio de la expresión de la miostatina en un modelo animal.

Por ello, se ha establecido una línea de células ES portadoras del alelo "OFF to ON", que se prevé utilizar para la creación de ratones quimeras previa agregación de dichas células *ES* a mórulas embrionarias. El objetivo de este trabajo será el de estudiar el efecto de la activación del gen de la miostatina en diferentes momentos del desarrollo embrionario.

Agradecimientos

A D. Pirottin y a D. Poncelet por su inestimable ayuda en la realización del trabajo. Al Dr. Francis Stewart, por proporcionarnos la cepa MM294-Cre. Este trabajo has sido financiado por CICYT (AGF981087).

Bibliografía

ABREMSKI K., HOESS R., 1984. "Bacteriophage P1 site-specific recombination". J. Biol. Chem. 259: 1509-14.

ALBERT H., DALE E.C., LEE E., OW D.W., 1995. "Site-specific integration of DNA into wild-type and mutant lox sites placed in the plant genome". Plant J. 7: 649-659.

BASS J., OLDHAM J., SHARMA M., KAMBADUR R., 1999. "Growth factors controlling muscle development". Domestic Animal Endocrinology 17: 191-197.

BUCHHOLZ F., ANGRAND P.-O., STEWART A.F., 1996. "A simple assay to determine the functionability of Cre or FLP recombination targets in genomic manipulation constructs". Nucleic Acids Res. 15: 3118- 3119.

GONZÁLEZ-CADAVID N.F., TAYLOR W.E., YARASHESKI K., SINHA-HIKIM I., MA K., EZZAT S., SHEN R., LALANI R., ASA S., MAMITA M., NAIR G., ARVER S., BHASIN S., 1998. "Organization of the human myostatin gene expression in healthy men and HIV-infected men with muscle wasting". Proc. Natl. Acad. Sci. USA 95: 14938-14943.

GROBET L., ROYO L., PONCELET D., PIROTTIN D., BROUWERS B., RIQUET J., SCHOEBERLEIN A., DUNNER S., MÉNISSIER F., MASSABANDA J., FRIES R., HANSET R., GEORGES M., 1997. "A deletion in the bovine myostatine gene causes the double-muscled phenotype in cattle". Nat. Genet. 17: 71-74.

JI S., LOSINSKI R.L., CORNELIUS S.G., FRANK G.R., WILLIS G.M., GERRARD D.E., DEPREUX F.F., SPURLOCK M.E., 1998. "Myostatin expression in porcine tissues: tissue specificity and developmental and postnatal regulation". Am J Physiol. 275: R1265-73.

MCPHERRON A.C., LAWLER A.M., LEE S.J., 1997. "Regulation of skeletal muscle mass in mice by a new TGFβ superfamily member". Nature 387: 83-90.

SHARMA M., LANGLEY B., BASS J., KAMBADUR R., 2001. "Myostatin in muscle growth and repair". Exerc Sport Sci Rev. 4: 155-8.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 243-246

CAMBIOS EN LA REDISTRIBUCIÓN DE RECURSOS NUTRITIVOS DEBIDOS A LA SELECCIÓN POR TAMAÑO DE CAMADA

W.M. Rauw

Àrea de Producció Animal, Centre UdL-IRTA,
Alcalde Rovira Roure 177, 25198 Lleida, España

Introducción

Las cerdas son retiradas de la producción principalmente por problemas reproductivos, de aplomos o por bajo rendimiento durante la lactación. En particular, las causas reproductivas suponen más del 50% de las bajas después de la primera camada (DOURMAD *et al.*, 1994). Un anoestro prolongado después del destete está asociado frecuentemente a un desequilibrio metabólico, enfermedad o estrés (TEN NAPEL, 1996). Por otra parte, el tamaño de camada es el factor que más influye en el balance metabólico de las cerdas lactantes (ETTIENNE *et al.*, 1998).

La relación entre el aumento de prolificidad y la longitud del intervalo entre destete y cubrición fértil (THOLEN *et al.*, 1996) se puede explicar mediante la teoría de la redistribución de recursos nutritivos descrita por BEILHARZ *et al.* (1993). Esta teoría se puede resumir, brevemente, en que los recursos (ingesta alimenticia, reservas corporales) usados para cualquier proceso vital son fijos (total de recursos consumidos), mientras que la energía procedente de un alimento que se utiliza en un proceso no puede ser empleada en otro proceso. Dado que el total de recursos es limitado, cuando los recursos se necesitan para un proceso metabólico cualquiera, el resto de los procesos no puede disponer de ellos. Cuando se selecciona para niveles altos de producción, gran parte de los recursos se destinan al carácter seleccionado, dejando al animal incapaz de responder a otras necesidades, y aumentando así el riesgo de sufrir problemas inmunológicos, fisiológicos y de comportamiento (RAUW *et al.*, 1998). En concreto, durante la lactación, la cerda moviliza reservas corporales para mantener la producción de leche, y por tanto no puede mantener estas reservas para el próximo ciclo reproductivo (MULLAN y WILLIAMS, 1989).

La estimación de la ingesta alimenticia residual (IAR) se propone como una herramienta para valorar los patrones de distribución de recursos (LUITING *et al.*, 1997). La IAR es una estimación de la cantidad total de recursos disponibles al margen del mantenimiento y reproducción y, por lo tanto, sirve como una estimación de la cantidad total de recursos disponibles para abordar, por ejemplo, una situación de estrés inesperada.

El objetivo de este trabajo es investigar las modificaciones en la distribución de recursos en un proceso a largo plazo de selección para tamaño de camada en ratones.

Material y Métodos

Se han utilizado dos líneas de un experimento de selección desarrollado en Noruega (VANGEN, 1993): una línea seleccionada durante 104 generaciones para tamaño de camada (línea S) y una línea control (línea C). La línea seleccionada ha alcanzado la fase de meseta desde hace muchas generaciones. En la generación 104, el tamaño de camada tuvo una media de 10 en la línea C, y de 21 en la línea S. Se eligieron al azar 98 hembras de cada línea a las 3 semanas de vida (destete) y se alojaron individualmente. Las camadas se igualaron a 8 crías cada una. A las 10 semanas de vida, las hembras se alojaron con un macho durante 2 semanas para que se aparearan. Se obtuvieron 42 camadas de la línea C y 48 camadas de la línea S, que no fueron igualadas. Dos camadas de la línea C y una de la línea S murieron antes del destete. Se registró el peso individual y el alimento ingerido cada 3 días, desde la 3ª a la 6ª semana de vida (periodo de crecimiento), y desde la 6ª a la 10ª semana (periodo adulto). Durante la lactación también se registraron el peso y el alimento ingerido diariamente, tanto desde el parto al pico de lactación (0-2ª semana) como desde el pico de lactación al destete (2ª-3ª semanas). Además se controlaron todos los animales cada 5 días durante los 25 días siguientes después del destete (periodo post-destete). Además, el tamaño y el peso de la camada se registraron diariamente durante la lactación.

Se ajustó una curva de crecimiento (BRODY, 1945) a los datos individuales en relación con la edad, proporcionando estimas de peso individual adulto asintótico. Se ajustó también una función lineal a los datos de ingesta acumulada obteniendo estimadores de ingesta individual diaria adulta (IDA) (RAUW *et al.*, 2000a).

La ingesta alimenticia residual (IAR) fue estimada para "periodo de crecimiento", "periodo adulto" y "periodo post-destete" mediante regresión múltiple de la ingesta sobre peso metabólico y ganancia de peso (RAUW *et al.*, 2002). Se define, IAR, como la diferencia entre la cantidad de alimento consumido y el consumo predicho a partir de los requerimientos de mantenimiento y crecimiento por kg metabólico en hembras de la línea C. Durante la lactación, la IAR se estimó a partir de una regresión múltiple de ingesta alimenticia sobre peso metabólico materno, la ganancia de peso, el peso metabólico de las crías, la ganancia en peso de éstos, y el tamaño de camada. En este caso, la IAR es la diferencia entre la ingesta que se consume por una familia (hembra y camada) y el consumo predicho a partir de los requerimientos de crecimiento y mantenimiento de la hembra y su descendencia en la línea C.

Resultados y Discusión

La selección por tamaño de camada incrementó considerablemente tanto el peso corporal como la ingesta. El peso y el consumo de alimento adulto medios fueron en la línea C de 28,8 gr./día y de 4,7 gr/día, respectivamente, y de 38,7 gr/día y 6,1 gr/día en la línea S (RAUW *et al.*, 2002).

La figura 1 muestra la IAR promedio para las líneas C y S durante el "periodo de crecimiento" y el "periodo adulto", para las familias de las líneas C y S desde el parto al pico de lactación, y desde éste al destete, y para las hembras de ambas líneas en el periodo post-destete (RAUW *et al.*, 2002). La IAR durante el "periodo de crecimiento" no fue significativamente diferente entre líneas. En el "periodo adulto", las hembras de la

línea S tuvieron una IAR mayor que las hembras de la línea C ($p < 0,001$). Estos resultados muestran que las hembras adultas no reproductoras de la línea S tienen más recursos almacenados para responder a necesidades inesperadas.

Estos recursos pueden ser destinados para procesos con gran demanda como la gestación y la lactación. El patrón de distribución de recursos puede ser modificado considerablemente durante la lactación. La mayor inversión de recursos en la lactación, y en procesos relacionados con ésta, disminuye la IAR, tal y como se define en el estudio. La IAR desde el parto al pico de lactación es menor en la línea S que en la línea C ($p < 0,001$). Este resultado sugiere que las hembras de la línea S movilizan mas recursos en la lactación que las de la línea C (RAUW *et al.*, 1999). El IAR desde el pico de lactación al destete es todavía significativamente mas bajo en la línea S que en la línea C, aunque la diferencia se reduce ($p < 0,001$) (RAUW *et al.*, 1999). La IAR en el periodo post-destete fue considerablemente mayor en la línea S que en la C ($p < 0,001$), sugiriendo que las hembras de la línea S son capaces de restablecer la situación de déficit alimenticio después del destete.

