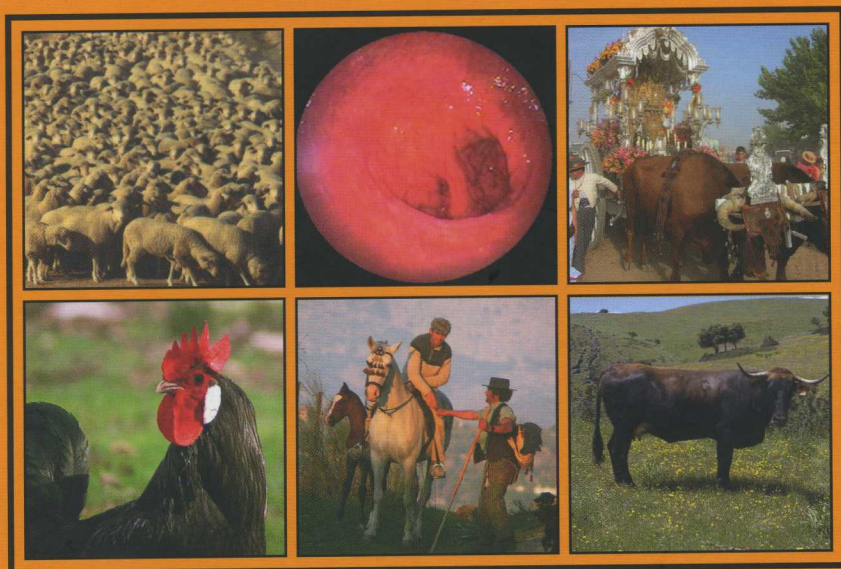


LA CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE RAZAS AUTÓCTONAS DE ANDALUCÍA



VOLUMEN III

PATRIMONIO GANADERO
ANDALUZ



JUNTA DE ANDALUCÍA
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA

LA CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE RAZAS AUTÓCTONAS DE ANDALUCÍA

Coordinadores Científicos:

Evangelina Rodero Serrano

Antonio Molina Alcalá

PATRIMONIO GANADERO ANDALUZ

VOLUMEN III



JUNTA DE ANDALUCÍA
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA

LA CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE RAZAS AUTÓCTONAS DE ANDALUCÍA.
PATRIMONIO GANADERO ANDALUZ. VOLUMEN III.

© Edita: Junta de Andalucía.

Consejería de Agricultura y Pesca.

Publica: Viceconsejería. Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Coordinadores Científicos: Evangelina Rodero Serrano y Antonio Molina Alcalá.

© Textos: Autores.

© Fotografías: Autores y Archivo de la Consejería de Agricultura y Pesca.

ISBN Volumen III: 978-84-8474-228-9

ISBN Obra completa: 978-84-8474-225-8

Depósito Legal: SE-6452-07 (3 volúmenes)

Diseño, maquetación e impresión: Ideas, Exclusivas y Publicidad, S.L.

ÍNDICE

Prólogo	5
ASPECTOS GENERALES DE LA CONSERVACIÓN DE RAZAS	7
Capítulo 1. La conservación de razas en el ámbito del mantenimiento de la biodiversidad, Argumentos a favor de la conservación de los recursos genéticos de animales domésticos. Objetivos de la conservación de RGAD. La Estrategia mundial de la FAO.	9
A. Rodero y E. Rodero	
Capítulo 2. Historia de la conservación en Andalucía. Antecedentes del panorama ganadero actual. Las competencias de la Comunidad Autónoma Andaluza en la gestión de sus RGAD.	27
A. González de Tánago	
ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA CONSERVACIÓN	57
Capítulo 3. La variabilidad genética en el ámbito de la conservación de recursos genéticos animales.	59
A. Molina, J. Fernández Martín y M. Valera	
Capítulo 4. Principios básicos sobre dinámica y gestión genética de pequeñas poblaciones.	99
A. Molina, M. Valera y J. Fernández Martín	
Capítulo 5. Técnicas reproductivas básicas para la conservación de razas.	131
I. Rodríguez Artiles	
Capítulo 6. Métodos genéticos y estadísticos de diferenciación entre poblaciones.	169
P. Azor, F. Goyache y J.P. Gutiérrez	
Capítulo 7. Los programas de conservación in situ. Base legislativa y ayudas medioambientales. Programas compensatorios, promoción. Iniciativas tipo Granjas parque.	185
A. Martín de la Rosa y C. Barba	

Capítulo 8. Programas de conservación ex situ. Creación de bancos de germoplasma. El futuro de la biotecnología.	201
J. Fernández, I. Vázquez y M. Valera	

Capítulo 9. Determinación del estado de riesgo y prioridades de conservación de las razas andaluzas en peligro de extinción.	247
E. Rodero	

EL FUTURO DE LAS RAZAS GANADERAS DE ANDALUCÍA 277

Capítulo 10. Búsqueda de nuevas posibilidades para las razas andaluzas. Implicación con las manifestaciones culturales, la artesanía, las tradiciones populares, productos de calidad, turismo rural, etc.	279
A. Luque, J.L. Muñoz, y J. Terroba	

Capítulo 11. Los problemas de la conservación de las razas en Andalucía.	301
A. Rodero y J.M. Pastor	

PRÓLOGO

LA CONSERVACIÓN DE LA DIVERSIDAD DE RAZAS DE ANDALUCÍA

Como se ha manifestado en el prólogo general de la obra, las razas de animales de Andalucía constituyen un patrimonio genético único que estamos obligados a conservar.

Así se entendió hace ya años (1995) cuando la propia Consejería de Agricultura y Pesca editó un tratado sobre “La conservación de razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción”, del que fuimos autores algunos de los redactores de la presente obra. Si ya en aquellas fechas, la conservación de recursos genéticos había despertado el interés de organismos internacionales, no ocurría lo mismo en nuestro país, pudiéndose considerar en este sentido a la Junta de Andalucía como pionera.

El paso del tiempo ha venido a incrementar la importación de la conservación de los recursos genéticos de los animales domésticos, como parte esencial del mantenimiento de la biodiversidad

Era obligado que la obra, que se publica en forma de tres tomos, se completase como colofón, con éste que aborda los procedimientos de conservación de las razas de animales domésticos, como obligación ineludible de aplicación por todos los que están implicados en el mundo ganadero andaluz.

El hombre civilizado que ha actuado como transformador del medio natural (homo faber “el hombre que hace o fabrica”) tiene que pasar a una nueva etapa en la que se cambien las perspectivas de su mundo y de su situación en él (Fabe hominus “cambio en la mentalidad del hombre”).

Así, este tercer tomo se inicia con un bloque introductorio en el que se expone el papel que puede jugar la conservación de las razas en el mantenimiento de la biodiversidad y los antecedentes históricos que existen de las distintas medidas tomadas, para ello, en el ámbito de Andalucía.

El segundo bloque describe los distintos métodos que se pueden aplicar para la consecución de tal objetivo, tanto in situ como ex situ, así como las bases genéticas, reproductivas y estadísticas de estas metodologías.

Acaba este tomo con una mirada hacia el futuro, teniendo en cuenta cuáles pueden ser las nuevas posibilidades que se ofrecen en un panorama esperanzador.

Con ello acabamos, recordando la frase de la Eneida: “Hic opus, hic labor est”. “He aquí la obra, he aquí la tarea”.

ASPECTOS GENERALES DE LA CONSERVACIÓN DE RAZAS



CAPÍTULO 1

LA CONSERVACIÓN DE RAZAS EN EL ÁMBITO DEL MANTENIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD. ARGUMENTOS A FAVOR DE LA CONSERVACIÓN

Antonio Rodero Franganillo¹ y Evangelina Rodero Serrano²

¹ Departamento de Genética. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales. Crta. Madrid Km 496. 14071. Córdoba.

² Unidad de Etnología. Departamento de Producción Animal. Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales. Crta. Madrid Km 496. 14071. Córdoba.

1. LA CONSERVACIÓN DE RAZAS EN EL ÁMBITO DEL MANTENIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD

E. Fimland y K. Oldenbroek (2007) recientemente se refieren a la Convención sobre la diversidad biológica (CBD) de las Naciones Unidas (FAO, 2004) que fue negociada dentro del Programa Ambiental de las Naciones Unidas y que fue abierta para la firma en 1992.

Dicha Convención, aunque no se centre en la Recursos Genéticos Animales Domésticos (RGAD) como tales, cubre toda clase de recursos genéticos como “material genético de valor actual o potencial” y, por otra parte, considera como material genético: “algún material de planta, animal, microbiano o de otro origen, conteniendo unidades funcionales de herencia”.

Los objetivos que se señalan en el artículo 1 de la CBD son: la conservación de la diversidad biológica, el uso sostenible de los componentes de la diversidad biológica y la justa y equitativa cuota de los beneficios que se produzcan de la utilización de los recursos genéticos. Aunque no directamente en la CBD se incluye la conservación de los recursos de animales y plantas, que son prerrequisitos para la seguridad alimentaria y la mejora de la productividad agrícola.

En la Conferencia Internacional sobre Biodiversidad, Ciencia y Gobernación que tuvo lugar en París en enero de 2005 se hizo pública una declaración que incluía, entre otras, las siguientes observaciones:

“La Tierra es el hogar de una tremenda diversidad biológica, que no solamente incluye millones de diferentes especies que habitan nuestro planeta, sino también la diversidad de sus genes, fisiología y conductas, multitud de interacciones ecológicas unas con otras y con sus ambientes físicos y la variedad de los ecosistemas complejos que ellos constituyen. Esta biodiversidad, que es el producto de más de tres billones de años de evolución, es una herencia natural irremplazable y un recurso vital del que la humanidad depende en diferentes caminos:

- Es una fuente de valores estéticos, espirituales, culturales y recreativos.
- Proporciona bienes con valores por su uso directo, tales como alimentos, lanas, textiles y productos farmacéuticos.
- Ello apoya y estimula los servicios de ecosistemas de los que depende las sociedades humanas frecuentemente de forma indirecta, tales como la producción de plantas y animales, polinización de cosechas, mantenimiento de la calidad del agua y fertilidad del suelo, el ciclo de nutrientes, protección contra patógenos y enfermedades, y resistencia de los ecosistemas a los trastornos y cambios ambientales.
- Proporcionan oportunidades a las sociedades humanas para adaptarse a los cambios de necesidades y circunstancias y a descubrir nuevos productos y tecnologías.

Esta biodiversidad está siendo destruida de manera irreversible por las actividades humanas. Entre éstas se pueden distinguir unas de carácter demográfica, económica, factores institucionales, incluyendo demandas por recursos biológicos y de tierra, debido al crecimiento de la población humana, al consumo y al comercio, unido al hecho de que no se ha tenido en cuenta, tanto por los ciudadanos como por el mercado, las consecuencias a largo plazo de los cambios ambientales y los valores de la biodiversidad.”

Sin embargo, esto que se manifestaba en el año 2005, no se podría repetir en la actualidad, a pesar del poco tiempo transcurrido.

Hoy día y gracias a la postura que han tomado organismos como la FAO, pero sobre todo por la comunidad científica especialista en medio ambiente, la mayor parte de los ciudadanos de los principales países son sensibles a los efectos de la contaminación ambiental, la pérdida, fragmentación y degradación de los hábitats, de la sobreexplotación de los recursos biológicos, la introducción de especies no autóctonas, tanto salvajes como domésticas, todo ello producto del cambio climático que ha alcanzado unos niveles difícilmente reversibles, lo que va a incidir no sólo en la vida de la especie humana en fechas próximas, sino que constituyen una serie de amenazas al desarrollo sostenible y a la calidad de vida de las generaciones futuras, muy especialmente en nuestra Comunidad Autónoma.

Esta situación de pérdida de biodiversidad y cambio climático preocupa a nuestras representantes autonómicas, lo que queda reflejado en el “Estatuto Autonomía de Andalucía”. En él se incluye el Título VII dedicado en su totalidad al Medio Ambiente, incluyendo artículos referentes a la conservación de la biodiversidad, al uso sostenible de los recursos naturales, a la producción y al desarrollo sostenible y a la protección de los animales, en particular de aquellas especies en peligro de extinción.

Se tiene en cuenta que son todas estas acciones competencia de la Comunidad autónoma de forma exclusiva en materia de agricultura, ganadería y desarrollo rural, tal como se recoge en el artículo 48.

Existen hechos diferenciales entre los problemas que aquejan a la biodiversidad de las especies salvajes de los correspondientes a las especies domésticas.

La diversidad de las especies salvajes es considerada en líneas generales, de modo conjunto y las actuaciones se dirigen a la supervivencia de las especies como un total, además, como se trata de animales en peligro de extinción, las poblaciones son minoritarias frecuentemente de reducida variabilidad genética y las medidas han de tomarse para toda la especies, sin tener en cuenta grupos subespecíficos.

En las especies domésticas el panorama es distinto. Cada especie está diferenciada en razas, que son los grupos étnicos, cuya conservación crea la preocupación y, por ende, las medidas a tomar.

Por otra parte, la desaparición de las razas domésticas puede tener una repercusión no sólo desde el punto de vista cultural y de pérdida de la herencia biológica, sino que también afecta, o puede afectar en el futuro, a la producción de alimento, al desarrollo sostenible y a la seguridad alimentaria.