Los resultados del presente trabajo sugieren que las hembras de la línea S dedican más recursos al mantenimiento de la descendencia que las hembras de la línea C, producen mas hijos a un mayor coste de su propio metabolismo. El porcentaje de recursos dedicados a la reproducción puede provocar que los animales sufran un mayor riesgo de padecer problemas fisiológicos e inmunológicos (RAUW *et al.*, 1998).

En este sentido, cabría señalar que, en una especie polítoca como es el porcino, las cerdas comerciales pueden sufrir un déficit de recursos mayor que los ratones, objeto de este estudio, a causa del incremento de la demanda de alimento para mantener tamaños de camada grandes, la ingesta reducida, y bajas reservas de grasa en el momento del parto debido a la selección por porcentaje

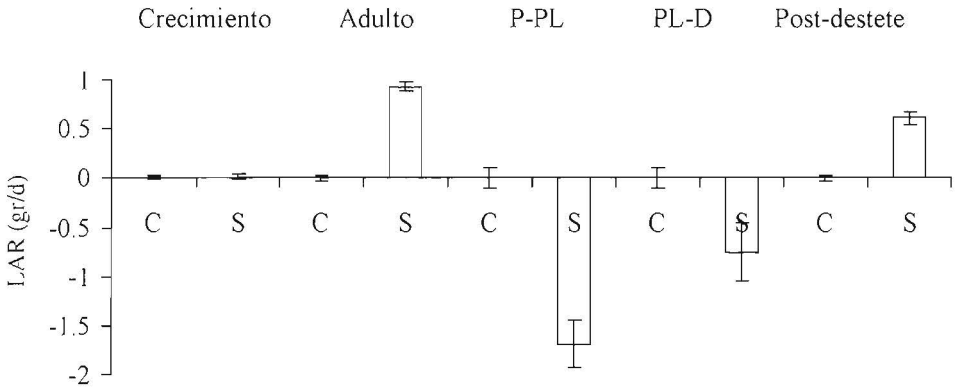


Figura 1. Promedio de la ingesta alimenticia residual (IAR, gr/día) en el "periodo de crecimiento", "periodo adulto", "desde el parto al pico de la lactación" (P-PL), "desde el pico de la lactación al destete" (PL-D) y "después del destete". C = línea control; S = línea seleccionada

de magro. Este fenómeno puede explicar el porqué las cerdas comerciales sufren frecuentes problemas reproductivos, que pueden estar relacionados con la excesiva movilización de reservas corporales, tales como un prolongado intervalo entre destete y cubrición fértil (TEN NAPEL, 1996). Es imposible, como quería el gitano del chiste, que el burro aprenda a no comer y se mantenga vivo.

Bibliografía

BEILHARZ R.G., LUXFORD B.G., WILKINSON J.L., 1993. Quantitative genetics and evolution: is our understanding of genetics suficient to explain evolution? J. Anim. Breed. Genet. 110: 161-170.

BRODY S., 1945. Bioenergetics and growth. Reinhold, New York.

DOURMAD J.Y., ETIENNE M., PRUNIER A., NOBLET J., 1994. The effect of energy and protein intake of sows on their longevity: a review. Livest. Prod. Scie. 40: 87-97.

ETIENNE M., DOURMAD J.Y., NOBLET J., 1998. In: Verstegen, M.W.A., Moughan, P.J., Schrama, J.W. (eds), The lactating sow, Wageningen Pers, pp. 285-299.

LUITING P., VANGEN O., RAUW W.M., KNAP P.W., BEILHARZ R.G., 1997. Physiological consequences of selection for growth. Proc. 48th Annual Meeting of the EAAP, Vienna, Austria.

MULLAN B.P., WILLIAMS I.H., 1989. The effect of body reserves at farrowing on the reproductive performance of first-litters sows. Anim. Prod. 48: 449-457.

RAUW W.M., KANIS E., NOORDHUIZEN-STASSEN E.N., GROMMERS F.J., 1998. Undesirable side-effects of selection for high production efficiency in farm animals: a review. Livest. Prod. Sci. 56: 15-33.

RAUW W.M., KNAP P.W., VERSTEGEN M.W.A., LUITING P., 2002. Food resource allocation patterns in lactating females in a long-term selection experiment for litter size in mice. Genet. Sel. Evol. 34: 83-104.

RAUW W.M., LUITING P., BEILHARZ R.G., VERSTEGEN M.W.A., VANGEN O., 1999. Selection for litter size and its consequences for the allocation of feed resources: a concept and its implications illustrated by mice selection experiments. Livest. Prod. Sci. 60: 329-342.

RAUW W.M., LUITING P., VERSTEGEN M.W.A., VANGEN O., KNAP P.W., 2000a. Differences in food resource allocation in a long-term selection experiment for litter size in mice. 1. Developmental trends in body weight and food intake against time.Anim. Sci. 71: 31-38.

RAUW W.M., LUITING P., VERSTEGEN M.W.A., VANGEN O., KNAP P.W., 2000b. Differences in food resource allocation in a long-term selection experiment for litter size in mice, 2. Developmental trends in body weight against food intake,Anim. Sci. 71: 39-47.

TEN NAPEL J., 1996. Genetic aspects of intervals from weaning to estrus in swine. PhD thesis, Wageningen Agric. Univ., Wageningen, The Netherlands.

THOLEN E., BUNTER K.L., HERMESCH S., GRASER H.U., 1996. The genetic foundation of fitness and reproduction traits in Australian pig populations, I. Genetic parameters for weaning to conception interval, farrowing interval and stayability. Aust. J. Agric. Res. 47: 1261-1274.

VANGEN O., 1993. Results from 40 generations of divergent selection for litter size in mice. Livest. Prod. Sci. 37: 197-211.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 247-250

UN MODELO BAYESIANO PARA LA ESTIMACIÓN INDIVIDUAL DE LA EFICIENCIA BIOLÓGICA

L. Varona, W.M. Rauw, L. Gómez-Raya, J.L. Noguera

Área de Producció Animal, Centre UdL-IRTA,
Alcalde Rovira Roure 177, 25198 Lleida, España

Introducción

La eficiencia biológica en el aprovechamiento del alimento consumido por un animal respecto a su crecimiento se estima habitualmente mediante el índice de conversión, siendo éste el cociente entre el alimento consumido y la ganancia de peso. Recientemente, RAUW *et al.* (2000, 2002) han descrito un procedimiento que permite comparar líneas genéticas en términos de la eficiencia para destinar la energía y los nutrientes ingeridos a mantenimiento corporal, crecimiento, y reservas para hacer frente a las situaciones de enfermedad o estrés. En este trabajo se presenta una generalización de dicho procedimiento mediante inferencia bayesiana, la cual permite considerar la variación individual en el destino de la energía ingerida, y su posible utilización en un índice de selección para eficiencia.

Modelo

La distribución conjunta de parámetros y datos se construye a partir de la verosimilitud y las distribuciones a priori.

La verosimilitud es:

$$f(\mathbf{y}|\mathbf{b}_{BW},\mathbf{b}_G,\sigma_r^2) = \prod_{i=1}^{N}\prod_{j=1}^{n_i}\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_r}}\exp\left\{-\frac{(y_{ij}-b_{BW}(i)BW_{ij}^{0.75}-b_G(i)WG_{ij})^2}{2\sigma_r^2}\right\}$$

donde y es el vector de datos de ingesta, y_{ij} es el dato de ingesta j del individuo i, $b_{BW}=\{b_{BW}(i)\}$ es el vector de regresores parciales para mantenimiento de peso metabólico, $b_G=\{b_G(i)\}$ es el vector del regresor parcial para incremento de peso, $BW^{0.75}_{ij}$ y WG_{ij} son el peso metabólico y la ganancia de peso de los individuos i en la observación j. Por último, σ^2_r es la varianza residual.

Las distribuciones a priori son:

$$f(\mathbf{b}_{BW},\mathbf{b}_G|\mu_{BW},\mu_G,\mathbf{u}_{BW},\mathbf{u}_G,\mathbf{G},\mathbf{R}) = N\begin{pmatrix}\mu_{BW}+\mathbf{Z}\mathbf{u}_{BW}\\ \mu_G+\mathbf{Z}\mathbf{u}_G\end{pmatrix},\mathbf{I}\otimes\mathbf{R}$$

donde μ_{BW} y μ_G son las medias poblacionales para ambos regresores de mantenimiento e incremento de peso, respectivamente, u_{BG} y u_G son los vectores de valores genéticos aditivos, Z es la matriz de incidencia que relaciona los regresores con los valores genéticos aditivos, y G y R son las matrices de (co)varianzas genéticas y residuales.

$$f(\mathbf{u}_{BW},\mathbf{u}_G|\mathbf{G}) = N\begin{pmatrix}0\\0\end{pmatrix},\mathbf{A}\otimes\mathbf{G}$$

donde A es la matriz de relaciones genéticas aditivas.

Las distribuciones a priori de las medias poblacionales, y de los componentes de (co)varianza, se asumieron planas.

Simulación

Se ha simulado una población compuesta por 10 machos y 100 hembras. Cada macho se aparea con 10 hembras y tiene 10 descendientes por apareamiento. Las heredabilidades asumidas de la regresión parcial para mantenimiento y para crecimiento fueron 0,5. Las correlaciones genéticas aditivas fueron simuladas como nulas. Se simularon 10 datos de ingesta, peso metabólico y ganancia de peso para cada individuo.

Resultados

En las figuras 1 y 2 se muestran las distribuciones posteriores para las heredabilidades. En la figura 3 se pueden observar los predictores de los valores genéticos aditivos de los 10 machos para la regresión parcial de mantenimiento y para la regresión parcial de crecimiento.

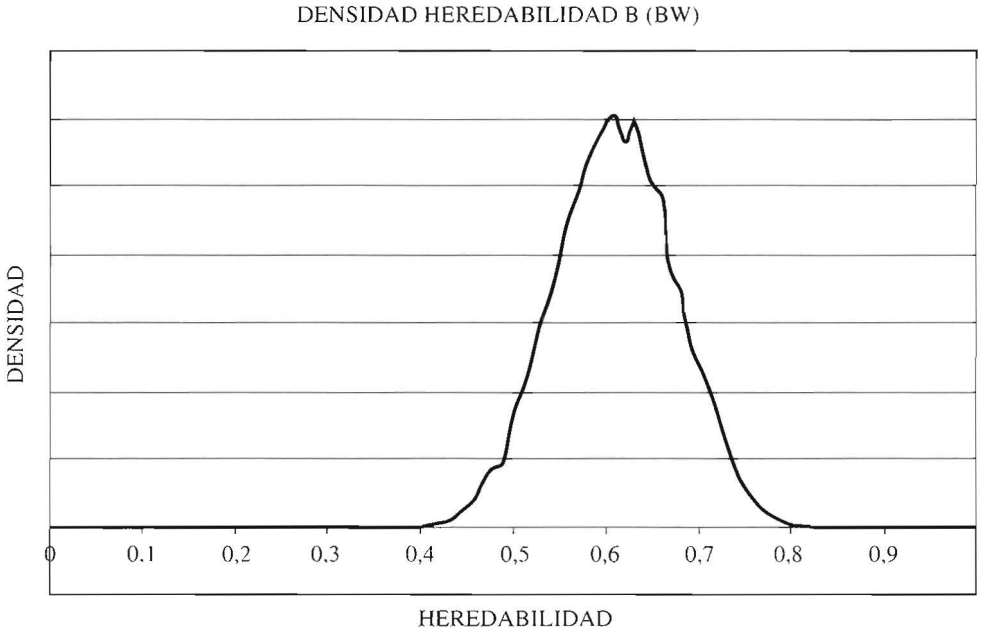


Figura 1. Densidad Marginal Posterior de la Heredabilidad del regresor parcial con el peso metabólico

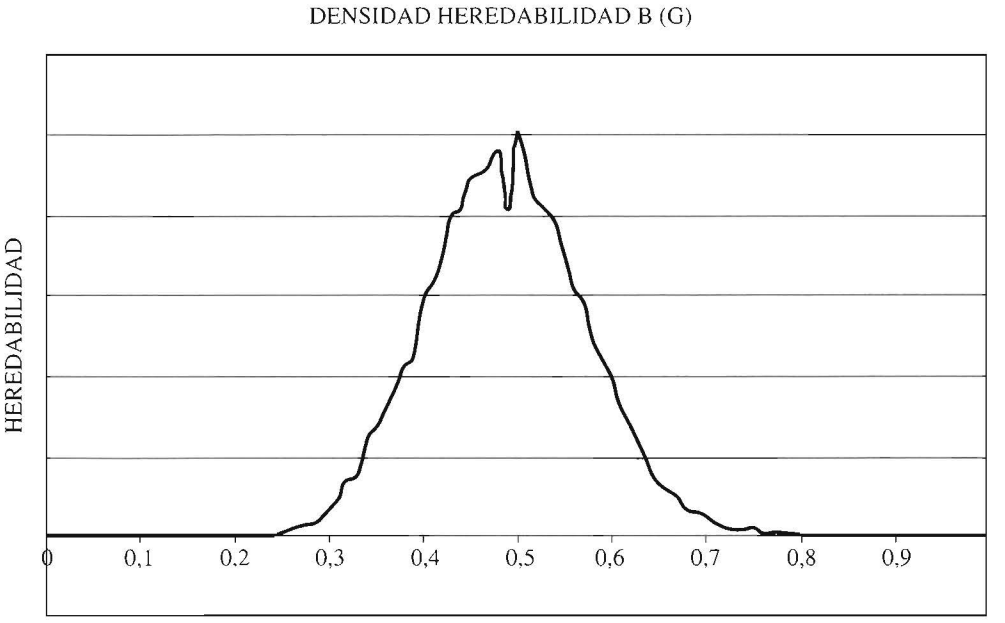


Figura 2. Densidad Marginal Posterior de la Heredabilidad del regresor parcial con la ganancia de peso

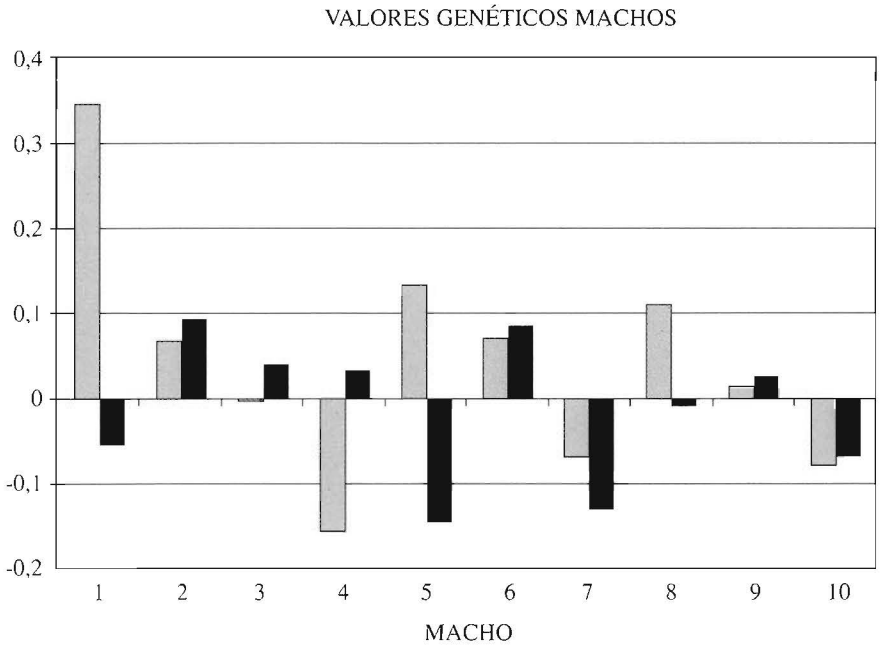


Figura 3. Medias posterior marginales de los valores genéticos de los machos

Discusión

El modelo planteado permite obtener predicciones de valores genéticos aditivos para las regresiones parciales de mantenimiento y crecimiento respecto a la ingesta, al peso metabólico y a la ganancia de peso. Estos resultados nos sugieren que podemos mejorar los criterios de selección para seleccionar a los animales más eficientes El regresor parcial con el mantenimiento del peso metabólico puede estar relacionado con el reemplazo proteínico, la actividad y la composición corporal, y por otra parte, el regresor parcial con respecto a la ganancia de peso, esta relacionado con el índice de conversión y el aprovechamiento de los recursos en términos de crecimiento. El modelo propuesto es un caso sencillo, que asume únicamente los regresores con respecto a peso metabólico y ganancia de peso. El modelo puede ser ampliado, introduciendo regresores con respecto, por ejemplo, a la ganancia de grasa dorsal en porcino, o la inclusión de valores genéticos referidos a la "ingesta residual". RAUW *et al.* (2000, 2002) han descrito la "ingesta residual" como un excelente predictor de la capacidad de respuesta individual ante situaciones de enfermedad o estrés, posibilitando indirectamente seleccionar a animales menos sensibles a dichas situaciones, y, por lo tanto, con unos niveles superiores de bienestar.

Bibliografía

RAUW W.M., LUITING P., VERSTEGEN M.W.A., VANGEN O., KNAP P.W., 2000. Differences in food resource allocation in a long-term selection experiment for litter size in mice. II. Developmental trends in body weight against food intake. Animal Science 71: 39-47.

RAUW W.M., KNAP P.W., VERSTEGEN M.W.A., LUITING P., 2002. Food resource allocation patterns in lactating females in a long-term selection experiment for litter size in mice. Genet. Sel. Evol. 34: 83-104.

ITEA (2002), Vol. 98A N.° 2, 251-255

EPISTASIA PARA ASIMETRÍA FLUCTUANTE EN EL NÚMERO DE MAMAS EN CERDOS

A. Fernández, M.A. Toro, M.C. Rodríguez, L. Silió

Departamento de Mejora Genética Animal, INIA,
Carretera de La Coruña, km 7, 28040 Madrid, España

Introducción

En el desarrollo de caracteres morfológicos bilaterales, algunos individuos resultan incapaces de realizar una idéntica expresión del carácter a ambos lados de su eje de simetría. Cuando estas pequeñas desviaciones de la simetría perfecta son aleatorias, con distribución normal de media cero, se las denomina asimetría fluctuante (VAN VALEN, 1962). Este parámetro se considera una medida de la inestabilidad del desarrollo ante el estrés ambiental o genético (PALMER y STROBECK, 1986). Mediante el metaanálisis de 34 trabajos previos, MØLLER y THORNHILL (1997) han mostrado evidencia significativa de variación genética aditiva para asimetría fluctuante de diversos caracteres morfológicos en 17 especies. Sin embargo, otros investigadores consideran la asimetría fluctuante como un fenómeno esencialmente no aditivo afectado por dominancia y epistasia (CLARKE *et al.*, 1992). En este sentido, se considera que la hibridación de poblaciones genéticamente aisladas puede originar un desarrollo inestable y una mayor asimetría fluctuante, debido a la ruptura de complejos de genes coadaptados en las poblaciones originales (MØLLER y SWADDLE, 1997).

El estudio de la asimetría fluctuante ha suscitado interés en animales domésticos particularmente aves, por su posible relación con el proceso de domesticación y con el bienestar animal, como puso de manifiesto la revisión presentada por CAMPO *et al.* (2001) en la pasada Reunión Nacional de Mejora Genética Animal. El número de mamas en cerdos es un importante carácter bilateral que presenta asimetría fluctuante. Un reciente análisis ha permitido estimar valores de la heredabilidad y del coeficiente de ambiente común de este carácter (h^2_{AF} = 0,10; c^2_{AF} = 0,04) de pequeña magnitud aunque significativamente distintos de cero, sin que se hayan apreciado efectos significativos de la consanguinidad sobre el mismo (FERNÁNDEZ *et al.*, 2002). El objetivo del presente trabajo es estimar posibles efectos no aditivos de heterosis y epistasia sobre la asimetría fluctuante del número de mamas en datos procedentes de cruces de dos poblaciones de cerdos de origen europeo y asiático, genéticamente muy distantes.