La FAO estima que los sistemas de producción animal de tipo industrial, crecen al doble de velocidad que los sistemas tradicionales mixtos, y seis veces más rápidamente que los sistemas de pastoreo extensivo, lo que lleva a que la mayor parte de la producción mundial provenga de un número muy limitado de especies y razas.

Al mismo tiempo se exige a la industria pecuaria el correcto tratamiento de los desechos animales, la disminución de emisiones procedentes de producciones intensivas y la reducción de los gases que producen el efecto invernadero (FAO, 2000).

El diez y seis por ciento de los Recursos Genéticos Animales (RGA) se ha perdido en los últimos diez años y en la actualidad las razas que están en riesgo de desaparecer comprende aproximadamente 1/3 del total, 22% de mamíferos y un 48% de las especies aviares. De las especies de ganado conocidas existen, hoy día, un 70% en países en desarrollo.

Las tasas de pérdida son muy diferentes, según el tipo de país que se trata. Los países en vías de desarrollo tienen porcentajes más elevados que otros y determinantes sociopolíticos, económicos y agro-ecológicos dan lugar a la erosión genética más dramática de RGA, importantes para el sustento de muchos de los pobres del mundo (Alderson, 2006).

El aumento de la demanda de productos de origen animal en países en desarrollo causa cambios estructurales en el uso de la tierra a través de los sistemas intrusivos.

La interacción genotipo-ambiente significa que razas de animales adaptadas a esos sistemas de producción intensivos, no sean los más apropiados para los sistemas de producción que son característicos de países menos desarrollados (Alderson, 2006).

Se ha de aclarar que por RGA domésticos se incluyen todas las especies de animales, razas y estirpes (y sus homólogos salvajes) que son de interés económico, científico

y cultural para la humanidad, en término de la producción de alimentos y de otros productos agrícolas para el presente o para el futuro (Rege y Gibson, 2003). Generalmente se refiere a 40 especies de animales (lo que incluye aproximadamente 10000 razas o estirpes) que han sido domesticadas o semidomesticada durante los pasados 12 años (SGRP, 2006). De las 6300 razas conocidas en el año 2000 en todo el mundo, 1300 se han extinguido o están en peligro de extinción.

Los animales domésticos proporcionan el 30% de las necesidades de alimento o de otros productos de interés agrícola.

Hay que tener en cuenta que en Andalucía se dan simultáneamente los dos sistemas de producción. En ganado como el vacuno lechero y en ciertas razas de porcino y en la avicultura, el predominio claramente corresponde a los sistemas intensivos, en los que los animales están bajo el control humano, tanto su alimentación, como los cuidados sanitarios y tales RGA pueden ser manipulados para aumentar la productividad y los ingresos.

Por otra parte, en Andalucía también se da la cría extensiva de forma tradicional en zonas de montaña y dehesas, en las que la resistencia a enfermedades, a la sequía y a otras condiciones climáticas difíciles y , en general, los caracteres de rusticidad y de adaptación son de la mayor importancia (SGRP, 2006).

En este régimen extensivo se cría en la Comunidad andaluza razas como el cerdo ibérico, otras pertenecientes a la especie vacuna en producción de carne y ovinos y caprinos.

2. ARGUMENTOS A FAVOR DE LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE ANIMALES DOMÉSTICOS (RGAD).

En nuestra obra “Conservación de razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción (Rodero *et al*, 1995)”, se incluía un capítulo sobre las razones que justifica la conservación de tales poblaciones: lo transcribimos actualizando o modificando aquello que nos parece más perfeccionable.

Decíamos entonces siguiendo a Orozco (1985), podríamos agrupar los motivos que inducen a conservar las razas de animales domésticos del modo siguiente:

- A. Motivos de tipo cultural e histórico.
- B. Motivos de tipo biológicos y económicos.
- C. Motivos de tipo práctico.
- D. Motivos de tipo científico.

A) Motivos de tipo cultural e histórico.

Las razas que se han conservado a lo largo del tiempo, se pueden considerar como valiosos recuerdos de la naturaleza y de la cultura. Como tales tienen posibilidad de ser utilizadas como material de enseñanza e investigación en la historia y en la etnología. Hay bases éticas para cuidar el mantenimiento de las diferentes creaciones de la naturaleza.

Las historias evolutivas de los animales domésticos se han desarrollado, desde siempre, paralelas a la del hombre. Si bien la convivencia entre el hombre y algunas especies de animales puede remontarse a hace más de 40.000 años, la verdadera domesticación se inició con la revolución neolítica (10-12.000 años a.C.), que determina el asentamiento del hombre en los valles del Tigris y del Eufrates, cuando se convierte de cazador a agricultor. Muchas especies de ganado se domesticaron en esta área por primera vez y se someten a los procesos de mejora, también por primera vez. A partir de aquí se extienden a otros países por las tribus nómadas y por las conquistas militares. De esta forma se dirigen en cuatro direcciones: hacia la India, por el norte de África, hacia la Península Ibérica, donde entran por Andalucía, a lo largo del valle del Danubio en dirección a Escandinavia y por el Mediterráneo y Europa Occidental, para cruzar el Océano hacia las islas Británicas.

Se preguntaba L. Alderson (1978), ¿Porqué la supervivencia de nuestras tradicionales razas autóctonas de ganado es menos importante que la preservación de edificios históricos o plantas raras?.

El conocimiento de la historia de las migraciones humanas en distintas épocas, las relaciones del ganado con folklores tradicionales y antiguos, la política comercial de producción animal, el proceso alimentario del hombre según las costumbres de los distintos pueblos que han invadido una región o un país, el conocimiento de las ordenanzas y otras disposiciones reales o feudales, justificaría suficientemente conservar esas razas que han influido en todos esos aspectos.

La conservación de poblaciones de algunas especies proporciona, a veces, las evidencias de la herencia de una región o nación.

También hay ejemplos en los que el camino vital de un pueblo determinado está asociado con ciertas razas. La oveja del Desierto Sudanés son criadas por el pueblo nómada sudanés (Ponzoni, 1997), ovejas que están perfectamente adaptadas al medio y al régimen de vida del pueblo Abbale.

Motivos para la conservación de razas autóctonas:

1. De tipo cultural.
2. De tipo biológico.
 - Reducir el riesgo de pérdida de genes.
 - Mantener variabilidad y flexibilidad genética.
 - Superar los límites de selección.
3. De tipo práctico.
 - Mejora de la selección.
 - Adaptación al medio.
 - Cubrir en el futuro la demanda de los consumidores.
 - Búsqueda de genes de mayor cruzamiento.
4. De tipo científico.
 - Estimación de progreso genético.
 - Investigaciones sobre evolución y filogenia.

Los ancestros y la localización actual de las modernas razas de ganado puede sugerirse siguiendo las huellas de estas migraciones tribales y conquistas militares. Las tribus nómadas juegan un papel importante por su carácter pastoril, acompañándose de sus ganados en los desplazamientos.

Se puede decir que el mantenimiento de las razas domésticas se justifica porque éstas son una expresión de la herencia y de la cultura del hombre, a lo que habría que sumar razones de tipo educacionales y económicas.

B) Motivos de tipo biológicos y económicos

Para Dobzhansky (1951) la raza es una categoría de clasificación y un fenómeno biológico y para Lerner y Donald (1969) se corresponde con una población que tiene un carácter que la identifica, o bien cuando para ellas hay asociaciones de ganaderos.

En el proceso de formación de las razas ha habido dos periodos:

- a) Periodo natural en el que el ambiente, la mutación, la recombinación, la selección y la deriva han jugado un papel preponderante.
- b) Periodo artificial: con creación consciente, por el hombre, de razas, motivado ello por el interés de variedades locales, por la existencia de mercados y exportación, por concursos y por la creación de asociaciones ganaderas.

La domesticación, así como las áreas ecológicas diferenciales, han supuesto un aumento de la variabilidad genética, como consecuencia de la disminución de la presión selectiva y porque al hacerse más numerosas las poblaciones, aunque la tasa de mutación sea la misma que en las poblaciones primitivas salvajes, tendrán mayor cantidad de mutantes (Lauvergne, 1982).

Simón (1984) ofrece los siguientes argumentos biológicos para la conservación del material genético animal:

- a) Mantenimiento de la variabilidad y flexibilidad genética para responder a requerimientos futuros, que pueden ser de tipo nutricional del hombre, de nuevas clases de alimentos para el ganado, de cambios ambientales o de nuevos tipos de enfermedades. Hay que tener en cuenta que se ha perdido variabilidad genética en la mayor parte de las razas mejoradas, tanto por selección como por deriva.
- b) Mantenimiento de poblaciones de reserva para superar los posibles límites de la selección dentro de las poblaciones actuales y dentro de los medios ambientes en que se crían. La pérdida de variabilidad genética dificultaría el proceso genético en el futuro. La respuesta a la selección cesará más pronto o más tarde, después de un declive en magnitud continuo. Sin embargo, este problema no es simple. Normalmente se selecciona para un genotipo agregado y no para un simple carácter, así que las preocupaciones contra el límite de la selección representa una situación compleja. Para “romper” el límite sería necesario reemplazar la totalidad de

la población actual, lo que parece poco probable. Si el límite de la selección está causado por correlación genética negativa, las causas reales de tal límite pueden ser el ligamiento o la pleiotropía. En estas circunstancias las líneas o razas no seleccionadas pueden ser la solución cuando los niveles productivos sean bajos, pero pueden fallar cuando sean altos. Las poblaciones de reserva serán tanto más útiles en superar el límite de la selección, si ellas mismas son especialmente productivas. Especialmente es de interés la conservación de líneas especializadas con dos posibilidades:

- Reducir el riesgo potencial de pérdida de genes, a partir de la respuesta a la selección correlacionada no manifiesta, siempre que se aplica la selección para un carácter diferente en cada línea.
 - Utilizar la superioridad genética en caracteres aislados por combinación de líneas especializadas para producir nuevas líneas sintética o para programas de cruzamiento.
- c) Mantenimiento de las variabilidades genéticas para mejorar producciones animales aceptables en condiciones desfavorables. Este punto es de especial interés en la producción en régimen extensivo en regiones marginales de Europa, o en países en vías de desarrollo. En tales regiones la productividad animal ha de basarse en la adaptabilidad al medio desfavorable, medida sobre la producción total y no sobre la base de un único carácter.
- d) Para una mejor comprensión por el hombre de todos los aspectos de la biología animal. Bowman y Aindow (1973) sugieren el estudio científico de diferentes razas para entender más claramente la evolución doméstica y los efectos de la selección natural y artificial.

C) Motivos de tipo práctico

Los motivos biológicos que se han reseñado en el apartado anterior pueden exponerse desde una perspectiva más eminentemente práctica:

- a) En numerosas ocasiones se ha tenido en cuenta de manera muy superficial las ventajas de las razas seleccionadas. Por ejemplo, la selección para la producción de leche se ha realizado en el pasado, referido al individuo sin tener en cuenta el consumo de alimentos y otros costes, y sin evaluar las funciones de producción dentro de un análisis de cada sistema. En ocasiones, si así se hiciese, la superioridad podría inclinarse a favor de las razas autóctonas.
- b) La necesidad de una mejor utilización de las tierras puede obligar a que se recurra a razas autóctonas, que tienden a desaparecer, y que están perfectamente adaptadas al medio.
- c) La demanda de los productos ganaderos y los gustos de los consumidores, pueden cambiar a lo largo del tiempo, y, de hecho así ha ocurrido ya. Se podrá cubrir

bien nuevas necesidades, en ocasiones recurriendo a genes incluidos en los acervos de razas autóctonas.

Es frecuente recordar que existe una consideración práctica en el supuesto de que razas o estirpes preservadas pueden contribuir a la mejora en eficiencia o calidad de la producción comercial de cara al futuro. Es una justificación razonable, porque es bien conocido que los ambientes de producción y el marketing cambian con el tiempo. Los beneficios económicos de la conservación son difíciles de calcular, a causa de que la naturaleza y magnitud del cambio futuro no se conoce. Por ejemplo, el beneficio derivado de conservar una raza minoritaria resistente a una enfermedad determinada depende de la incidencia futura de la enfermedad y de la disponibilidad de poder contar con métodos alternativos de su control. No obstante, se concluye que, aún con una probabilidad baja de usar un lote conservado, los programas de conservación pueden estar económicamente justificados.

- d) Los criterios de explotación pueden también cambiar a lo largo del tiempo buscando nuevos ambientes en los que cruzar a las distintas especies de animales domésticos.

Los posibles cambios de las condiciones ambientales pueden pertenecer a los siguientes grupos (Maijala, 1974): cambios en la alimentación; nuevas enfermedades; nueva tecnología en las condiciones de alojamiento y cambios en el manejo.

Especialmente interesantes a este respecto, es tener en cuenta la interacción genotipo-ambiente.