Material y métodos

Datos

Los registros analizados proceden de un ensayo de cruzamiento entre cerdos Ibéricos de la línea *Torbiscal* (P_1) y animales de la raza china *Jiaxing* (P_2) del grupo Taihu de razas hiperprolíficas, en el que se obtuvieron individuos del cruce F_1 = *Jiaxing x Ibé-*

rico y de dos retrocruces sucesivos sobre la línea *Torbiscal*: B_1 = *Ibérico x* (*Jiaxing x Ibérico*) y P_1 *x* B_1 = *Ibérico x* [*Ibérico x* (*Jiaxing x Ibérico*)].

El número de mamas en los lados izquierdo (*I*) y derecho (*D*) fue registrado por separado a los 21 días de edad en un total de 8.779 lechones de ambos sexos nacidos en 1.119 camadas de este ensayo y de animales *Torbiscal* contemporáneos. Para cada individuo *i* se ha calculado el valor de la asimetría direccional (AD_i) como la diferencia de las medidas a ambos lados ($D_i - I_i$) y el de la asimetría fluctuante (AF_i) como el valor absoluto de esta diferencia $|D_i - I_i|$. Las respectivas medias de estas medidas de asimetría: 0,010 (e.t. = 0,006) y 0,255 (e.t. = 0,004) confirman en este material biológico la presencia de asimetría fluctuante para el número de mamas. La información registrada en las distintas líneas y cruces se resume en el cuadro 1. Las relaciones genealógicas entre todos los animales eran conocidas, con un total de 9.966 entradas animal-padre-madre.

Métodos estadísticos

Para el análisis de los valores individuales de asimetría fluctuante se utilizó un modelo animal univariante que incorpora como covariables tres parámetros del modelo de DICKERSON (1969) para el análisis de cruces entre lineas:

$$y = X\beta + Z_1u + Z_2c + e$$

donde y es un vector de los valores de AF_i; X, Z_1 y Z_2 son matrices de incidencia que relacionan los registros en y con los vectores β, de efectos sistemáticos, *u*, de valores genéticos aditivos y *c*, de efectos de ambiente común de camada; siendo *e* el vector de residuos. Los efectos sistemáticos incluidos en β fueron la media, el sexo (2 niveles), el periodo de partos (23 niveles) y los coeficientes de regresión lineal de tres covariables que modelizan la diferencia genética entre las líneas parentales (*g*), la heterosis (*h*) y la pérdida por recombinación de interacciones genéticas no alélicas (*r*). Los valores en *X* de estas covariables en los animales de las diferentes lineas y cruces analizados se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 1. Número de animales, media y error típico del número de mamas registrado en el lado izquierdo y derecho, asimetrías direccional y fluctuante en diversos cruces de dos poblaciones de cerdos Ibéricos (P_1) y Jiaxing (P_2)

Línea / Cruce	N	Mamas Lado Izquierdo	Mamas Lado Derecho	Asimetría Direccional	Asimetría Fluctuante
P_1	5.713	5,12 (0,01)	5,12 (0,01)	-0,01 (0,01)	0,17 (0,01)
P_2	5	10,00 (0,32)	9,80 (0,20)	0,20 (0,20)	0,20 (0,20)
F_1	98	7,33 (0,06)	7,21 (0,07)	0,11 (0,07)	0,40 (0,06)
B_1	2.230	6,33 (0,01)	6,27 (0,01)	0,05 (0,01)	0,42 (0,01)
P_1 x B_1	733	5,64 (0,02)	5,64 (0,02)	-0,01 (0,02)	0,41 (0,02)

Cuadro 2. Parametrización en el modelo de análisis de las diferentes líneas y cruces de acuerdo con Dickerson (1969)

Línea / Cruce	Diferencia entre líneas parentales (g)	Heterosis (h)	Pérdida por recombinación (r)
P_1	0	0	0
P2	1	0	0
F1	1/2	1	0
B1	1/4	1/2	1/4
P1 x B1	1/8	1/4	3/16

Un procedimiento Bayesiano con empleo del algoritmo de muestreo de Gibbs (WANG *et al.*, 1994) fue utilizado para obtener las distribuciones marginales posteriores de los parámetros de interés: heredabilidad (h^2), coeficiente de ambiente común (c^2) y de los coeficientes de regresión lineal correspondientes a los efectos g, h y r. Estas distribuciones posteriores se basan en la información de los datos, al asumirse a priori planos para todos los parámetros, representando la gran incertidumbre previa respecto a los mismos. Las primeras 10.000 iteraciones de una cadena Gibbs de 1,010.000 fueron descartadas, salvándose una de cada 100 iteraciones con un total de 10.000 muestras de cada parámetro. A partir de estas muestras de las distribuciones marginales posteriores (d.m.p.) se calcularon para cada parámetro los estadísticos usuales de posición (media y mediana) y de dispersión (desviación típica e intervalo del 95% de mayor densidad posterior).

Resultados y discusión

Los resultados más interesantes de este análisis genético se resumen en el cuadro 3. El número efectivo de muestras para las medias de estas distribuciones osciló entre 1.157 (h^2) y 9.681 (r). Los siguientes aspectos merecen ser destacados:

- Los estadísticos de la d.m.p. de h^2 confirman la presencia de efectos genéticos aditivos sobre la *AF* del número de mamas significativamente distintos de cero, aunque de magnitud relativamente pequeña. Las medias (y desviaciones típicas) posteriores de las varianzas aditiva (σ_U^2) y fenotípica (σ_P^2) de la asimetría fluctuante son respectivamente 0,008 (0,002) y 0,200 (0,003). Los resultados correspondientes a c^2 también confirman un pequeño pero significativo efecto sobre *AF* del ambiente común compartido por los embriones de cada camada. La media (y desviación típica) posterior de este componente de varianza (σ_C^2) es 0,004 (0,001).

- No hay evidencia significativa de diferencias genéticas entre las líneas parentales (g) ni de heterosis entre las mismas (h), aunque estos resultados están fuertemente condicionados por la gran dispersión de las correspondientes distribuciones posteriores atribuible a la escasa información disponible de animales puros *Jiaxing* (P_2).

- El efecto sobre *AF* de la pérdida por recombinación de interacciones entre loci (r) es el de mayor importancia y es indicativo de la influencia de estas interacciones epistáticas sobre la estabilidad del desarro-

Cuadro 3. Principales estadísticos de las distribuciones marginales posteriores de la heredabilidad (h^2), coeficiente de ambiente común (c^2), diferencia entre las líneas parentales (g), heterosis (h) y pérdida por recombinación (r) de la asimetría fluctuante para el número de mamas.

	Media	Mediana	Desviación Típica	Intervalo 95% MDP
h^2	0,042	0,042	0,011	0,022 / 0,062
c^2	0,022	0,021	0,007	0,007 / 0,036
g	0,026	0,027	0,218	-0,404 / 0,450
h	0.149	0,149	0,113	-0,073 / 0,369
r	0,723	0,723	0,114	0,502 / 0,948

llo del número de mamas en los tipos genéticos analizados.

Los cerdos de tipo asiático y europeo se domesticaron independientemente y la divergencia genética entre sus ascendientes se ha estimado mediante estudios de secuenciación de DNA mitocondrial en 500.000 años (GIUFFRA *et al.*, 2000), aunque otros estudios reducen este periodo de separación a 58.000 años (KIM *et al.*, 2002). En cuanto a los cerdos ibéricos, la secuenciación de la región *D-loop* y del gen *Citocromo B* ha permitido verificar su origen europeo, sin que se detecte introgresión siquiera parcial de genes asiáticos como ocurre en algunas razas británicas (CLOP *et al.*, 2002; ALVES *et al.*, 2002). Por tanto, puede asumirse que los ascendientes de los animales *Jiaxing* e *Ibérico* se mantuvieron genéticamente separados durante varias decenas de miles de años hasta la realización de los cruces aquí analizados.

Este largo periodo de aislamiento genético, en ambiente y condiciones de manejo dispares, de acuerdo con las clásicas ideas sobre evolución y domesticación de Sewall Wright posibilita la fijación de complejos de genes con interacciones favorables, separadamente coadaptados. Los resultados de este trabajo indican que la recombinación meiótica puede destruir, en los animales con varios cruces sucesivos (B_1 y $P_1 \times B_1$), algunas interacciones no alélicas favorables en estos complejos de genes, con aumento de la inestabilidad del desarrollo que registra la asimetría fluctuante.

Agradecimientos

La realización de los cruces con *Jiaxing* fue posible gracias a un acuerdo de colaboración INIA-INRA, que permitió disponer de las necesarias dosis seminales de la raza *Jiaxing* con la ayuda de C. Legault y J.C. Caritez (INRA) y de S. Martín-Rillo y E. Alía (INIA) para las inseminaciones iniciales. Los autores agradecen la colaboración de J. Zuzuárregui y del personal del CIA 'Dehesón del Encinar' (Oropesa, Toledo) en la obtención de los registros.

Bibliografía

ALVES E., OVILO C., RODRÍGUEZ C., SILIÓ L., 2002. Mitochondrial D-loop and cytochrome B gene sequences as a tool to preserve the genetic diversity in an Iberian pig population. *28th International Conference on Animal Genetics*, Göettingen (Alemania).

CAMPO J.L., GIL M.G., TORRES O., DÁVILA S.G., 2001. Utilización de la asimetría fluctuante en mejora genética. *ITEA*. 97(A): 5-10.

CLARKE G.M., OLDROYD B.P., HUUT P., 1992. The genetic basis of developmental stability in *Apis melifera*: heterozygosity vs. genetic balance. *Evolution* 46: 753-762.

CLOP A., FERNÁNDEZ A., AMILS M., CAPOTE J., RAMÓN C., ANDERSSON L., SÁNCHEZ A., 2002. Cytochrome B sequence variation as a tool for tracing the genetic origin of three local Spanish breeds. *28th International Conference on Animal Genetics*, Göettingen (Alemania).

DICKERSON G.E., 1969. Experimental approaches in utilizing breed resources. *Anim. Breed. Abstr.* 37: 191-202.

FERNÁNDEZ A., TORO M.A., RODRÍGUEZ C., SILIÓ L., 2002. Genetic analysis of fluctuating asymmetry for teat number in Iberian pigs. *7th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Montpellier.

GIUFFRA E., KIJAS J.M.H., ARMAGER V., CARLBORG O., JEON J.T., ANDERSSON L., 2000. The origin of the domestic pig: independent domestication and subsequent introgression. *Genetics*, 154: 1875-1891.

KIM K.I., JEE J.H., LI K., ZHANG Y.P., LEE S., GONGORA J., MORAN C., 2002. Phylogenetic relationships of Asian and European pig breeds determined by mitochondrial DNA D-loop sequence polymorphism. *Anim. Genet.* 33: 19-25.

MØLLER A.P., SWADDLE J.P., 1997. *Asymmetry, Developmental Stability, and Evolution*. Oxford University Press, Oxford.

MØLLER A.P., THORNHILL R., 1997. A meta-analysis of the heritability of developmental stability. *J. Evol. Biol.* 10: 1-16.

PALMER A.R., STROBECK C., 1986. Fluctuating asymmetry: measurement, analysis, patterns. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 17: 391-421.

VAN VALEN L., 1962. A study of fluctuating asymmetry. *Evolution*. 16: 125-142.

WANG C.S., RUTLEDGE J.J., GIANOLA D., 1994. Bayesian analysis in mixed linear models via Gibbs sampling with an application to litter size in Iberian pigs. *Genet. Sel. Evol.* 26: 91-115.

ITEA (2002), Vol. **98A N.° 2,** 256-263

ANÁLISIS DE VARIABLES CATEGÓRICAS MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO CATMOD DE SAS®: APLICACIÓN A DATOS DE CRUZAMIENTO INDUSTRIAL EN BOVINO

Beatriz Silva, Javier Cañón

Dpto. Producción Animal, Facultad de Veterinaria, UCM, Madrid, España

Introducción

En producción animal es frecuente la expresión como variable categórica de caracteres de interés económico cuantitativos, entendidos como el resultado de la influencia de numerosos efectos o factores. El análisis de estas variables discretas mediante la utilización del modelo lineal, aunque no presente dificultades desde el punto de vista de la estimación de los parámetros del modelo, sí existe difícil justificación teórica cuando se trata de establecer pruebas de hipótesis (véase la revisión sobre caracteres discretos en CAÑÓN, 1986).

El paquete estadístico SAS presenta diversos módulos de análisis para tratar este tipo de variables, entre ellos el más utilizado puede ser el denominado CATMOD que permite, mediante el análisis de regresión logística, extender las técnicas del análisis de regresión múltiple al estudio de modelos en los que la variable dependiente no es continua, sino discreta.

Una presentación en forma de tabla de los datos correspondientes a variables categóricas sería la siguiente:

Poblaciones (combinaciones de niveles)	Categoría de respuesta 1	2	...	r	Total
1	n_{11}	n_{12}	...	n_{1r}	$n_{1\cdot}$
2	n_{21}	n_{22}	...	n_{2r}	$n_{2\cdot}$
:	:	:	...	:	:
s	n_{s1}	n_{s2}	...	n_{sr}	$n_{s\cdot}$

Lo que pretendemos con este trabajo es detallar la información que el procedimiento CATMOD de SAS proporciona, sobre todo desde la perspectiva de establecer funciones de los parámetros para dar respuesta a preguntas de interés en producción animal.

Material utilizado

Hemos utilizado la información proporcionada por unos 19000 terneros resultado del cruzamiento industrial entre hembras frisonas y machos de aptitud carnicera de diferentes razas: Blanco Azul Belga (BBB), Limousin (Li), Asturiana de Valles (Av) y Asturiana de Montaña (Am).

Como variables de interés recogidas en la base de datos figuran, además de la *raza* del padre: el *número de parto* de la vaca (con 3 niveles), *sexo* del ternero, *época de parto* (4 niveles), *dificultad al parto* (4 categorías) y la *conformación* del ternero (4 categorías). Las variables *dificultad al parto* y *conformación* del ternero son las variables de trabajo.

Modelos

Variable respuesta dicotómica

Sean $X_1,...,X_v$ el conjunto de variables explicativas, por simplicidad suponemos que Y es una variable que toma valores 1 y 0 con $\pi = P(Y = 1 | X_1,...,X_v)$ y por tanto $P(Y = 0 | X_1,...,X_v) = 1-\pi$.

Si trabajamos con la variable *dificultad al parto* con dos categorías correspondientes a la necesidad o no de llevar a cabo una cesárea y como variables explicativas consideramos el *sexo* del ternero (macho o hembra) y el *número de parto* de la vaca (en tres niveles: primeriza, 2° parto y 3° o más), tenemos 2 x 3 = 6 subpoblaciones determinadas por las categorías de las variables explicativas.

Un programa SAS tan sencillo como:

```
PROC CATMOD;
MODEL dificultad = sexo n.° parto;
RUN;
```

proporciona la siguiente información:

The CATMOD Procedure

Response	dificultad	Response Levels	2
Weight Variable	None	Populations	6
Data Set	Mis_datos	Total Frequency	19.073
Frequency Missing	0	Observations	19.073

Population Profiles				Response Frequencies		
				Response Number		
Sample	sexo	n.° parto	Sample Size	Sample	1	2
1	H	Primeriza	607 = $n_{11.}$	1	606 = n_{111}	1 = n_{112}
2	H	2.° parto	1.595 = $n_{12.}$	2	1.593 = n_{121}	2 = n_{122}
3	H	≥ 3	6.000 = $n_{13.}$	3	5.998 = n_{131}	2 = n_{132}
4	M	Primeriza	694 = $n_{21.}$	4	690 = n_{211}	4 = n_{212}
5	M	2.° parto	1.985 = $n_{22.}$	5	1.975 = n_{221}	10 = n_{222}
6	M	≥ 3	8.192 = $n_{23.}$	6	8.171 = n_{231}	21 = n_{232}

Obsérvese que en algunas celdas tenemos un bajo número de observaciones, lo que implica que las aproximaciones asintóticas tipo Chi-cuadrado deberían interpretarse con reservas y comprobarse mediante tests exactos.

Response Profiles
Response dificultad

1. Sin cesárea
2. Con cesárea

Como $0 < \pi < 1, 0 < 1-\pi < 1 \Rightarrow 0 < \frac{\pi}{1-\pi} < \infty \Rightarrow -\infty < \ln\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) < \infty,$

aplicamos la transformación *logit* para extender el modelo de regresión lineal

$$Y = \alpha + \sum_{j=1}^{v} \beta_j X_j \text{ a}$$

$$\ln\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha + \sum_{j=1}^{v} \beta_j X_j \Rightarrow \pi = \frac{e^{\alpha+\sum_{j=1}^{v}\beta_j X_j}}{1+e^{\alpha+\sum_{j=1}^{v}\beta_j X_j}} \text{ y así } 1-\pi = \frac{1}{1+e^{\alpha+\sum_{j=1}^{v}\beta_j X_j}}$$

Los parámetros a estimar son α y los coeficientes de regresión logística (β_j), para ello consideramos la función de verosimilitud:

$$L = \prod_{i=1}^{n} P(Y_i / X_{i1},\ldots,X_{iv}) = \prod_{i=1}^{n} \left[\left(\frac{e^{\alpha+\sum_{j=1}^{n}\beta_j X_i}}{1+e^{\alpha+\sum_{j=1}^{n}\beta_j X_i}} \right)^{Y_i} \times \left(\frac{1}{1+e^{\alpha+\sum_{j=1}^{n}\beta_j X_i}} \right)^{1-Y_i} \right]$$

que nos proporcionará las estimaciones máximo verosímiles mediante un proceso iterativo.

Maximum Likelihood Analysis

Iteration	Sub Iteration	-2 Log Likelihood	Convergence Criterion	Parameter Estimates 1	2	3	4
0	0	25595.153	1.0000	0	0	0	0
1	0	4884.2397	0.8092	1.9886	0.005566	-0.003753	-0.001734
2	0	1863.0173	0.6186	3.0985	0.0179	-0.0120	-0.005571
. . . . .							
9	0	546.64596	1.4025E-6	6.2631	0.8562	-0.3472	-0.1966
10	0	546.64596	5.263E-11	6.2632	0.8562	-0.3472	-0.1966

Maximum likelihood computations converged.

Para diferenciar entre los parámetros y las estimaciones a éstas últimas las denotaremos a y bj, en este caso a = 6,263, b_1 = 0,856 (es el cambio diferencial para el sexo hembra [para el macho será $-b_1$], b_2= -0,347 (corresponde a las vacas primerizas) y b_3 = -0,196 (es el cambio diferencial para las vacas en su 2° parto) con lo que para las vacas en su parto de 3° o mayor orden tendremos el coeficiente de regresión logística: $-b_2-b_3$.

El ajuste del modelo completo se comprueba mediante el contraste de hipótesis de que todos los coeficientes de regresión logística son 0; es decir, H_0: $\beta_j = 0\ \forall j$.

Comparamos el modelo dado con el restringido

$$\ln\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \alpha$$

mediante un estadístico Chi-cuadrado. Así también vemos qué variables explicativas son significativas y la conveniencia o no de eliminarlas del modelo.

Maximum Likelihood Analysis of Variance

Source	DF	Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	577.60	<.0001
sexo	1	12.81	0.0003
n.° parto	2	6.07	0.0480

De acuerdo con estos resultados el sexo es muy significativo en el grado de dificultad al parto y también el número de parto puede considerarse que influye al nivel de significación usual de 0,05.