- e) Es cada vez mayor el interés por la búsqueda en distintas razas, entre ellas una mayoría de autóctonas, de genes mayores que incidan en caracteres productivos o reproducidos de una manera favorable. Tal, por ejemplo, el gen Boorola de la raza Merina.
- f) Algunas de las razas, de las que se propugnan su mantenimiento, podrán ser utilizadas en el futuro en cruzamientos con las mejoradas, buscando los efectos del fenómeno de la heterosis.
- g) Las razas autóctonas pueden jugar un papel fundamental en la conservación medioambiental y en la lucha contra el cambio climático, al ser un elemento decisivo en la conservación de zonas de carácter marginales, dehesas y de montaña, que sin la presencia del ganado experimentarían una fuerte degradación, y, en algunos casos, el peligro de ser pasto de las llamas.
- h) Las razas autóctonas también son las únicas susceptibles de convertirse en productoras de alimentos ecológicos, lo que supone un plus de garantía de seguridad alimentaria. A los consumidores en los países desarrollados y, cada vez más, en los países en desarrollo, les preocupa el origen de los productos y las condiciones de producción. Se crea así una demanda de productos especializados de alta calidad, muchas veces proveniente de razas locales bajo sistemas tradicionales (FAO, 2000).

El bienestar animal se incrementa en este tipo de cría en sistemas extensivos.

D) Motivos de tipo científicos

Pueden considerarse los siguientes (Maijala, 1987):

- Como poblaciones de control en las estimaciones del progreso genético y de la respuesta correlacionada.
- El mantenimiento de una gran variabilidad animal es beneficioso en las investigaciones de genética, fisiología, bioquímica, inmunología, etc.
- Igualmente, lo es en la investigación de la evolución, ontogenia, conducta, etc.
- Las razas autóctonas pueden ser útiles como material de enseñanza en las ciencias animales.

Se resumen a continuación estos argumentos expuestos:

1. De tipo cultural

2. De tipo biológico

- Reducir el riesgo de pérdida de genes
- Mantener variabilidad y flexibilidad genética
- Superar los límites de selección

3. De tipo práctico

- Mejora de la selección
- Animales adaptados al medio
- Cubrir en el futuro cambios en la demanda de los consumidores
- Búsqueda de genes mayores de interés productivo
- Cruzamientos con razas mejoradas

4. De tipo científico

- Estimaciones del progreso genético
- Investigaciones sobre evolución
- Material de enseñanza

3. OBJETIVOS DE LA CONSERVACIÓN DE RGAD

De lo indicado en el apartado anterior se desprenden los siguientes objetivos:

- a) Conservación de genotipos de interés científico
- b) Proteger y promover razas de interés en zonas agrícolas especiales de régimen extensivo.
- c) Conservación del patrimonio genético con vista a cambios en la tecnología de las explotaciones y gustos de los consumidores.
- d) Posibilidad de utilizar a los animales en cruzamiento con otras razas mejoradas pero del menor adaptación.
- e) De tipo cultural.

Para D. L. Simon. (1999) los objetivos de conservación de razas (él las refiere a la especie bovina) serían:

a) Orientados a la utilidad:

- Razas locales que están bien adaptadas a condiciones de producción desfavorables, pero que están en peligro a causa de un potencial de producción bajo o medio. Serían razas dignas de ser conservadas y mejoradas para utilizarlas proporcionando productos animales a una población humana en crecimiento. Es lo que llama Simon “Conservación por uso sostenible”.
- Conservación de razas que están en riesgo de extinguirse a causa de no ser competitiva en algunas condiciones de producción favorable, pero que puede poseer un potencial genético específico que puede ser útil, en el futuro (desconocido ahora). Lo que denomina Simon “conservación por uso potencial, posterior”.

b) Objetivos no orientados por su utilidad.

- Conservación por razones culturales, históricas, éticas y/o locales, de razas en peligro.
- Conservación por el nuevo hecho de estar en peligro según la política de la U.E. con solo dos requisitos: que sea local y que este en peligro de extinción; pero no se tiene en cuenta que haya otras similares.

Estos objetivos se traducirán en las siguientes medidas aconsejadas por la FAO (2000).

1. Elaborar inventarios completos de las razas y controlar su evolución.

En la presente obra sobre “Razas autóctonas de Andalucía” se hace un aporte importante a este apartado.

2. Implementar la caracterización de razas.

El trabajo ya realizado por los grupos de investigación que se han responsabilizado de elaborar la presente obra, ha hecho un esfuerzo considerable en este sentido y con poco trabajo adicional se completará la caracterización de las razas andaluzas de animales domésticos.

3. Mantener el conocimiento, las prácticas y los modos de vida tradicionales que contribuyen a las actividades de conservación.

Las asociaciones de ganaderos deben tener el principal protagonismo en esta tarea, con el apoyo de la Administración.

4. Integrar la gestión de los RGAD en la planificación del fomento pecuario.

Casi todas las asociaciones de razas autóctonas de Andalucía, que están en trance de conservación, han conveniado con centros universitarios y de investigación programas de selección en busca de la mejora y de definiciones de tales poblaciones.

5. Mejorar la capacidad de gestión, de investigación e institucional para hacer inventarios de los RGA, así como su seguimiento y caracterización.

6. Crear política y marcos jurídicos en recursos zoogenéticos como contribución al sector ganadero.

A nivel nacional, las normas existentes en este sentido están recogidas en otro tema de esta obra.

En el anteproyecto de Ley para el Desarrollo sostenible del medio rural del MAPA se expresa como uno de los objetivos en el artículo 2: conservar y recuperar el patrimonio y los recursos naturales y culturales del medio rural a través de actuaciones públicas y privadas que permitirán su utilización con un desarrollo sostenible.

A nivel autonómico también se han dictado normas que deben ser complementadas con otras específicas para Andalucía en función de su capacidad de decisión al haberse transferidas las competencias.

7. Crear mayor conciencia pública de la función y del valor de los recursos zoogenéticos para promover inversiones en este sector. Todo lo que se haga en este sentido es poco. La educación de los ciudadanos y los programas que creen conciencia pública deben ser reforzados y mejorados para conseguir los objetivos que se han propuesto.

Medidas aconsejadas por la FAO:

- Elaborar inventarios de razas.
- Caracterización de razas.
- Mantener las prácticas y modos de vida tradicional.
- Integrar la gestión de los RGAD en la planificación del fomento pecuario.
- Gestionar e investigar mejor los apartados anteriores.
- Crear política y marcos jurídicos para la conservación de RGAD.
- Crear conciencia pública.

Estos objetivos nos llevan a hacernos la siguiente pregunta. ¿Qué razas deben conservarse?. La respuesta sería:

- a) Razas autóctonas, las únicas adaptadas a su medio ambiente, o que demuestren vigor híbrido cuando se cruzan con otras.
- b) Razas locales de alta productividad y poco conocidas.
- c) Razas únicas desde el punto de vista genético.
- d) Razas de gran belleza externa
- e) Razas importantes desde el punto de vista histórico.

Desde la óptica genética, el sentido del progreso debe ser reexaminado. El progreso hacia objetivos no bien concebidos ha dado como resultado la desaparición de muchas razas valiosas. Así como la eficiencia de la selección aumenta, el cambio es más rápido y la oportunidad de pérdida es mayor. Por tanto, los avances tecnológicos de la Inseminación Artificial, del Transplante de Embriones y de la Ingeniería Genética pueden ser contraproducentes, a menos que sean cuidadosamente controlados y empleados de un modo constructivo.

La Estrategia Mundial de la FAO para la conservación de los RGAD

En nuestro trabajo ya citado (Rodero *et al*, 1995) iniciábamos este tema haciendo un recorrido histórico sobre las medidas tomadas por los distintos organismos para la conservación de razas que completamos actualizando las referencias que se hacían.

Se decía lo siguiente:

Desarrollo histórico.

Por las facilidades que ofrecen las plantas para la conservación de especies y variedades respecto a los animales, los primeros intentos de conservación de recursos genéticos tuvieron lugar en el mundo vegetal hacia el año 1928 por el ruso Vasilov, quién fundó en el Instituto de Mejora de Plantas de Leningrado un banco de reserva genética. En el mundo animal la primera fecha hay que acercarla a 1959, cuando en un Simposio de recursos sobre germoplasma, organizado en Chicago, tanto para mejoradores agrícolas como ganaderos, se expresó la necesidad de la conservación de recursos genéticos animales, si bien la FAO desde 1946 estaba interesada en este tema.

Siguiendo estas recomendaciones en la 2ª Conferencia Europea Avícola, que tuvo lugar en Bolonia en 1964, gran parte de su contenido se dedicó a considerar la conservación de recursos genéticos avícolas, siendo a este respecto el Dr. Orozco un pionero en España.

Sin embargo, el interés general del mundo científico, administrativo y ganadero sobre el mantenimiento de las razas de animales domésticos se consolida a partir del I Congreso

de Genética Aplicada a la Producción Animal, celebrado en 1974 en Madrid, a iniciativa y por organización del Profesor Cuenca, en el que se incluyó una mesa redonda sobre conservación, con contribuciones de los más destacados especialistas internacionales, contribuciones que han constituido un cuerpo de doctrina que todavía tiene vigencia.

Los posteriores Congresos de Genética aplicada a la producción animal han mantenido el interés por la conservación de recursos animales, incluyendo en su temario las mesas redondas correspondientes.

Pero la atención de la FAO por las razas en vías de extinción le ha hecho tomar cada vez un mayor protagonismo en los estudios y recomendaciones sobre la conservación de tales razas. De esta forma, se han organizado grupos de estudios para discutir los distintos problemas que se crean, cuando se llevan a cabo las acciones propuestas.

Tuvo la FAO una primera reunión técnica en 1966 para vacuno, cerdos y aves y posteriormente ha organizado otras de tipo monográfico para vacuno (1968), en Roma; porcino (1971), en Copenhague; aves (1973), en Nouzilly y vacuno y ovino en 1977.

En 1980, la FAO y la UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) organizan en Roma un Panel de expertos para el asesoramiento de la citada organización.

En 1988, la Sociedad Europea para la Producción Animal y la División de la Salud y la Producción Animal llegan a un acuerdo con el objeto de, a través de un cuestionario, recoger información sobre recursos animales de países desarrollados o en vías de desarrollo para introducirlos en el banco de datos del Instituto de Mejora Animal de Hanóver (Alemania).

En las Conferencias de la FAO se sugieren recomendaciones a los gobiernos de los países miembros para el desarrollo y conservación de las razas.

En 1997 la EAAP, en su Banco de datos genéticos de animales, había acumulado para la especie bovina información sobre 305 razas en 35 países europeos. De ellos 156 (51%) eran clasificados como encontrarse en situación de riesgo (Simon, 1999).

La receptibilidad internacional del papel esencial de los RGAD en la alimentación y en la agricultura estaba aumentando gradualmente.

En la 2ª Conferencia de las Partes (COP) para la Convención de la Diversidad Biológica (CBD) de 1995 se reconoce la naturaleza especial de la biodiversidad agrícola, sus problemas y características específicas y la necesidad de soluciones también específicas, decidiéndose en 1996 desarrollar un programa de trabajo sobre la biodiversidad agraria.

Más tarde, en 2000, la Conferencia aprueba un programa de trabajo multianual que incluye diversos componentes

Mientras desarrollaban la Agenda 21, la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas enfatiza la necesidad de promover la agricultura sostenible y el desarrollo rural y resalta la necesidad esencial de asegurar la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos para alcanzar una agricultura sostenible (Cardellino, 2004).

4. BANCO DE DATOS

La línea principal de actuación de los distintos organismos se ha dirigido hacia la creación de bancos de datos.

En Europa se desarrollaron dos bancos de datos, el del Nordic Minister Council, que abarcaba aparte de las comunes especies domésticas, las especies de peletería, conejos, aves y abejas y el de la EAAP (European Association of Animal Production), que se gestó a partir de la reunión de la EAAP en 1985; este banco sólo recoge información de las siguientes especies domésticas: vacuno, caprino, equino, porcino y ovino, incluyendo datos tanto etnológicos como genéticos (marcadores genéticos, aberraciones cromosómicas, etc.).

El banco de la EAAP se unificó con el de la FAO, pasando a incluir, además de los países miembros de esta asociación, a las naciones en vías de desarrollo de Centro y Sudamérica, África y Asia.

Actualmente, impulsado por la FAO, hay un intento de unificación de los bancos de datos de los diferentes países; así técnicos de la India y China han sido subvencionados por la FAO con estancias en el Instituto Tierzuch de Hannover, para homogenizar los programas de informatización y manejo de datos así como los cuestionarios.

En junio de 1989 se celebró en Hannover la última reunión mundial de los encargados de recursos genéticos de diferentes países con este propósito, en el FAO-Workshop on Animal Genetic Resources in Hannover (Alemania). Y posteriormente en 1992, se celebró otra reunión en el mismo lugar, sobre la recolección de datos, conservación y uso de los recursos genéticos del ganado.

Como se ha indicado, en 1985, al Departamento de Mejora Animal de la Universidad Veterinaria de Hannover se le encargó por la EAAP crear el Banco de Datos de Genética Animal Europeo. Entre 1988 y 1991 dicho departamento con el acuerdo de la FAO manejó el Banco de Datos Mundial para los RGAD.

Establecido por la FAO el nivel global del sistema de información de la Diversidad de animales domésticos (DAD-IS) recogía los datos del Banco del Departamento de Hannover, que recuperó su *status* europeo. Desde 1994 los dos bancos de datos han venido funcionando separadamente, usando cuestionarios para la recolección de datos ligeramente diferentes (Martyink, 2004).

El DAD-IS se enmarca en un ámbito más amplio que constituye la Estrategia global, que incluye cinco elementos estructurales:

- Punto Focal Mundial en la Sede Central del FAO, encargado de la planificación, desarrollo e implementación en su totalidad.

- Punto Focal Regional, que facilita las comunicaciones regionales.
- Punto Focal Nacional, conduce, facilita y coordina las actividades de un país.
- Mecanismos de compromiso de donadores y patrocinadores que proporcionan el apoyo de amplia base para la Estrategia Global.
- El DAD-IS que funciona como mecanismo de “limpieza casera” para la Estrategia Global (Cardellino, 2004).

Esta Estrategia Mundial para la Conservación de los RGA la inició la FAO hace 10 años. En 1995 el Consejo de la FAO recomendó que la Comisión de los Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, con la ayuda de su grupo de Trabajo Técnico Intergubernamental sobre los RGAD, coordinaran su elaboración complementaria y su aplicación. La FAO, pues, constituye el centro de coordinación mundial de la Estrategia en el marco de la División de Producción y Sanidad Animal.

Los cuatro componentes principales de la Estrategia Mundial son: el mecanismo intergubernamental, la planificación y la infraestructura de aplicación basada en los países; el programa técnico de trabajo y el componente de presentación de informes y evaluación.

Respecto al primer componente se han celebrado diversas reuniones y conferencias regionales en los que se presentan informes sobre la situación de los RGA.

El apoyo a los centros nacionales de coordinación para los RGAD sigue siendo uno de los elementos más importantes de la Estrategia Mundial y ya se han designado coordinadores en 129 países. El grupo de trabajo recomendó a la FAO que insista en la necesidad de que los países establezcan y refuercen sus centros nacionales de coordinación de sus recursos genéticos para promover su participación en la elaboración adicional de la Estrategia Mundial.

Se ha analizado también la situación de los centros de coordinación regionales y se consideran fundamentales para la Estrategia Mundial la participación de los interesados y donantes y la potenciación del DAD-IS.

El programa técnico de trabajo del año 2004 incluye:

- Caracterización que parte de las Mediciones de la Diversidad de los Animales Domésticos (MODAD). Por parte de la Sociedad Internacional de Genética Animal y de la FAO se ha constituido un comité permanente para elaborar normas que homologan los trabajos de caracterización genética con el empleo de microsatélites.
- Conservación: Se ha acordado investigar la viabilidad de establecer unas genotecas de RGAD, aunque en muchos países la conservación *in situ* es prioritaria.
- Asistencia técnica. El Grupo de Trabajo ha recomendado que los países elaboren proyectos de cooperación técnica con la FAO y otras organizaciones, a la luz de las posibilidades estratégicas señaladas en los informes nacionales en el proceso de la “situación de los recursos zogenéticos mundiales”.

- Estrategia de comunicación. Se han tomado varias medidas de comunicación para mejorar la toma de conciencia de las funciones y valores de los RGAD en la contribución a la seguridad alimentaria y al desarrollo rural (CGRFA-10/04/8).

Cardellino (2002) recordaba que los informes nacionales que serían la base del Primer informe sobre la situación de los RGAD mundiales tenían seis partes principales:

Contenido de los informes nacionales, base del primer informe de la FAO sobre la situación de los RGAD (Cardellino, 2002):

- Estudio actual de los RGAD nacionales.
- Cambios en la demanda de los productos ganaderos.
- Estado actual de la capacitación nacional.
- Prioridades nacionales para la conservación.
- Cooperación nacional.

- Estado actual de los RGA nacionales
- Cambios en la demanda sobre la producción nacional ganadera.
- Estado actual de la capacitación nacional.
- Prioridades nacionales para la conservación y utilización de los recursos zoogenéticos.
- Cooperación internacional en biodiversidad de los animales de granja.
- Otros elementos.

10 principios de conservación de la biodiversidad:

Los diez principios siguientes han orientado a las personas e instituciones creadoras de la Estrategia Global para la Biodiversidad.

1. Cada manifestación de vida es singular, y la humanidad debe respetarla.
2. La conservación de la biodiversidad es una inversión que produce considerables beneficios locales, nacionales y mundiales.
3. El costo y los beneficios de la conservación de la biodiversidad debería repartirse en forma más equitativa entre las naciones y los habitantes de cada una de ellas.
4. Como parte del esfuerzo a gran escala encaminado a lograr un desarrollo sostenible, la conservación de la biodiversidad requiere una modificación radical de las modalidades y prácticas del desarrollo económico a escala mundial.
5. Por sí solo, un mayor financiamiento de la conservación de la biodiversidad no desacelerará el deterioro de la misma. Es necesario reformar las políticas y las instituciones para crear condiciones que hagan eficaz un mayor financiamiento.
6. El orden de prelación de los objetivos de la conservación de la biodiversidad difieren según se examinen desde una perspectiva local, nacional o mundial; todos esos objetivos son legítimos y deben tenerse en cuenta. Además todos los países y las comunidades están interesados en conservar su biodiversidad; la atención no debe centrarse exclusivamente en unos pocos ecosistemas o países ricos en especies.
7. Solo será sostenida la conservación de la biodiversidad si se incrementa considerablemente el interés y la preocupación de la población y si los responsables de elaborar políticas tienen acceso a una información confiable sobre la cual basar sus decisiones al respecto.
8. Las medidas encaminadas a conservar la biodiversidad deben planificarse y ejecutarse a una escala determinada por criterios ecológicos y sociales. La actividad debe centrarse en los lugares en que las personas viven y trabajan, así como en zonas en estado naturales protegidas.
9. La diversidad cultural guarda estrecha relación con la biodiversidad. El saber colectivo de la humanidad sobre la biodiversidad y su uso y gestión se basa en la diversidad cultural. A la inversa, conservar la biodiversidad suele ayudar a reforzar la integridad y los valores culturales.
10. Una mayor participación de la población, el respeto de los derechos humanos básicos, un acceso más expedito de la población a la educación y la información, y una mayor responsabilidad de las instituciones son elementos esenciales de la conservación de la biodiversidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Alderson, S.; Centonze, R. 2006. Property Rights and the Management of Animal Genetic Resources. IFRRRI. USA.
- Alderson, L. 1978. The Chance to Survive. Rare breeds in a changing world. Cameron and Tayleur. London.
- Bowman, J.C.; Aindow, C.T. 1973. Genetic conservation and the less common breeds of British cattle, pigs and sheep. Study nº 13. Department of Agriculture. University of Reading.
- Cardellino, R.A. 2002. La Estrategia mundial de la FAO para los recursos zoogenéticos. Proceeding V Congreso de la Sociedad Española para los Recursos Genéticos animales. Madrid.
- Cardellino, R.A. 2004. Conservation of farm animal genetic resources a global view. En Farm animal genetic resources: 1-15. Edita: G. Simon, B. Willanueva, K.D. Sinclair y S. Townsend.
- CGRFA-10/04/8. Informe de la Tercer Reunión del Grupo de Trabajo Técnico Inter-gubernamental sobre los Recursos Zoogenéticos.
- Dobzhansky, Th. 1951. The Genetics and the origin of species. N.Y. Columbia University Press.
- Fimland, E.; Oldenbroek, K. 2007. Practical implications of utilization and management. En Utilization and Conservation of farm animal genetic resources. Edita: K. Oldenbroek.
- FAO. Comisión de Recursos Genéticos para la alimentación y la agricultura. 2004. visión de conjunto de la Estrategia Mundial para la ordenación de los Recursos genéticos de los animales de granja. Edita FAO.
- FAO 2000. Protección de la diversidad zoogenética para la agricultura y la alimentación. Tiempo de actuar. Edita: Dirección de Producción y Sanidad Animal. FAO.
- Lauvergne, J.J. 1982. Genetics in animal populations after domestication: The consequences for breeds conservation. 2nd Congress on genetic apple to Livestock Production. Madrid. T. VI: 77-87
- Lerner, I.M.; Donald, H.P. 1969. La nueva zootecnia. Editorial Academia
- Maijala, K. 1974. Conservation of animal breeds in general. Proc. 1er Congreso Mundial de Genética aplicada a la producción ganadera: 37-46.

- Maijala, K. 1987. Possible Role of Animal genetic Resources in Productions, Natural Environment Conservation, Human Pleasure and Recreation. FAO. Animal Production and Health Paper nº 66: 205-216.
- Martyniuk, B. 2004. The conservation of animal genetic resources a European perspectives. En Farm animal genetic resources: 15-34. Edita: G. Simon, B. Willanueva, K.D. Sinclair y S. Townsend.
- Orozco, F. 1985. Algunas ideas sobre el concepto de razas en animales domésticos. Comunicaciones INIA. Serie producción animal nº 10.
- Ponzoni, R.W. 1997. Genetic Resources and Conservation. En “The genetic of sheep”. Edita CAB International.
- Rege, JEO.; Gibson, J.P. 2003. Animal Genetic resources and economic development: issues in relation to economic evaluation. Ecological Economics 45 (3). 319-330.
- Rodero, E.; Delgado, J.V.; Rodero, A.; Camacho, M.E. 1995. Conservación de razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.
- Simon, D.L. 1999. Genetic Resources and Conservation. En “The genetics of cattle”. Edita CAB International.
- Simon, D.L. 1984. Conservation of animal genetic Resources. A Review Lives. Prod. Sci. 11: 23-36.
- System-wide Genetic Resources Programme. 2006. Farm animal genetic resources: technical considerations for policy markers concerning conservation and use. Secretariat of the CGIAR. Italia.

CAPÍTULO 2

HISTORIA DE LA CONSERVACIÓN EN ANDALUCÍA. ANTECEDENTES DEL PANORAMA GANADERO ACTUAL. LAS COMPETENCIAS DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA ANDALUZA EN LA GESTIÓN DE SUS RGAD

Antonio González de Tánago del Río

Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía

1. INTRODUCCIÓN

El sector ganadero de Andalucía, aunque de menor importancia relativa en el conjunto agrario que en otras regiones, hace una importante contribución a la economía y a la conservación de una parte considerable del territorio andaluz. Por ello, la ganadería en conjunto y, dentro de este campo, la conservación y mejora de sus razas, ha sido uno de los objetivos básicos de la política agraria del Gobierno de la Comunidad Autónoma Andaluza desde sus primeros momentos. Incluso, en fase pre-autonómica, en la que no había apenas competencias transferidas, la Consejería de Agricultura y Pesca ya realizó un exhaustivo estudio del sector, que denominó “Plan Ganadero de Andalucía”, que vio la luz en 1982 pocos meses antes de nombrarse al primer Gobierno autónomo de la Junta de Andalucía, con vistas a preparar las bases de la futura política autonómica en este sector.

Atendiendo al índice sugerido por los coordinadores de esta obra, en este capítulo se pretende describir las actuaciones de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía en sus primeros tiempos y el contexto competencial en que se desarrollaron, en lo que se refiere al campo de la conservación y mejora de las razas ganaderas. En particular, con algo más de detalle, en lo que concierne a las razas autóctonas que se encontraban en peligro de extinción, desde las primeras actuaciones que hizo con medios propios a lo que posteriormente gestionó con el apoyo de la UE y el MAPA.

Por último y por la significación especial que tuvieron en aquellos primeros años, se incluyen dos apéndices sobre dos proyectos singulares y poco conocidos, el del Centro de Selección de Ovino, de Hinojosa del Duque (Córdoba) y el del Centro de Selección de Porcino Ibérico, de “La Atalaya” en Cazalla de la Sierra (Sevilla).

2. COMPETENCIAS, TRANSFERENCIAS Y POSIBILIDADES REALES

Aunque ya en fase “preautonómica” se habían producido algunas transferencias en materias agrarias de funciones y medios materiales y humanos, es el año 1982 el que verdaderamente marca el inicio de la actividad de la Junta de Andalucía en una gran parte de las áreas relacionadas con la agricultura y ganadería, entre las que, lógicamente, deberían encontrarse las relativas a la conservación y mejora de las razas ganaderas.

Para entender mejor la historia de las primeras actuaciones de la Administración Autónoma de Andalucía hay que tener presente que la posibilidad de asumir funciones y desarrollar una política propia, en muchos campos y, en concreto, en el que nos ocupa, no solo dependía de las competencias “teóricas” que sobre la materia en cuestión se reflejaran en el marco constitucional (Constitución Española y Estatuto de Autonomía) sino, más importante que aquello, de la disponibilidad real de medios, tanto humanos como materiales y del nivel de desarrollo en que se encontraran estas funciones.

Las competencias “teóricas” de la Junta de Andalucía eran las atribuidas a la misma en dicho marco constitucional, en concreto, según rezaba el artículo 18.1 del Estatuto de Andalucía, “*corresponde a la Comunidad Autónoma de Andalucía, de acuerdo con las bases y la ordenación de la actividad económica general, la competencia exclusiva sobre las siguientes materias: 4º Agricultura y ganadería,....*”

Sin embargo, las posibilidades reales de actuación de la nueva Administración Autónoma, iban a depender mucho más que de las competencias que le atribuía el marco constitucional, de otras dos realidades más concretas, los medios disponibles, tanto personales como materiales que podían dedicarse a unas determinadas funciones, y la propia capacidad de la nueva administración, no solo para mantener el nivel anterior de la política sectorial sino, en su caso, para iniciar nuevas líneas de trabajo.

Respecto a los medios personales, hay un hecho básico que debe tenerse en cuenta para entender bien aquella situación. En la anterior Administración, la “cabeza pensante y directiva”, en general, se concentraba fundamentalmente en los servicios centrales del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), mientras que “las provincias”, las Delegaciones Provinciales, se limitaban normalmente a funciones de ejecución de las acciones organizadas centralmente.