A continuación encontramos un estadístico Chi-cuadrado de cociente de verosimilitudes para comprobar la bondad de ajuste del modelo (la cercanía de los valores predichos por el modelo a los observados) que en nuestro caso tendrá la forma:

$$Q_L = \sum_{i=1}^{2}\sum_{j=1}^{3}\sum_{k=1}^{2} 2n_{ijk}\ln\left(\frac{n_{ijk}}{m_{ijk}}\right)$$

donde n_{ijk} es el número de observaciones en los niveles i y j de las variables explicativas sexo y n.° de parto para la categoría k de la variable respuesta y m_{ijk} son los valores esperados, es decir:

$$m_{ijk} = \begin{cases} n_{ij\cdot}\cdot\theta_{ij} & si\ k=1 \\ n_{ij\cdot}\cdot(1-\theta_{ij}) & si\ k=2 \end{cases}$$

(θ_{ij} estimación de la probabilidad de que se produzca la primera respuesta [que no sea necesario realizar una cesárea] en los niveles i y j de las correspondientes variables explicativas:

$$\theta_{11}=\frac{e^{a+b_1+b_2}}{1+e^{a+b_1+b_2}},\theta_{12}=\frac{e^{a+b_1+b_3}}{1+e^{a+b_1+b_3}},$$

$$\theta_{13}=\frac{e^{a+b_1-b_2-b_3}}{1+e^{a+b_1-b_2-b_3}},\theta_{21}=\frac{e^{a-b_1+b_2}}{1+e^{a-b_1+b_2}},$$

$$\theta_{22}=\frac{e^{a-b_1+b_3}}{1+e^{a-b_1+b_3}},\theta_{23}=\frac{e^{a-b_1-b_2-b_3}}{1+e^{a-b_1-b_2-b_3}})$$

Obtenemos:

	DF	Chi-Square	Pr > ChiSq
Likelihood Ratio	2	0.55	0.7585

Con un p-valor del 0,7585 no rechazamos la hipótesis nula de que el modelo es acertado.

También contrastamos la hipótesis de si los distintos coeficientes de regresión logística son significativos o no (H_0: $\beta_j = 0$), mediante el estadístico $z = b_j/s_j$, donde s_j es el error estándar (la raíz cuadrada de la cuasivarianza muestral) de b_j. SAS utiliza z^2, el estadístico de Wald, que sigue una distribución Chi-cuadrado con un grado de libertad (χ_1^2). Con los datos con los que estamos trabajando, vemos que en la fila correspondiente al sexo tenemos

$$\left(\frac{0,8562}{0,2392}\right)^2 = 12,81$$

(que como sólo tiene 2 niveles y por tanto un sólo coeficiente, coincide con el valor de la Chi-cuadrado en la tabla superior).

Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Effect	Parameter	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	6.2632	0.2606	577.60	<.0001
sexo	2	0.8562	0.2392	12.81	0.0003
n.º parto	3	-0.3472	0.3218	1.16	0.2806
	4	-0.1966	0.2538	0.60	0.4385

Una vez ajustado el modelo, podemos utilizar las "odds ratio" para dar respuesta a preguntas de interés como, por ejemplo, ¿cuánto más probable es tener que practicar una cesárea si el ternero que nace es macho?:

$$\frac{e^{a+b_1+b_2}}{e^{a-b_1+b_2}} = \frac{e^{a+b_1+b_3}}{e^{a-b_1+b_3}} = \frac{e^{a+b_1-b_2-b_3}}{e^{a-b_1-b_2-b_3}} =$$

$$= e^{2b_1} = e^{2*0.8562} \approx 5,5$$

Obtenemos que, aproximadamente, la probabilidad de que no sea necesaria una cesárea si el ternero que nace es hembra es unas 5,5 veces más alta que en el caso en que el ternero es macho.

O para comparar la dificultad al parto en función de la paridad de la vaca:

$$\frac{e^{a+b_1-b_2-b_3}}{e^{a+b_1+b_2}} = \frac{e^{a-b_1-b_2-b_3}}{e^{a-b_1+b_2}} =$$

$$= e^{-2b_2-2b_3} = e^{-2*(-0.3472)-(-0.1966)} \approx 1,65$$

es decir, la probabilidad de no tener que realizar cesárea si la paridad de la vaca es superior a 2 es un 65% más elevada que si la vaca fuera primeriza.

Variable respuesta con más de dos niveles

Consideremos ahora el tratamiento de una variable categórica ordenada, con un número de respuestas superior a 2, por ejemplo la variable *conformación* del ternero con notas 1, 2, 3 ó 4 que agruparemos en tres niveles: el primero es la mejor nota, el 1, el segundo nivel se refiere a nota 2 y el tercero agrupa las notas 3 y 4 y como variables explicativas la *raza* (Limousin, Asturiana de Valles, Asturiana de Montaña y Blanco Azul Belga) y el *número de parto* de la vaca. En este caso trabajamos con un tamaño de muestra de 19.073 cabezas que se dividen en 4 × 3 = 12 subpoblaciones:

The CATMOD Procedure

Data Summary

Response	conform	Response Levels	3
Weight Variable	None	Populations	12
Data Set	Mis_datos	Total Frequency	19073
Frequency Missing	0	Observations	19073

Population Profiles				Response Frequencies Response Number			
Sample raza	n.° parto	Sample	Size	Sample	1	2	3
1	Li	Primeriza	114	1	8	64	42
2	Li	2° parto	104	2	6	78	20
3	Li	≥ 3	319	3	23	245	51
4	Av	Primeriza	336	4	13	205	118
5	Av	2° parto	1662	5	137	1187	338
6	Av	≥ 3	5698	6	486	4060	1152
7	Am	Primeriza	730	7	4	319	407
8	Am	2° parto	66	8	0	34	32
9	Am	≥ 3	107	9	1	55	51
10	BBB	Primeriza	121	10	9	89	23
11	BBB	2° parto	1748	11	254	1221	273
12	BBB	≥ 3	8068	12	1051	5869	1148

Response Profiles

Response	conform
1	Mejor nota
2	Nota 2
3	Notas 3 o 4

Maximum Likelihood Analysis of Variance

Source	DF	Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	2	1089.54	<.0001
raza	6	343.41	<.0001
n.° parto	4	63.95	<.0001
Likelihood Ratio	12	18.12	0.1120

Ambas variables explicativas son significativas y al nivel 0,05 (< 0,112) se trata de un buen modelo.

Analysis of Maximum Likelihood Estimates

Effect	Parameter	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq
Intercept	1	-1.7583	0.1256	196.02	<.0001
	2	0.9235	0.0347	708.11	<.0001

Analysis of Maximum Likelihood Estimates (continuación)

Effect	Parameter	Estimate	Standard Error	Chi-Square	Pr > ChiSq
raza	3	0.5140	0.1827	7.91	0.0049
	4	0.2433	0.0831	8.58	0.0034
	5	0.5300	0.1325	15.99	<.0001
	6	0.1166	0.0435	7.17	0.0074
	7	-2.3757	0.3523	45.47	<.0001
	8	-0.8340	0.0729	130.79	<.0001
n.° parto	9	-0.6923	0.1306	28.11	<.0001
	10	-0.3854	0.0568	45.98	<.0001
	11	0.3470	0.0775	20.03	<.0001
	12	0.1573	0.0402	15.31	<.0001

Continuando con la misma notación para las estimaciones, en este caso es un poco más complicado pero sigue el mismo patrón. Tenemos que $a_1 = -1,76$ es la media para la nota de conformación 1 (1er nivel frente al 3er nivel), $a_2 = 0,92$ media para la nota 2 (2° nivel frente al 3er nivel de respuesta); $b_1 = 0,514$ es el cambio diferencial para la raza Limousin en el 1er nivel de respuesta frente al 3°, $b_2 = 0,243$ corresponde al 2° nivel *versus* el 3er nivel de respuesta, $b_3 = 0,53$ corresponde a la raza Asturiana de Valles para el 1er nivel *vs* el 3°, $b_4 = 0,117$ para el 2° nivel de respuesta frente al 3°, $b_5 = -2,376$ es el cambio diferencial para la raza Asturiana de Montaña en el 1er nivel frente al 3er nivel de respuesta, $b_6 = -0,834$ para el 2° nivel frente al 3° y finalmente $-b_1-b_3-b_5$ para la raza Blanco Azul Belga y el 1er nivel *vs* 3°, $-b_2-b_4-b_6$ para el 2° frente al 3°; $b_7 = -0,692$ es el cambio diferencial correspondiente a las vacas primerizas para el 1er nivel de respuesta frente al 3°, $b_8 = -0,385$ corresponde al 2° nivel frente al 3°, $b_9 = 0,347$ es el cambio diferencial para las vacas en su 2° parto en el 1er nivel de respuesta *vs* el 3°, $b_{10} = 0,157$ para el 2° nivel *vs* el 3er nivel, finalmente para las vacas en su tercer parto o parto de mayor orden tenemos $-b_7-b_9$ para el 1er nivel de respuesta frente al 3° y $-b_8-b_{10}$ corresponde al 2° nivel *vs* el 3°.

Así, si nuestro interés es comparar la probabilidad de obtener una nota de conformación del ternero en lugar de otra en función de la raza de su padre, la razón de probabilidades será, por ejemplo:

$$\frac{e^{a_2-b_2-b_4-b_6}}{e^{a_2+b_6}} = e^{-2b_6-b_2-b_4} = e^{1.308} \approx 3,7$$

es decir, es 3,7 veces más probable obtener nota de conformación de 2 en lugar de una conformación 3 ó 4 cuando se utiliza como raza paterna la Blanco Azul Belga en lugar de la Asturiana de Montaña.

Otra razón de probabilidades que puede tener resultar de interés es la siguiente:

$$\frac{e^{a_1-b_1-b_3-b_5}}{e^{a_1+b_1}} = e^{-2b_1-b_3-b_5} = e^{0.818} \approx 2,3$$

es decir, es 2,3 veces más probable obtener un ternero con una nota de conformación 1 en lugar de una nota 3 ó 4 cuando se utiliza la raza Blanco Azul Belga en lugar de la raza Limousin en cruzamiento industrial con vacas Frisonas.

Igualmente podríamos comparar la influencia de la paridad de la vaca sobre la nota de conformación del ternero mediante el cociente:

$$\frac{e^{a_1+b_7}}{e^{a_1-b_7-b_0}} = e^{-2b_7-b_0} = e^{2*(-0.692)+0.347} =$$

$$= e^{-1.037} \approx 0{,}35$$

lo que indica que es 2,82 veces más probable (1/0,35) obtener un ternero con la mejor conformación en lugar de un ternero con conformaciones 3 ó 4 si se trata de un tercer parto o superior que si fuera el primer parto de la vaca.

Agradecimientos

La información ha sido proporcionada por ASEAVA y ASEAMO. Agradecemos la ayuda prestada por M.ª del Carmen Bravo Llatas del Servicio Informático de Apoyo a Docencia e Investigación de la UCM.

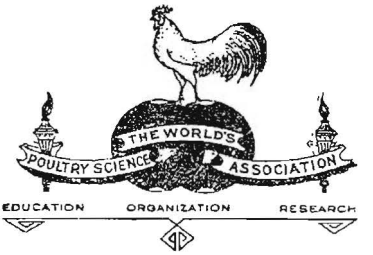
Bibliografía

CAÑÓN J., 1986. Caracteres Discretos en Mejora Genética Animal. Investigación agraria, Producción y Sanidad Animales, 1 (3): 205-236.

GRIZZLE J.E., STARMER C.F., KOEH G.G., 1968. Analysis of catogorical data by linear models. Biometrics, September 1969, 489-504.

HOSMER D.W., LEMESHOW S., 1989. Applied Logistic Regression, New York: Wiley.

STOKES M.E., DAVIS C.S., KOCH G.G., 1995. Categorical Data Analysis using de SAS System, (Books by Users, SAS Institutet's Author Service).



ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CIENCIA AVÍCOLA
(Sección Española de la WPSA)

XXXIX SYMPOSIUM DE LA SECCIÓN ESPAÑOLA DE LA WPSA

Se celebrará en el seno de la EXPOAVIGA, en Barcelona, durante los días 6 y 7 del próximo mes de Noviembre, bajo el siguiente programa provisional:

Miércoles, día 6: Sesión sobre "Patología intestinal".

9:30 "Coccidiosis y enteritis necrótica", por la Dra. Johanna Van der Stron

11:15 "Efectos de la dieta en la integridad intestinal", por la Dra. María Francesch, del IRTA (Mas Bové, Reus).

12:30 Lectura y discusión de las comunicaciones – "posters" – seleccionadas.

Moderadores: José Ignacio Barragán y Ramón Porta.

Jueves, día 7: Sesión sobre "Impacto del manejo final del pollo sobre el bienestar de las aves y la calidad del producto".

9:30 "Efectos de las condiciones de alojamiento y el manejo final en granja sobre la sanidad y la calidad y rendimientos de la canal", por el Dr. Sacit Bilgili, de la Universidad de Auburn, Alabama, EE.UU.

11:00 "Efectos de las condiciones de carga y transporte sobre el bienestar de los broilers y la calidad y rendimientos de la canal", por el Dr. Malcolm Mitchell, del Instituto Roslin, Midlothian, Escocia, Reino Unido.

12:00 Mesa redonda: Experiencias en España sobre los temas precedentes, con la participación de José Luis Valls –AVICU, Guadalajara–, Manuel Sanz –Grupo SADA, Tres Cantos, Madrid– y Fili Gómez –UVESA, Valladolid–.

Moderadores: Ricardo Cepero y Juan Carlos Abad.

13:00 Asamblea General de la Sección Española WPSA.

Organizado también por la misma Asociación, el miércoles, día 6, tendrá lugar una sesión en homenaje al Prof. José Antonio Castelló, ex-Secretario de la misma, con el siguiente programa:

18:00 Presentación, por los Drs. Ricardo Cepero y Alberto San Gabriel.

18:15 "El desarrollo futuro de la genética en la avicultura de puesta y de carne", por el Dr. Peter Hunton, Presidente de la WPSA.

18:45 "La avicultura en los países en desarrollo y su implicación con las producciones de la UE", por el Dr. Piet Simons. Ex Presidente WPSA y actual Secretario de la misma.

19:15 "Responsabilidad de la nutrición aviar en la producción de alimentos sanos para el hombre", por el Dr. Derek Shrimpton, Ex Presidente de la Rama Británica de la WPSA actual consultor de empresas.

19:45 Despedida, por la actualidad competente.

21:30 Cena Homenaje de Gala.



CIHEAM

CENTRO INTERNACIONAL DE ALTOS ESTUDIOS AGRONÓMICOS MEDITERRÁNEOS
INSTITUTO AGRONÓMICO MEDITERRÁNEO DE ZARAGOZA

CIHEAM/IAMZ - Cursos 2001-02-03

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
PRODUCCIÓN VEGETAL	BIOINFORMÁTICA: UTILIZACIÓN DE BASES DE DATOS GENÉTICOS EN MEJORA VEGETAL	17-21 Sep. 01	Zaragoza	IAMZ
	*OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA	25 Sep. 01/ 16 Mayo 02	Córdoba	UCO/CAP-JA/ CSIC/INIA/COI/IAMZ
	VIVEROS Y PRODUCCIÓN DE PLANTA FORESTAL PARA CONDICIONES MEDITERRÁNEAS	19-30 Nov. 01	Guadalajara	IAMZ/MIMAM-CNMF
	SISTEMAS DE APOYO A LA DECISIÓN EN AGRONOMÍA: MODELIZACIÓN	14-25 Ene. 02	Zaragoza	IAMZ
	AGRICULTURA DE REGADÍO SOSTENIBLE: GESTIÓN DEL AGUA EN LA AGRICULTURA DE ZONAS SEMIÁRIDAS	11-22 Mar. 02	Zaragoza	IAMZ/AECI
	ELECCIÓN DE CULTIVOS EN CONDICIONES DE SECANO MEDITERRÁNEAS. CRITERIOS TÉCNICOS Y SOCIOECONÓMICOS	6-17 Abr. 02	Argel	IAMZ/ITGC/ ICARDA
	GESTIÓN DE RIESGOS EN LA AGRICULTURA MEDITERRÁNEA: SEGUROS AGRARIOS	10-14 Jun. 02	Zaragoza	IAMZ/MAPA-ENESA/OCDE
	*MEJORA GENÉTICA VEGETAL	30 Sep. 02/ 6 Jun. 03	Zaragoza	IAMZ
PRODUCCIÓN ANIMAL	*PRODUCCIÓN ANIMAL	1 Oct. 01/ 7 Jun. 02	Zaragoza	IAMZ
	MEJORA DE LA PRODUCCIÓN DEL DROMEDARIO	4-15 Mar. 02	Rabat	IAMZ/IAV Hassan II
	PRODUCCIÓN DE MOLUSCOS EN PAÍSES MEDITERRÁNEOS	27-31 Mayo 02	Zaragoza	IAMZ/FAO
	*ACUICULTURA	7 Oct. 02/ 4 Abr. 03	Las Palmas de Gran Canaria	ULPGC/ICCM/ IAMZ
	BRUCELOSIS	16-20 Sep. 02	Pamplona	IAMZ/Univ. Navarra/ FAO/OIE/ OMS-MZCP
	TRAZABILIDAD DE PRODUCTOS DE ORIGEN ANIMAL: SISTEMAS Y TÉCNICAS	4-8 Nov. 02	Zaragoza	IAMZ
	NUEVAS TÉCNICAS PARA LA PRODUCCIÓN SOSTENIBLE DE OVINOS Y CAPRINOS EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA	9-20 Dic. 02	Túnez	IAMZ/INRAT
	SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE CARNE DE CONEJOS	13-24 Ene. 03	Zaragoza	IAMZ
	AVANCES EN REPRODUCCIÓN DE PECES Y SU APLICACIÓN AL MANEJO DE REPRODUCTORES	24-28 Feb. 03	Zaragoza	IAMZ
	NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA PRODUCCIÓN DE OVINO DE LECHE	7-11 Abr. 03	Valdepeñas/Ciudad Real	IAMZ/JCCM/ UCLM
	OPTIMIZACIÓN DEL USO DE VACUNAS Y MEDICAMENTOS EN ACUICULTURA MEDITERRÁNEA	12-16 Mayo 03	Izmir	IAMZ/FAO/ MARA
	PRODUCCIÓN AVÍCOLA EN CLIMAS CÁLIDOS	26-30 Mayo 03	Zaragoza	IAMZ

(*) **Cursos de Especialización Postuniversitaria** del correspondiente Programa Master of Science (*marcados con asterisco en el listado). Se desarrollan cada dos años:

- MEJORA GENÉTICA VEGETAL: 02-03; 04-05; 06-07
- OLIVICULTURA Y ELAIOTECNIA: 01-02; 03-04; 05-06
- PRODUCCIÓN ANIMAL: 01-02; 03-04; 05-06
- ACUICULTURA: 02-03; 04-05; 06-07
- ORDENACIÓN RURAL EN FUNCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE: 02-03; 04-05; 06-07
- MARKETING AGROALIMENTARIO: 01-02; 03-04; 05-06