En el proceso de transferencias, en cuanto a personas se refiere, lo que mayoritariamente se traspasó a las autonomías fue el personal de las Delegaciones Provinciales, mientras que, salvo muy raras excepciones, las personas de los servicios centrales no fueron transferidas.

En el área que más nos interesa, el de la mejora animal, apenas se gestionaba nada en las Delegaciones Provinciales, tan solo algunas labores complementarias, mientras que las funciones de mayor importancia y nivel técnico se gestionaban principalmente desde unos centros específicos, no provincializados, los Centros Nacionales de Selección y Reproducción Animal (CENSYRA). En dichos centros, además, se encontraba la mayor parte de los técnicos de la Administración especializados en esta materia. Dichos centros dependían directamente de los servicios centrales del MAPA y no fueron transferidos en la primera fase.

Transferencias a Andalucía relacionadas con la ganadería (Real Decreto 3490/81):

- B) Planificación, ejecución, seguimiento y evolución de los programas de carácter regional en materia de mejora ganadera.
- F) Dirección y ejecución de los programas de reproducción.
- G) Aprobación e instrumentación de concursos de ganado de carácter local, provincial y regional y de las exposiciones-ventas de reproductores.

Las primeras transferencias a Andalucía relacionadas con la ganadería se producen con el Real Decreto 3490/81, de 29 de diciembre, aún en “fase preautonómica” (el primer Gobierno de la Autonomía Andaluza, no se formó hasta el 21 de julio de 1982). Entre otras materias, este Real Decreto incluye las funciones de producción animal, entre las que destacamos, por su relación con el tema que nos ocupa, las siguientes:

“B) la planificación -oída la administración del estado- ejecución, seguimiento y evaluación de los programas de carácter Regional en materia de mejora ganadera... en el marco de los programas y de las disposiciones legales que, en relación con estas mejoras, estén establecidas o establezca la administración del estado.

F) la dirección y ejecución de los programas de reproducción ordenada, de acuerdo con las disposiciones vigentes.

G) la aprobación e instrumentación de concursos de ganado de carácter local, provincial y regional, así como la colaboración en el desarrollo de los concursos de ganado de carácter nacional y de las exposiciones-venta de reproductores selectos, que, a propuesta de las asociaciones nacionales de criadores de ganado selecto se aprueben por la administración del estado para realizar en el ámbito de la región.”

Permanecían sin transferir, en el ámbito del MAPA, entre otras, las siguientes funciones:

“C) la reglamentación y desarrollo de los libros y registros genealógicos, del control de rendimientos y la valoración de reproductores inscritos en los mismos.

D) los centros nacionales de selección y reproducción animal y depósitos de reproductores selectos dependientes de los mismos.

F) la aprobación y dirección técnica de los concursos de ganado de carácter nacional e internacional, y de las exposiciones-venta de reproductores selectos.”

En un tercer grupo, quedaban funciones cuyo desarrollo debería hacerse de modo conjunto entre el MAPA y las CCAA, a través de un órgano colegiado que, en términos prácticos, no llegó nunca a establecerse. En este grupo, entre otras, estaban por un lado, las funciones de “estudio y, en su caso, aprobación, de programas de hibridación, así como los centros concertados de inseminación artificial de ganado” y, por otro, “el estudio, aprobación e instrumentación de programas de defensa, conservación o promoción de las razas autóctonas que se consideren de interés en cada ente preautonómico”.

Bastante más tarde de este primer paquete de transferencias, que apenas si dió juego para iniciar ninguna nueva actividad, se produce la transferencia de los CENSYRAS en el Real Decreto 2179/1984, de 14 de noviembre.

Estos centros los había creado el MAPA, en una fase muy anterior a la configuración del Estado Autonómico, a partir del Decreto 2499/1971 del 13 de agosto, concretándose sus funciones en una resolución de 1972 de la Dirección General de la Producción Agra-

ria. Se situaron buscando atender a las zonas de cría de las razas de mayor interés, así como a la producción y distribución de dosis seminales de las pocas razas en las que se practicaba la inseminación artificial, fundamentalmente, la vacuna frisona. Aparte de lo anterior, las funciones más específicamente dirigidas a la mejora de las razas autóctonas se limitaban en la práctica a la realización de pruebas de valoración en estación, de lotes de sementales, elegidos por su conformación morfológica y no por datos de rendimientos de sus progenitores.

Al no existir en Andalucía ninguno de estos centros, sus necesidades en lo referente a las dosis seminales de frisón, se venían atendiendo desde diversos CENSYRAS (Badajoz, Movera, Madrid, etc) y, en cuanto a las pruebas de valoración de sementales de las razas autóctonas de interés para nuestra región, se hacían normalmente en el de Badajoz, que se dedicaba, entre otras, a las razas vacuna Retinta, Porcina Ibérica o Merina pura.

La transferencia de estos centros y de su personal especializado, se hizo de acuerdo a su situación territorial, lo que resultaba negativo para Andalucía al no contar con ninguno. Tan solo, dentro de este conjunto, estaba y fue lo único que se transfirió, lo que denominaba el Real Decreto “Depósito de Reproductores Selectos”, antes “Granja del Estado”, situada en una pequeña finca en Hinojosa del Duque (Córdoba). En ese centro, que en aquel tiempo dependía del CENSYRA de Badajoz, se mantenía un rebaño de la raza Merina española, al que desde dicho CENSYRA agregaron, algo antes de ser transferido, unos lotes de merinos precoces.

A pesar de su reducida entidad, de que prácticamente no contaba con personal técnico especializado y la deficiente situación de sus instalaciones, dicha granja tenía un especial interés, pues en ella se conservaba un rebaño de merino español puro de altísimo valor genético. Este rebaño se había creado años antes por el MAPA para mantener una reserva de la raza con las líneas de mayor importancia genética, a la vista de la franca decadencia y riesgo de desaparición en la que estaba sumida a causa del cruce industrial indiscriminado. Más adelante, en el primer apéndice, se comentarán algunos detalles de este centro, de su rebaño y de lo que se pretendió desarrollar en él.

3. LOS PRIMEROS PASOS. SITUACIÓN Y PROBLEMÁTICA

La consolidación progresiva de los servicios en la Consejería, pasados ya los primeros años en que la mayor parte del esfuerzo del equipo directivo estuvo centrado en los dos grandes temas, crear una nueva Administración y los procesos de transferencias, fue permitiendo poco a poco el desarrollo de nuevas iniciativas en muchas áreas, entre ellas, en la de producción animal.

El contexto en que se tenía que desenvolver entonces la Administración Autónoma podía resumirse, en lo que concierne a los aspectos ganaderos, en los siguientes términos:

- a) No se contaba en Andalucía con ningún centro transferido, especializado en mejora animal, como eran los CENSYRA, ni lo que era más importante, los equipos técnicos especializados que tenían los mismos.
- b) El modelo de transferencia territorial del INIA, al igual que pasó con los CENSYRA, resultaba de nuevo poco favorable en el campo ganadero, pues los centros que concentraban la investigación en dicha materia y, por ello, podían servir de punto de apoyo, estaban también situados fuera de la región (caso, por ejemplo de “La Orden”, en Badajoz, especializado en ganadería extensiva, “Mabegondo” en Coruña, para la del norte y vacuno lechero, Zaragoza o Madrid, en temas de sanidad, genética, etc.).
- c) El resultado de todo ello era la muy escasa presencia, en la propia Administración Autónoma, de personal especializado y con experiencia, en los campos de la reproducción animal, selección, mejora o conservación de razas. Lo anterior, justo es reconocerlo, no quita que dentro de los diferentes servicios, centrales o provinciales, no hubiera algunas personas, pocas, en todo caso, con buenos conocimientos en la materia, pero cuya dedicación, en general, se centraba en otros campos.
- d) La mejora animal como ciencia moderna, aunque poco presente en la labor de la Administración, ofrecía suficientes instrumentos para elevar el nivel de los rebaños andaluces. En aquellos años, la mayor parte de las ganaderías no habían participado nunca en programas sistemáticos de selección, con base genética, de ningún tipo, por lo que serían esperables buenas respuestas si se sabían hacer bien las cosas. El problema no residía tanto en el “qué hacer”, pues ciencia había suficiente, sino en “cómo” y “por quién” acometer la mejora.
- e) Las asociaciones de ganaderos que, obviamente, tendrían que ser los principales protagonistas de los programas de mejora, y en particular las que eran responsables de la gestión de los Libros Genealógicos de las razas de mayor interés para Andalucía, contaban con unas estructuras organizativas poco desarrolladas, con escasos medios materiales y humanos, insuficientes para desarrollar programas de mejora “modernos” que ofrecieran un alto nivel técnico y científico y aseguraran alcanzar unos mínimos objetivos de progreso genético. En particular, las asociaciones de las razas de mayor importancia en Andalucía, limitaban prácticamente sus esfuerzos a la llevanza “administrativa” de los libros genealógicos y a la colaboración con el MAPA para los concursos morfológicos y subastas, sin entrar, prácticamente ninguna, salvo la frisona, en valoraciones de rendimientos o testajes basados en los mismos.

Problemas que tuvo que resolver la Administración andaluza en el comienzo del régimen autonómico:

- No se contaba con ninguna transferencia de tipo CENSYRA.
- La transferencia del INIA no supuso efectos favorables en el campo ganadero.
- Era escasa en la Administración autónoma de personal cualificado.
- Escasa estructura de las asociaciones e ganaderos, quienes, por otra parte, eran poco sensibles a los sistemas modernos de la mejora ganadera.

- f) Salvo raras excepciones, el nivel de conocimiento en los ganaderos de las posibilidades de los sistemas modernos de mejora animal y de las técnicas reproductivas avanzadas, era muy deficiente, por lo que no había ni demanda ni fe, en las posibilidades de nuevos esquemas.
- g) En cuanto a las razas autóctonas “secundarias”, con censos reducidos y muchas de ellas en claro riesgo de extinción, la situación era preocupante cuando no dramática. Prácticamente, ninguna de ellas contaba con algún tipo de asociación de ganaderos, ni existían libros o registros genealógicos o zootécnicos, ni desde la propia administración, en general, se les había prestado atención particular. En Andalucía, tan sólo se habían ocupado de alguna de ellas algunos centros académicos, caso de la Universidad de Córdoba, a través de ciertos Departamentos, en aspectos, principalmente, de caracterización o, también, desde alguna Diputación Provincial, que mantenían desde antiguo granjas de fomento pecuario. En todo caso, tales estudios académicos y apoyos, apenas si llegaban a unos pocos ganaderos y no tenían contenido suficiente para compensar los menores rendimientos de las razas autóctonas frente a los que se conseguían con otras importadas, más productivas, causa principal de la amenaza a sus censos por la generalización de los cruces de todo tipo.

De este panorama se deducía la necesidad de iniciar el desarrollo de nuevos servicios, con suficiente dotación de personal y este, con nivel adecuado, si se quería avanzar en la mejora animal, en otras palabras, re-crear una estructura tipo CENSYRA que pudiera acometer estas funciones tan especializadas. Sin embargo, dadas las posibilidades económicas y organizativas de la nueva administración, este intento era prácticamente imposible de conseguir, máxime en el área agraria, donde las transferencias de personal de las delegaciones habían sido bastante numerosas en términos cuantitativos, en comparación con otras áreas de la administración o de los propios servicios centrales generales, a los que había llegado mucho menos personal. Esto nos daba una apariencia de disponer de muchos medios, imagen irreal pero que limitaba las posibilidades para conseguir nuevas dotaciones o crear nuevos servicios.

Además, como puede suponerse, eran tiempos de intensas demandas de todas las Consejerías para dotarse de estructuras adecuadas, en un contexto general de insuficiencia económica. Si a esto unimos una política de organización de la nueva administración, a mi juicio poco acertada y que ha supuesto un coste importante en el despegue y eficacia de la misma, de no dotar adecuadamente sus servicios rectores, se podrá comprender mejor lo antes dicho de que la creación ex-novo de un centro del tipo de un CENSYRA, era una tarea poco menos que imposible.

4. EL DESARROLLO INICIAL DE LA POLÍTICA AUTONÓMICA

En este marco, la Consejería de Agricultura y Pesca, a través de su Dirección General de Agricultura, Ganadería y Montes, se planteó una serie de objetivos a desarrollar en el campo ganadero, de los que se entresacan los que conciernen al campo de la conservación y mejora animal:

Primeros objetivos de la Consejería de Agricultura y Pesca en el campo de la conservación y mejora:

- Mejora de la productividad de los rebaños.
- Conservación de los recursos genéticos en Andalucía, en particular de las razas autóctonas.

- Necesidad de mejorar la productividad general de los rebaños, a través, entre otros aspectos, de la mejora de la base genética y la eficiencia reproductiva

- Conservación de los recursos genéticos animales de Andalucía y, en particular, de las razas autóctonas que estaban en claro riesgo de extinción.

En cuanto al cómo desarrollar tales objetivos, se constataba la insuficiencia de medios propios y las previsible dificultades y lentitud en conseguirlos, así como la firme creencia en el necesario protagonismo de los ganaderos a través de sus entes asociativos, a pesar de que, como se comentó antes, presentaban grandes deficiencias. Todo ello, llevó a establecer un esquema de actuación basado en los siguientes elementos:

1º Los programas de mejora animal, en primer lugar, no podían afrontarse desde la Administración Autonómica sino que el protagonismo principal tenía que residir necesariamente en los propios ganaderos a través de sus asociaciones, sin perjuicio de que desde la Administración se les prestaran apoyos para facilitar su desarrollo.

2º Consecuentemente con lo anterior, y conocida la insuficiencia de la organización y medios de estas asociaciones, era necesario iniciar una política clara en su apoyo, con ayudas fundamentalmente, pero no solo, económicas. Esta afianzaría su propia organización y estructura, permitiéndoles afrontar el desarrollo de dichos programas con cierta posibilidad de éxito.

3º Como tercer elemento a contar, al no disponer de técnicos propios especializados, surgía la necesidad de recabar los apoyos científicos de equipos especializados de otras instituciones, como los que existían en algunos centros universitarios (en particular, en la Universidad de Córdoba) o en centros de investigación pública como el INIA, tanto para los diseños de los programas de conservación o mejora, como para realizar algunas de las tareas, complicadas y difíciles, que exigiría su desarrollo (caso, por ejemplo, de las valoraciones genéticas)

4º Por último, por todos, pero, en especial, por las Asociaciones, se tendría que dar el salto al desarrollo de auténticos esquemas de selección con bases genéticas modernas, en lugar de seguir centrados prácticamente en los concursos morfológicos y el reparto de las subvenciones oficiales de los concursos-subastas. En esta línea, la primera disposición que publica la Consejería en estas materias se refiere a la ordenación de dichos certámenes (Orden de 28 de noviembre de 1984 · BOJA del 4 de diciembre ·), en la que, aún siendo muy continuista, aparece ya el requisito de que a dichos concursos morfológicos “solo podrán concurrir dentro de cada especie, las razas que estén sujetas a programas de selección y mejora, establecidos y aprobados por la Administración”

4.1. Los Convenios con las Asociaciones de ganaderos

Las Asociaciones de ganaderos a las que el MAPA les había encomendado la gestión de los Libros Genealógicos y que serían las lógicas protagonistas en cualquier plan de mejora que se llevara a cabo, tenían, en general, unas organizaciones débiles, tanto en medios humanos como económicos. Las subvenciones del Ministerio, no muy abundantes, ayudaban a poco más que cubrir parte de los gastos de tipo administrativo y de las visitas de los inspectores locales para la inscripción de nuevos animales en los libros. Su otra fuente lógica de ingresos, las cuotas de los ganaderos, tampoco suponían cifras importantes, dados los reducidos censos inscritos por los que se cotizaba y la poca fe que se respiraba en el mundo ganadero sobre su papel real, que impedía establecer cuotas de cierta significación. Era un cierto círculo vicioso, ni tenían muchos medios ni prestaban muchos servicios, centradas como estaban, muchas de ellas, en poco más que las valoraciones morfológicas y las subvenciones de los concursos-subastas, de las que solían beneficiarse solo unos pocos ganaderos.

Este panorama poco estimulante no era general, pues en algunas Comunidades Autónomas, donde a la anterior labor hecha desde algunos CENSYRA se unió la iniciativa de las nuevas administraciones, se habían iniciado programas de cierta trascendencia y con planteamientos científicos modernos, de conservación o mejora genética en varias razas autóctonas.

Con esta misma idea, se entendió que el trabajo a realizar en este campo, pasaba necesariamente por el reforzamiento de la estructura y medios de las asociaciones de criadores encargadas de la gestión de los Libros Genealógicos. Si de los ganaderos asociados no podían esperarse grandes contribuciones para este objetivo, la alternativa obvia era apoyarlo desde la Administración, pero estableciendo con claridad lo que hoy conoceríamos como una “hoja de ruta”, que garantizara que ese gasto de dinero público no iba a quedar de nuevo diluido en unas actuaciones que no significaran nada real para el futuro.

Mientras se estudiaba establecer una línea de ayudas genérica para estos fines, que podría financiarse con fondos comunitarios, se fue adelantando el proceso mediante convenios específicos con aquellas Asociaciones que tenían más interés o más avanzadas las posibilidades de desarrollar programas de mejora de sus razas. Para la preparación de los mismos se mantuvieron muchas reuniones de trabajo con cada una de ellas, en las que se estudiaron y diseñaron las actuaciones a realizar a medio plazo, así como las necesidades económicas, contando con sus diversas fuentes de ingresos.

El primero de estos Convenios se suscribió en 1990 con la Asociación Nacional de Criadores de la Cabra Murciano-Granadina y, poco tiempo después, con las Asociaciones Españolas de Criadores de la Cabra Malagueña y Ovino Segureño. El último convenio suscrito antes de que se aprobara el Decreto 53/92, que absorbería este tipo de ayudas y del que hablaremos a continuación, fue con la Asociación Frisona Andaluza (AFA) que, aunque respondía a otra tipología de asociación, pues propiamente no era la que gestionaba el Libro, de hecho hacía esta labor para la asociación nacional de la raza (ANFE) y tenía un papel destacado en los controles lecheros.

A partir de la convocatoria de ayudas a las asociaciones, dentro del marco del Decreto 53/92, en el mismo año 1992 se unieron las asociaciones de las razas Retinta, Ovinos Precoces y Porcino Selecto del Tronco Ibérico, estableciéndose a partir de entonces, una dinámica creciente de incorporaciones, hasta once asociaciones, dentro del marco de dicho Decreto, que llegó hasta el año 2001. El detalle de este proceso, y del marco que siguió al del decreto citado, se recoge en otro capítulo de este libro.

4.2. La conservación de las razas en peligro de extinción

Como ya se citó antes, uno de los dos objetivos de la política de la Consejería en cuanto a la ganadería, fue la conservación de los recursos genéticos animales de Andalucía en general y, en particular, de las razas autóctonas que estaban en claro riesgo de extinción, aspectos que, salvo algunas acciones puntuales, no se habían atendido en Andalucía.

La mayor parte de las razas autóctonas venían sufriendo crisis, de mayor o menor intensidad según las circunstancias concretas de cada una de ellas. La necesidad que tenían los ganaderos de conseguir mayores rendimientos económicos y las posibilidades que a este respecto ofrecían otras razas mejoradas, ya fuera en régimen de explotación directa o, más frecuentemente, a través del cruce industrial, había supuesto un drástico descenso del número de reproductoras puras en la mayor parte de las razas autóctonas andaluzas, llegando en algunas de ellas a su casi desaparición.

En el grupo de las que todavía mantenían censos significativos, entre las que se encontraban las de mayor trascendencia en la ganadería extensiva de las dehesas, vacuna retinta, ovina merina o porcina ibérica, la presión del cruce industrial aún no implicaba riesgo importante para su conservación aunque sí constituía una amenaza latente. Sin embargo, al reducirse mucho el porcentaje del censo mantenido en pureza, casi no se alcanzaba ni para cubrir mínimamente las necesidades de hembras de reposición, por lo que estas razas se veían abocadas a una paulatina reducción de su censo puro. Al tiempo y por esta misma razón, las posibilidades prácticas de llevar a cabo procesos de mejora con unos mínimos niveles de presión selectiva quedaban reducidas al máximo, pues prácticamente la totalidad de las hembras puras nacidas tenían que guardarse para cubrir la reposición, independientemente de su valor genético.

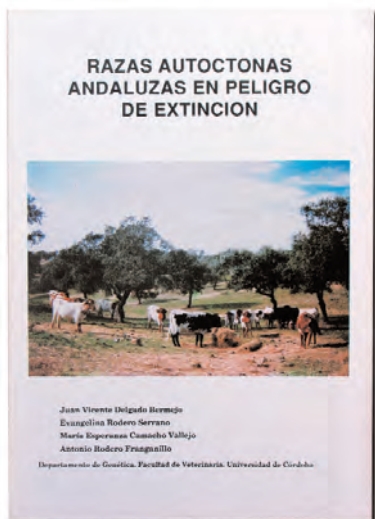
En el otro extremo del panorama racial, se encontraban otras muchas razas autóctonas que venían padeciendo una grave crisis desde hacía mucho tiempo, por toda una serie de causas que son objeto de estudio en otros capítulos de esta obra. Aunque algunas de ellas, en un tiempo anterior, podían haber tenido una cierta significación en la región, en los años ochentas en que comienza su andadura la Administración Autónoma se encontraban prácticamente extinguidas o bien, en el mejor de los casos, reducidas a unos pocos núcleos, en general de pequeño tamaño, gracias a los esfuerzos y vocación de ciertos ganaderos que venían criándolas a lo largo de generaciones.

Dentro de este segundo grupo se podían incluir, entre otras, las razas vacunas Berrendas en Negro y en Colorado, Negra Andaluza y Pajuna, ovinas como la Merina de Graza-

lema o Churra Lebrijana, caprinas como la Blanca Serrana o Negra Andaluza y la Asnal Andaluza. En cuanto al porcino y como se detallará más adelante al hablar del proyecto del Centro de Selección del Porcino Ibérico, las líneas más específicas de Andalucía de este tronco, como la rubia gaditana, habían ya desaparecido por entonces siendo imposible, aparentemente, su recuperación.

En este contexto y de acuerdo con el segundo objetivo de la política ganadera de la Consejería, la Dirección Gral. de Agricultura y Ganadería, apoyó la iniciativa propuesta por el Dr. Rodero Franganillo, Catedrático del Departamento de Genética de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Córdoba, de iniciar un estudio en profundidad de todas las razas autóctonas andaluzas que se podían encontrar en riesgo de desaparición. Mediante la firma del oportuno Convenio específico entre ambas instituciones, se llevaría a cabo la caracterización de estas razas y el diagnóstico de su situación, del que resultarían las líneas de actuación a desarrollar, bien para su conservación, en algunos casos, o mejora en otros.

Como primer fruto de este Convenio, aparecería en el año 1992 una primera publicación de la que eran autores Juan Vicente Delgado Bermejo, Evangelina Rodero Serrano, María Esperanza Camacho Vallejo y el propio Dr. Rodero, todos ellos miembros del citado Departamento de Genética, a los que se unió en una colaboración especial para la raza asnal andaluza, el Dr., Aparicio Macarro, del Dpto. de Producción Animal. En dicha publicación, titulada “Razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción” (Rodero *et al.*, 1995), para cada una de las 17 razas estudiadas que, en principio, se podían clasificar dentro de la zona de riesgo (siete bovinas, cuatro ovinas, cuatro caprinas, una porcina y una asnal), se recogía en forma de ficha su descripción morfológica, origen e historia, distribución geográfica, sistema de explotación, interés de sus producciones y estado actual, así como datos provisionales de sus censos



La primera publicación de 1992 sobre razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción.



La publicación de 1995 sobre razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción.

Como detalle significativo de la situación que se vivía en esos tiempos, los autores se atrevieron a incluir entre las razas en peligro a la raza Merina autóctona española aunque, prudentemente, hicieron constar que *“a pesar del gran número de efectivos de la raza dentro y fuera de Andalucía, hemos incluido a esta raza como amenazada de extinción debido a que su descenso censal, en cuanto a animales puros se refiere, ha sido vertiginoso, acrecentándose en los años ochenta con la caída total del precio de la lana...”*

Posteriormente, en 1995, los mismos autores completaban en extenso el resultado de sus estudios de las razas andaluzas y sus consideraciones sobre los métodos de conservación, en otro libro (Delgado *et al.*, 1992) que publicaría la Consejería de Agricultura y Pesca al amparo del Convenio citado, con el título “Conservación de razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción”

En este último, figuraban cuatro razas autóctonas andaluzas de gallinas que no llegaron a incluirse en la primera publicación.

Ambos trabajos aparecieron en un momento estratégico para el desarrollo y control de las ayudas a la cría de estas razas, de la medida específica incluida en el Programa Agroambiental del Reglamento (CEE) 2078/92, de la que hablaremos más adelante.

4.3. El Decreto 53/92 de la Junta de Andalucía

El año 1992 fue especialmente relevante para la política de conservación de las razas ganaderas, al crearse dos líneas específicas de apoyo, una propia de la Junta de Andalucía, al amparo de las posibilidades que se abrían con la financiación europea del Programa Operativo de Andalucía, que se plasmó en el Decreto 53/92, de 24 de marzo y, la otra, la aprobación por el Consejo de la CEE del Reglamento 2078/1992 de 30 de junio de 1992, sobre métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de la protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural.

La oportunidad que supuso la preparación de un nuevo Programa Operativo de Andalucía para el periodo 1990-93, donde se concretaba el muy abundante apoyo financiero europeo, permitió a la Consejería de Agricultura y Pesca no solo consolidar las iniciativas existentes en la conservación y mejora de las razas andaluzas sino abrir nuevas líneas de actuación.

Por un lado, se publicó el ya citado Decreto 53/92, de 24 de marzo, por el que establecen ayudas para la mejora de las razas ganaderas de Andalucía y de los sistemas de reproducción ganadera (BOJA del 26 de mayo de 1992). La financiación de estas ayudas, incluidas dentro del Programa Operativo, provenía del FEOGA-Orientación en un 50%, al estar clasificada Andalucía como región “Objetivo 1”, mientras que el otro 50% se financiaba por partes iguales entre el MAPA y la Junta de Andalucía.