	CURSOS	FECHAS	LUGAR	ORGANIZACIÓN
MEDIO AMBIENTE	INCENDIOS FORESTALES: INVESTIGACIÓN DE CAUSAS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA PREVENCIÓN Y EXTINCIÓN	15-26 Oct. 01	Zaragoza	IAMZ/FAO/ MIMAM-DGCN
	GESTIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS PISCÍCOLAS EN AGUAS CONTINENTALES DE LOS PAÍSES MEDITERRÁNEOS	12-16 Nov. 01	Zaragoza	IAMZ/FAO
	FUENTES ALTERNATIVAS DE AGUA PARA REGADÍO: CONDICIONANTES TÉCNICOS, ECONÓMICOS Y AMBIENTALES	10-14 Dic. 01	Zaragoza	IAMZ
	LA PREDICCIÓN METEOROLÓGICA Y SU APLICACIÓN A LA GESTIÓN AGRÍCOLA SOSTENIBLE EN LA REGIÓN MEDITERRÁNEA	19-23 Ene. 02	El Cairo	IAMZ/ARC-CLAC
	MEJORA DE HÁBITATS PARA LA GESTIÓN DE RECURSOS CINEGÉTICOS	18-23 Feb. 02	Zaragoza	IAMZ
	ECOLOGÍA E HIDROLOGÍA DE LOS RÍOS MEDITERRÁNEOS Y HERRAMIENTAS PARA SU GESTIÓN	8-19 Abr. 02	Zaragoza	IAMZ/AECI
	GESTIÓN, RESTAURACIÓN Y APLICACIONES DE LOS HUMEDALES	13-24 Mayo 02	Zaragoza	IAMZ
	*ORDENACIÓN RURAL EN FUNCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE	30 Sep. 02/ 6 Jun. 03	Zaragoza	IAMZ
	DEGRADACIÓN DE SUELOS EN LAS REGIONES AGRÍCOLAS MEDITERRÁNEAS: IMPACTO Y MEDIDAS DE CORRECCIÓN	21 Oct./1 Nov. 02	Rabat	IAMZ/IAV Hassan II/ AECI
	ECONOMÍA DE LOS RECURSOS NATURALES	3-14 Feb. 03	Zaragoza	IAMZ
	GESTIÓN SOSTENIBLE DE LA PESCA ARTESANAL EN EL MEDITERRÁNEO	9-13 Jun. 03	Zaragoza	IAMZ/FAO-COPEMED
COMERCIALIZACIÓN	*MARKETING AGROALIMENTARIO	1 Oct. 01/ 7 Jun. 02	Zaragoza	IAMZ
	ESTRATEGIAS DE MARKETING DE ACEITE DE OLIVA	14-18 Oct. 02	Rabat	COI/IAMZ/ MADREF
	LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL COMERCIO Y SU IMPACTO EN EL MARKETING INTERNACIONAL AGROALIMENTARIO	18-22 Nov. 02	Zaragoza	IAMZ/OMC
	TRAZABILIDAD Y ETIQUETADO: RESPUESTA A LOS REQUERIMIENTOS DE SEGURIDAD DE LOS ALIMENTOS	17-21 Mar. 03	Zaragoza	IAMZ
	ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN EL MARKETING AGROALIMENTARIO: NORMATIVAS, DENOMINACIONES Y GESTIÓN	24-28 Mar. 03	Zaragoza	IAMZ
	INNOVACIONES EN TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN DE MERCADOS AGROALIMENTARIOS	5-9 Mayo 03	Zaragoza	IAMZ

Se destinan primordialmente a titulados superiores en vías de especialización postuniversitaria. No obstante se estructuran en ciclos independientes para facilitar la asistencia de profesionales interesados en aspectos parciales del programa. Los participantes que cumplan los requisitos académicos pueden optar a la realización del 2º año para la obtención del Título Master of Science. El plazo de inscripción para los cursos de Mejora Genética Vegetal, Ordenación Rural en Función del Medio Ambiente y Acuicultura finaliza el 15 de Mayo 2002. El plazo de inscripción para el curso de Olivicultura y Elaiotecnia finaliza el 15 de Abril 2003. El plazo de inscripción para los cursos de Producción Animal y Marketing Agroalimentario finaliza el 15 de Mayo 2003.

Los **cursos de corta duración** están orientados preferentemente a investigadores y profesionales relacionados en el desarrollo de sus funciones con la temática de los distintos cursos. El plazo de inscripción para los cursos de corta duración finaliza 90 días antes de la fecha de inicio del curso.

Becas. Los candidatos de países miembros del CIHEAM (Albania, Argelia, Egipto, España, Francia, Grecia, Italia, Líbano, Malta, Marruecos, Portugal, Túnez y Turquía) podrán solicitar becas que cubran los derechos de inscripción, así como becas que cubran los gastos de viaje y de estancia durante el curso. Los candidatos de otros países interesados en disponer de financiación deberán solicitarla directamente a otras instituciones nacionales o internacionales.

Información e inscripción. Los folletos informativos de cada curso se editan 6-8 meses antes de la fecha de inicio. Dichos folletos, así como los correspondientes formularios de inscripción pueden solicitarse a la dirección del IAMZ u obtenerse directamente de la página web:

Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza

Apartado 202 - 50080 ZARAGOZA (ESPAÑA)

Teléfono +34 976 716000 - Fax +34 976 716001 - e-mail iamz@iamz.chieam.org

www.iamz.chieam.org

INSCRIPCIÓN EN AIDA

* Si desea Ud. pertenecer a la Asociación, rellene la ficha de inscripción así como la carta para la domiciliación del pago de la cuota de asociado y envíelas a AIDA. Aptdo. 727. 50080 Zaragoza.

El abajo firmante solicita su inscripción como miembro de la Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario.

Apellidos ..... Nombre .....

Dirección postal .....

Teléfono .....

Profesión..... Empresa de trabajo .....

Área en que desarrolla su actividad profesional .....

CUOTA ANUAL: Firma.

❑ Sólo una Serie de ITEA { ❑ P. Animal / ❑ P. Vegetal } 27 €

❑ Ambas Series 36 €

FORMA DE PAGO:

❑ Cargo a cuenta corriente o libreta
❑ Cheque bancario
❑ Cargo a tarjeta
❑ VISA
❑ MASTERCARD

Tarjeta número:

□□ □□□□□□□□□□□□□□□□ Fecha de caducidad: ..... / .....

SR. DIRECTOR DE .....

Muy Sr. mío:

Ruego a Vd. se sirva adeudar en la cuenta cte./libreta n.º..... que matengo en esa oficina, el recibo anual que será presentado por la "Asociación Interprofesional para el Desarrollo Agrario".

Atentamente,

Firmado:

BANCO O CAJA DE AHORROS: .....

SUCURSAL: .....

DIRECCIÓN CALLE/PLAZA: ..... N.º .....

CÓDIGO POSTAL: .....

POBLACIÓN: .....

INFORMACIÓN PARA AUTORES

Tipo de artículos que pueden ser enviados para su consideración al Comité de Redacción: se admite todo aquel que contribuya al intercambio de información profesional y trate de los más recientes avances que existan en las distintas actividades agrarias.

Una *información para autores* más detallada puede ser solicitada al Comité de Redacción. Rogamos sea leída detenidamente, prestando atención especial a los siguientes puntos:

CONDICIONES GENERALES

Los artículos, en castellano, serán enviados por triplicado a:
Sr. Director de la Revista ITEA - Apartado 727 - 50080 ZARAGOZA

RECOMENDACIONES EN LA PREPARACIÓN DE LOS ORIGINALES

La extensión máxima será de 25 folios de texto mecanografiado a doble espacio, cuadros y figuras incluidos. Los artículos que superen dicha extensión serán considerados sólo excepcionalmente.

Los artículos se remitirán a dos evaluadores anónimos expertos en el tema y el autor recibirá un informe del Comité de Redacción con las correcciones de dichos evaluadores. Una vez realizadas las correcciones, el autor enviará un sólo ejemplar mecanografiado y una copia en disquete, para agilizar el trabajo en imprenta. Si el Comité de Redacción considera que se han atendido las consideraciones del informe, enviará una carta de aceptación al remitente, y el artículo pasará de inmediato a imprenta.

Los autores recibirán un juego de las primeras pruebas de impresión que deberán ser revisadas y devueltas rápidamente a la Redacción. El retraso en el retorno de las pruebas determinará que el artículo sea publicado con las correcciones del Comité de Redacción.

El título no incluirá abreviaturas y será corto y preciso. En la misma página se incluirán los nombres completos de los autores, así como la dirección postal y nombre de la Entidad en donde se haya realizado el trabajo.

Se incluirá en primer lugar un resumen corto de 200-250 palabras y hasta seis palabras clave. Además, se añadirá un resumen en *inglés* de la misma extensión, sin olvidar el *título* traducido y las palabras clave (Keywords).

A continuación del resumen vendrá el artículo completo, procurando mantener una disposición lógica, considerando cuidadosamente la jerarquía de títulos, subtítulos y apartados.

Los dibujos, gráficos, mapas y fotografías deben titularse todos *figuras*. Los *cuadros* y *figuras* deben llevar numeración diferente, pero ambos en cifras árabes.

Los pies o títulos de cuadros y figuras deben redactarse de modo que el sentido de éstos pueda comprenderse sin necesidad de acudir al texto. Los títulos, pies y leyendas de los cuadros y figuras se traducirán al inglés y se incluirán en letra cursiva, bajo el correspondiente en español.

Los dibujos, gráficos, mapas, fotografías y diapositivas serán presentados en la mejor calidad posible.

En general se evitará el uso de abreviaturas poco conocidas, que en todo caso serán debidamente explicadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En el *texto* las referencias deben hacerse mediante el apellido de los autores en mayúsculas seguido del año de publicación, todo entre paréntesis.

Al final del trabajo, y precedida de la mención *Referencias Bibliográficas*, se hará constar una lista alfabética de todas (y únicamente) las referencias utilizadas en el texto. En el caso de incluir varios trabajos del mismo autor se ordenarán cronológicamente.

Cuando se citen revistas[1], libros[2], capítulos de libro[3] y comunicaciones a congresos[4] se hará según los siguientes ejemplos:

(1) HERRERO J., TABUENCA, M.C., 1966. Épocas de floración de variedades de hueso y pepita. An. Aula Dei, 8 (1), 154-167.

(2) STELL, R.G.D., Y TORRIE, J.H. 1986. Bioestadística: principios y procedimientos (segunda edición) 622 pp. Ed. McGraw-Hill. México.

(3) GAMBORG O.L., 1984. Plant cell cultures: nutrition and media, pp. 18-26. En: Cell Culture and Somatic Cell Genetics of Plants. Vol. 1, I.K. Vasil (Ed.), 825 pp. Ed. Academic Press, Orlando (EEUU).

(4) ANGEL I., 1972. The use of fasciculate form (determinate habit) in the breeding of new Hungarian pepper varieties. Third Eucarpia Meeting on Genetics and Breeding of Capsicum, 17-24, Universidad de Turín (Italia).