En el citado Decreto se establecían las siguientes líneas de actuación:

- a) Fomento del desarrollo de planes de mejora de las razas andaluzas, a través de sus Asociaciones respectivas.
- b) Ayudas al control de rendimientos, lecheros o cárnicos
- c) Recuperación de hembras selectas, provenientes de los programas de selección y mejora de razas
- d) Ayudas para la creación de centros de producción o distribución de material genético
- e) Conservación de razas andaluzas en peligro de extinción

Por otro lado y complementariamente al conjunto de acciones previstas en el Decreto, la Consejería de Agricultura y Pesca, también con el apoyo financiero del Programa Operativo, continuaba y ampliaba otra serie de líneas de trabajo dentro del área ganadera, entre las que cabe citar, como más directamente relacionadas con la conservación y mejora de los recursos genéticos, a las siguientes:

- Dotación de equipamiento a los Laboratorios de Producción y Sanidad Animal, para la analítica de las muestras de leche del programa de control de rendimientos lecheros en vacuno frison y caprinos malagueño y murciano-granadino y al Centro de Selección del Porcino Ibérico de La Atalaya, completándose con ello lo iniciado en el programa comunitario anterior
- Reordenación del apoyo a los certámenes ganaderos, priorizándose los concursos morfológicos nacionales de las razas andaluzas que organizaran las Asociaciones encargadas de la gestión de los Libros Genealógicos
- Convenio con el Dpto. de Producción Animal de la ETSIAM de la Universidad e Córdoba, para el apoyo a las Asociaciones en el diseño y desarrollo de sus programas de mejora de las razas caprinas y ovinas andaluzas.

Las líneas de ayuda establecidas en el Decreto 53/92 se fueron desarrollando posteriormente a través de las disposiciones siguientes:

- a) Orden de la Consejería de Agricultura y Pesca de 27 de mayo de 1993, por la que se determinan las razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción que podrán acogerse a las ayudas establecidas en el Decreto que se cita (BOJA del 10.6.93)

Decreto 53/92 de la Junta de Andalucía. En 1992 se crean dos líneas específicas de apoyo para la conservación de razas ganaderas:

- Una propia de la Junta, al amparo de la financiación comunitaria del Programa operativo de Andalucía.
- Aprobación por el consejo de la CEE del Reglamento 2078/1992 sobre métodos de producción agraria (protección medioambiental y conservación del espacio natural).

Líneas de actuación:

- a) Desarrollo de planes de mejora.
- b) Control de rendimientos lecheros o cárnicos.
- c) Recuperación de hembras selectas.
- d) Ayudas para la creación de centros de producción o distribución del material genético.
- e) Conservación de razas en peligro de extinción.
- f) Complementariamente:
 - Dotación de equipos a los laboratorios de Producción y Sanidad animal.
 - Reordenación de apoyo a los certámenes ganaderos.
 - Convenios con centros de investigación para el apoyo a los programas de mejora.

En virtud de lo que establecía el Decreto 53/92, la Orden enumeraba las razas autóctonas de Andalucía que, por estar consideradas en peligro de extinción, podrían acogerse a las ayudas previstas en aquel (ver Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción de la Orden de la Consejería de Agricultura y Pesca de 27 de mayo de 1993

Especie	Raza
Bovina	Berrenda en Colorado Berrenda en Negro Cárdena Andaluza Mostrenca Murciana Negra Andaluza o Negra de las Campiñas
Ovina	Churra Lebrijana Merina de Grazalema
Caprina	Blanca Serrana Andaluza Negra Serrana o Castiza
Porcina	Manchado de Jabugo
Asnal	Asnal Andaluza
Aves	Azul Andaluza Utrerana (en sus cuatro variantes)

b) Orden de 9 de junio de 1992 (BOJA del 25.6.92) por la que se desarrolla el Decreto 53/92, de 24 de marzo, que establece ayudas orientadas a la mejora y conservación de las razas ganaderas de Andalucía y de los sistemas de reproducción.

Esta norma recogía aspectos operativos de las líneas del Decreto, los ítems ayudables, procedimientos a seguir, etc. Merece la pena destacar sus aspectos más relevantes, para entender mejor el alcance que se pretendía tener con ellas:

- En las ayudas a las Asociaciones para la realización de planes de mejora, se seguía la tónica de los convenios suscritos antes del Decreto, es decir, no se establecían límites de ayuda a priori, sino que cada asociación propondría su programa que, una vez estudiado y aprobado, marcaría la cuantía de la ayuda para su financiación. En el cómputo de la ayuda entraba desde el gasto de la propia elaboración de los programas, que era en la mayoría de los casos el primer paso a dar; el del personal técnico y administrativo necesario para su desarrollo; la formación de los mismos y de los ganaderos implicados; adquisición de equipamiento y vehículos; organización y asistencia a certámenes ganaderos, etc. En resumen, todos los ítems de gasto que requeriría una asociación para, en primer lugar, diseñar el programa de mejora y, después, llevarlo a cabo con eficacia.

- Las ayudas al control de rendimientos, de las que podían beneficiarse los ganaderos o las asociaciones si éstas eran las que organizaban dichos controles, mantenían las establecidas por el MAPA hacía tiempo para los controles lecheros pero, por primera vez, se abrían al control de otros rendimientos, lo que sería aplicable a controles de crecimiento en las razas no lecheras. La exigencia básica era que los mismos fueran parte de planes oficialmente aprobados de selección y mejora de razas o agrupaciones raciales.
 - Primas para fomentar la recuperación de crías de reproductores selectos. El objeto de estas ayudas era la recuperación de crías de razas autóctonas andaluzas, que por ser descendientes de reproductores incluidos en programas de mejora genética de dichas razas, se les presumía un cierto valor genético superior, por lo que sería una pérdida no recuperarlas para vida. Con ello, además, se pretendía reforzar desde otro lado, el desarrollo de estos programas, que en aquel momento iniciaban con muchas dificultades sus primerísimos pasos.
 - Fomento de la mejora de las técnicas reproductivas y los centros de producción y distribución de material genético. La mejora animal requería casi necesariamente extender el uso de la inseminación artificial, técnica que aunque era suficientemente conocida y utilizada en las razas de vacuno lechero, fundamentalmente frisona, apenas si estaba puesta a punto en la mayoría de las otras especies y razas vacunas no lecheras de Andalucía, con una utilización a nivel experimental en el mejor de los casos. Esta situación contrastaba con la existente en alguna raza autóctona de otras Comunidades, caso de la lacha en Navarra y País Vasco o la churra en Castilla León, donde ya se utilizaba la inseminación artificial con cierta extensión en sus programas de mejora. En cuanto a la transferencia de embriones, técnica que empezaba a utilizarse a nivel ganadero en los países más avanzados como EEUU o Francia, aquí estaba inédita, solo conocida a nivel de investigación y muy lejos de poder utilizarse a cierta escala.
 - Conservación de razas autóctonas en peligro de extinción. Dado que en estas razas no había ni siquiera esbozos de organización de ningún tipo, ni de posibles planes de conservación o mejora, las ayudas quedaban totalmente abiertas a cada caso particular, mediante convenio *ad hoc* o cesión de animales, para reforzar los núcleos o reducir el peligro de la elevada consanguinidad, situación frecuente en los rebaños de estas razas.
- c) Resolución de 16 de septiembre de 1993, de la Dirección General de Agricultura y Ganadería, por la que se establecen los requisitos y cuantías de las ayudas para la recuperación de ganado procedente de programas de mejora, en desarrollo de la Orden que se cita (BOJA del 25.9.93).

Las “primas de recuperación” se dirigieron sólo a las razas que, en aquel entonces, contaban, aunque fuera en sus primeros pasos, con programas de mejora ya aprobados o en elaboración, que eran la vacuna Retinta, las ovinas Merina y Segureña, las caprinas Malagueña y Murciano-Granadina y la Porcina Ibérica.

Aparte de unos requisitos comunes, se establecieron unas exigencias mínimas para cada una de ellas, en función del estado de sus programas de mejora. En los casos de las razas que tenían más avanzados sus programas, como las dos caprinas citadas, se exigía que fueran hijas de cabras pertenecientes a rebaños valorados genéticamente y estuviesen situadas en el primer tercio de la última valoración y, en el caso de machos, en el 10% superior. En el otro extremo, caso de la Retinta, bastaba con ser hijas de hembras con control de rendimiento oficial, simplemente “iniciado”, situación que en aquellos momentos no cumplía aún ningún rebaño.

El nivel de exigencia para beneficiarse de estas primas, se iría elevando a medida que los programas fueran progresando. En otras palabras, la idea era primar la cría para no perder la descendencia de lo que constituiría en cada momento las, digamos, cien, quinientas, mil, la cifra que se fuera viendo conveniente, de las “mejores madres” resultantes de las valoraciones genéticas. En la orden del año 1993 se establecieron unos cupos máximos de hembras y machos que podrían alcanzar la prima de recuperación, cuya cuantía no era nada desdeñable en aquel entonces. Los detalles de dichas primas y los cupos por especie se reflejan en el cuadro siguiente.

Tabla 3.2. Cuantías unitarias de la prima de recuperación y número máximo de cabezas ayudable (Resolución del 16.9.93)

Especie	Prima (Pts/cab.)		Número máximo de animales ayudables	
	Machos	Hembras	Machos	Hembras
Bovina	50.000	20.000	50	1.000
Caprina	4.000	3.000	450	9.000
Ovina	4.000	3.000	450	9.000
Porcina	8.000	6.000	250	2.500

4.4. Las ayudas comunitarias a la cría de razas en peligro de extinción. Desde el Reglamento 2078/92/CEE “agroambiental” al del FEADER

Como ya se ha comentado, el otro gran hito en la conservación de las razas en peligro de extinción fue la publicación del Reglamento 2078/92/CEE del Consejo, de 30 de junio de 1992, sobre métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de la protección del medio ambiente y la conservación del espacio natural (DOCE 215/L, de 30 de junio de 1992).

Este Reglamento que de inmediato pasó a ser conocido como el “agroambiental”, era uno de los tres que configuraron las “medidas de acompañamiento de la PAC” que, financiadas también por el FEOGA-Garantía, complementaban la gran reforma de la PAC del 1992, uno de cuyos objetivos principales era la adecuación al mercado de las producciones agrarias para evitar la producción de excedentes. En este contexto, las medidas de acompañamiento apoyaban, desde otros enfoques, el objetivo de la reducción de dichas

producciones, bien con el cese de la actividad, la derivación de tierras de cultivo a usos forestales o, como el caso del agroambiental, la reducción de la intensificación que estaba generando problemas ambientales, favoreciendo el empleo de métodos que pusieran el énfasis no tanto en la producción sino en la conservación de los recursos naturales, suelo, paisaje, etc.

Así, los tres primeros destinos de las ayudas del Reglamento, según aparecía en el artículo 2º, explicitaban claramente el objetivo central de reducción de producciones:

- a) *a reducir sensiblemente la utilización de fertilizantes y/o productos fitosanitarios o a mantener las reducciones ya iniciada...*
- b) *a proceder, por medios diferentes de los contemplados en la letra a), a extensificar las producciones vegetales, incluidas las forrajeras, o a mantener la producción extensiva ya practicada en el pasado, o a una transformación de las tierras de cultivos herbáceos en pastizales extensivos;*
- c) *a reducir la carga de la cabaña bovina u ovina por unidad de superficie forrajera.*
- d) *a utilizar otras prácticas de producción compatibles con la exigencia de la protección del medio ambiente y de los recursos naturales y con la conservación del espacio natural y el paisaje o a criar animales de razas locales en peligro de desaparición;*

A pesar de esta prioridad, la presión ya con cierta fuerza en la Unión Europea, para incorporar los aspectos ambientales en todas las políticas y, entre ellas, la agraria, favoreció que en este Reglamento, aparte de los objetivos centrados en los aspectos meramente productivos, en este caso con un enfoque desincentivador, se incluyeran también objetivos propiamente “agroambientales”, entre los que se “coló” la cría de las razas en peligro de extinción. Posiblemente a esto ayudó el hecho de que al tener menor productividad, dicha cría favorecería indirectamente la reducción de producciones.

Siguiendo un modelo absolutamente novedoso en la PAC, este Reglamento incorporaba algunos elementos especialmente interesantes, como era el dejar a los Estados Miembros que en el marco de los objetivos reglamentarios, establecieran las líneas que más les interesaran según sus circunstancias o que las ayudas agroambientales, implicaran compromisos mutuos por un plazo de cinco años, periodo en el que los ganaderos se comprometerían a mantener adecuadamente dichas razas recibiendo, como contraprestación, una ayuda económica que les compensara de los menores rendimientos de dichos animales.

La puesta en marcha en nuestro país de las líneas acogidas al Reglamento 2078/92, fue muy lenta al principio. Aparte de la complejidad del procedimiento de aprobación de los planes financieros donde se enmarcaban las Medidas de Acompañamiento, la novedad de los objetivos del Reglamento agroambiental, un campo en el que no existía apenas “doctrina consolidada” sobre qué problemas convenía abordar o de cómo hacerlo, supuso que durante bastante tiempo, las administraciones central y autonómicas, dieran muchas vueltas antes de concretar y preparar las líneas que se convertirían finalmente en las “medidas agroambientales”.

Curiosamente y como excepción en este ambiente de indefinición y dudas, la conservación de las razas en peligro de extinción aparecía como una línea de trabajo, concreta e incuestionable, para muchas de las Administraciones concernidas, a lo que sin duda ayudó el que tal medida apareciera explícitamente definida en el Reglamento. Por ello, muchas Comunidades Autónomas y, entre ellas, la de Andalucía que, como se ha comentado antes, ya venía trabajando en este campo, propusieron al MAPA establecer esta medida en su territorio. El Ministerio, una vez estudiadas las propuestas de las CCAA, decidió establecer un programa de ámbito nacional con aquellas líneas que aparecían en la mayor parte de las mismas, entre las que se encontraba la citada de conservación de las razas en riesgo de desaparición. En dichas medidas, que se pondrían en vigor en todo el país y que, por ello, pasaron a denominarse “las medidas horizontales”, la Administración General del Estado coparticiparía al 50% en la financiación de la parte no cubierta por el FEOGA. Fuera de este grupo de medidas, las CCAA podrían establecer las que consideraran oportunas, pero sin la coparticipación financiera del Ministerio.

La plasmación de las medidas horizontales no se hizo hasta el año 1995, en el Real Decreto 51/1995, de 20 de enero, por el que se establece un régimen de medidas horizontales para fomentar métodos de producción agraria compatibles con las exigencias de la protección y la conservación del espacio natural (BOE del 8 de febrero de 1995). En su artículo 3º incorporaba, entre los tipos de ayuda, el fomento de razas en peligro de extinción y la mejora genética y de condiciones de manejo que aseguren la continuidad de estas razas. La ayuda se fijaba en 10.000 pts por UGM, bastante menor de la que posibilitaba el Reglamento (hasta 120,8 ecus, que era casi el doble en su equivalencia en pesetas en ese tiempo).

En el Anexo 3 de dicho Real Decreto, se relacionaban las razas que, por cumplir los requisitos de la FAO para ser consideradas en peligro de extinción, serían acreedoras de estas ayudas. De ellas, las que tenían presencia en Andalucía aparecen en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Razas en peligro de extinción, de interés para Andalucía, auxiliables por el R.D. 51/1995

Especie	Raza
Bovina	Berrenda en Colorado, Berrenda en Negro, Cárdena Andaluza, Mostrenca, Murciana, Negra de las Campiñas y Pajuna
Ovina	Churra Lebrijana y Merina de Grazalema
Caprina	Blanca Serrana, Negra Serrana o castiza y Payoya
Asnal	Andaluza o Cordobesa, Catalana y Zamorana
Caballar	Hispano-Bretona

Este listado de razas coincidía, en general, con el establecido anteriormente por la Consejería de Agricultura y Pesca, en la Orden ya citada antes del 27 de mayo de 1993, que desarrollaba las ayudas previstas para este mismo fin por el Decreto 53/92. Las únicas novedades eran la presencia en el listado del MAPA de la raza caballo Hispano-Bretona, que en la Orden de la Consejería no figuraba como raza autóctona y la ausencia del Manchado de Jabugo, amén de pequeñas diferencias en alguna denominación.

Los programas agroambientales comunitarios, entre los que se ha seguido incluyendo la medida de la cría de razas en peligro de extinción, en las sucesivas modificaciones de la PAC se han mantenido igual en lo básico. Así, el Reglamento (CE) 1257/1999, del Consejo, de 17 de mayo del 1999, sobre la ayuda al desarrollo rural a cargo del FEOGA (DOCE del 26.6.99), que inicia el marco financiero 2000-2006, integra las ayudas agroambientales con prácticamente el mismo esquema que el Reglamento 2078/92. Con ello pasan a ser parte del conjunto de ayudas al desarrollo rural en vez de ser simples “medidas de acompañamiento”. Este hecho refuerza mucho más su filosofía ambiental y de conservación de los recursos, frente al enfoque que tenían en el marco anterior más basado en la extensificación y reducción de excedentes.

Otro aspecto significativo de este cambio es que pasan a ser financiadas, en general, por el FEOGA-Orientación como parte de las “ayudas estructurales”, el conocido como “segundo pilar” de la PAC, salvo en el caso de las regiones “Objetivo 1”, como era Andalucía, en las que siguen siendo financiadas por la sección de Garantía del FEOGA.

La forma de aplicar las ayudas a la cría de animales domésticos de razas locales en “peligro de abandono”, del Reglamento 1257/1999, se reguló en el Reglamento de aplicación, nº 445/2002 de la Comisión, de 26 de febrero (DOCE del 15 de marzo). En su artículo 14 se establece que *“tales razas locales... deberán desempeñar una función en la conservación del medio ambiente en el área concreta en que se aplique la medida”*. Además, en su Anexo I que se reproduce en la Tabla adjunta, figura el censo máximo para que una raza sea considerada en peligro de abandono y, como tal, fuera ayudable por esta medida.

Tabla 3.4. Umbrales por debajo de los cuales se considera que una raza está en peligro de abandono (del R. 445/2002)

Especies de animales domésticos subvencionables	Número de hembras reproductoras (*)
Bovinos	7.500
Ovinos	10.000
Caprinos	10.000
Équidos	5.000
Porcinos	15.000
Avícolas	25.000

(*) Número de reproductoras de una raza, calculado en el conjunto de los Estados Miembros de la U.E., que se reproducen como raza pura, inscritas en un registro reconocido por un Estado Miembro (Libro Genealógico o Libro Zootécnico)

En el ámbito nacional, los sucesivos cambios de los reglamentos comunitarios se fueron trasladando a legislación propia a través de varios Reales Decretos (RR.DD. 4/2001, de 12 de enero; 708/2002, de 19 de julio y 172/2004, de 30 de enero). El esquema básico de las ayudas a la cría de razas en peligro de extinción, derivado del Reglamento 2078/92 y aplicado en España por primera vez por el Real Decreto 51/95, se mantuvo básicamente igual en los RRDD citados, salvo que se elevaron las ayudas hasta el máximo reglamentario de 20.000 pts (ó 120,20 euros) por UGM y se cambiaron algunos requisitos exigibles que complicaron mucho su gestión.

En efecto, en el Real Decreto 4/2001, el Ministerio modificó con muy poco acierto varios de los compromisos que se venían exigiendo en el R.D. 51/1995. En concreto y sin conocerse las razones de su inclusión, si las hubo, pues de la norma comunitaria no se derivaban, las ayudas se condicionaron al cumplimiento, entre otros, de los siguientes requisitos:

- *“Pertener a una asociación ganadera cuyos fines sean la mejora y conservación de las razas autóctonas. Inscripción en el Libro Oficial de la raza correspondiente.*
- *Participar en un programa de mejora genética, con la obligación de aportar información para seguimiento de la raza, así como para elaboración de valoraciones.”*

Dichas exigencias resultaban casi imposibles de cumplir, por desproporcionadas e irreales, en algunas razas que, como se ya se ha comentado, se reducían a unos pocos núcleos dispersos, lo que no minoraba el alto interés de su conservación.

Para salvar esta situación, el Comité Técnico para las Medidas Agroambientales, creado en Andalucía precisamente para interpretar aspectos de aplicación de estas medidas, en su Resolución de 4 de enero de 2003 (BOJA del 17.2.03) modificó dichos requisitos para posibilitar su aplicación que en aquel entonces estaba bloqueada. Por lo que refleja del estado del problema en esos momentos y la solución adoptada, merece la pena reproducir literalmente los párrafos más significativos de la citada Resolución referentes a este problema:

“En relación a los compromisos de “pertener a una asociación ganadera cuyos fines sean la mejora y conservación de las razas autóctonas. Inscripción en el Libro de Registro Oficial de la raza correspondiente” y de “participar en un programa de mejora genética, con la obligación de aportar información para seguimiento de la raza, así como para elaboración de valoraciones”, considerando que:

l) Esta Medida continúa la actuación de apoyo a la conservación de razas autóctonas en peligro de extinción que se estableció por el Real Decreto 51/1995, en el marco anterior del Reglamento (CEE) 2078/1992. En este caso se establecía el compromiso de participar en una asociación de defensa de la raza correspondiente, en el caso que el censo y el número de ganaderos lo hicieran posible. Asimismo, que el ganado objeto de ayuda debería figurar inscrito en un registro con datos genealógicos, que gestionara la asociación o en su defecto, la Consejería de Agricultura y Pesca.

II) *Las circunstancias de censo y número de ganaderos de la mayoría de las razas autóctonas en peligro de extinción incluidas en la lista de Andalucía, siguen dificultando la creación de asociaciones de las razas que puedan gestionar los oportunos Libros Genealógicos o Programas de Conservación o Mejora. No obstante, se han constituido varias asociaciones, entre cuyos fines figura la conservación de estas razas, pero sigue sin haber ni Libros Genealógicos Oficiales ni Programas de Mejora o Conservación de estas razas, debidamente aprobados por la autoridad competente.*

III) *La formulación de estos compromisos en el Real Decreto 708/2002 es imprecisa y además confusa, al incorporar términos como “Libro Registro Oficial de la Raza”, que no corresponde con la terminología existente en este sector.*

IV) *En este contexto, se considera que la labor de conservación de los censos de estas razas, que se ha conseguido en estos años con el apoyo de las ayudas del Real Decreto 51/1995, se puede ver gravemente afectada si los dos compromisos citados se interpretan en un sentido literal y restrictivo, teniendo en cuenta, además, que la existencia tanto de un Libro Genealógico como del oportuno Programa de Mejora o Conservación de estas razas, son instituciones que no dependen de los ganaderos individualmente considerados y que, en todo caso, requieren la aprobación formal de la Administración competente según los casos, hecho que aún no se ha producido.*

En base a las consideraciones anteriores, el Comité propone la adopción de los siguientes criterios para la interpretación de los dos compromisos arriba citados:

- 1. Se considerará suficiente la pertenencia a alguna asociación de ganaderos entre cuyos fines estatutarios figure la mejora y conservación de las razas autóctonas en peligro de extinción correspondientes.*
- 2. El compromiso de tener el ganado inscrito en el Libro Genealógico Oficial de la raza en cuestión, estará condicionado a la creación formal de dicho Libro por la Administración competente según los casos, siendo exigible cuando esta creación se produzca. Mientras tanto, la asociación a que se alude en el punto 1 mantendrá un Libro Registro de los animales, que contendrá, al menos, los datos equivalentes a los que, para el caso del vacuno, figuran en la parte del Acta del Documento de Identificación para Bovinos (DIB), que figura en el Anexo 2 del Real Decreto 1980/1998, de 18 de septiembre (BOE de 6 de octubre). Estos datos deberán ser puestos a disposición de la entidad a la que oficialmente se le encargase la llevanza del Libro Genealógico Oficial cuando este se cree.*

Como resumen de lo anterior, el ganadero beneficiario, aparte de justificar su pertenencia a una asociación que cumpla lo preceptuado en el punto 1, deberá suscribir el compromiso de que cuando se cree el Libro Genealógico Oficial de la raza inscribirá sus animales en el mismo, así como participará en el Plan de Mejora Genética cuando este se apruebe oficialmente”.

Con posterioridad a esa aclaración, la Orden de la Consejería de Agricultura y Pesca de 4 de febrero de 2004 (BOJA del 11.2.04), a propuesta de la Dirección General del Fondo Andaluz de Garantía Agraria (FAGA) que gestionaba estas ayudas, volvió a modificar los requisitos exigibles para esta línea, quedando finalmente redactados, en lo que concierne al problema suscitado, del siguiente modo:

- *“Titulares de explotaciones inscritos en una Asociación de Defensa de las Razas que se establecen en el Anexo 7 de esta Orden*
- *Debe estar aprobada oficialmente la reglamentación específica del Libro Genealógico de la raza en cuestión*
- *Las Asociaciones deberán cumplir los siguientes requisitos:*
- *Que en su fines estatutarios figure la mejora (sic) y conservación de las razas autóctonas en peligro de extinción correspondientes*
- *Estar reconocidas por el organismo competente para llevar el Libro Genealógico de la raza en cuestión”*

La burocracia de estas ayudas y sus controles, en la práctica por fortuna, no se correspondió mucho con la interpretación literal de los términos técnicos de los requisitos exigidos, pues poca “mejora genética” propiamente entendida se podía hacer, ni se hizo, en muchas de estas razas que contaban con sólo un número reducido de efectivos y su único y crítico problema era la conservación.

Posteriormente, en la Orden de regulación de estas ayudas de 31 de enero de 2005 (BOJA del 14 de febrero), se añadió también el requisito de que los ganaderos beneficiarios tendrían que:

“suscribir el compromiso de inscribir sus animales en el correspondiente Libro Genealógico de la raza en el mismo, así como participar en el Plan de Mejora Genética cuando estén aprobados oficialmente”.

Otro cambio destacable en la regulación nacional de esta medida, aparte del conflicto anterior, se refiere a la ampliación del listado de las razas ayudables que, en las que atañen a Andalucía, incorporó, además de las que ya figuraban anteriormente en la Tabla 3.3, las razas ovina Montesina, caprina Florida y caballar Hispano-Árabe.

El análisis de lo que han supuesto las ayudas de esta medida agroambiental a lo largo de estos años y su efecto real en la conservación de estas razas, es objeto de atención en otro capítulo de este libro, por lo que no procede entrar aquí a su consideración.

La situación de continuidad en el esquema de la medida agroambiental para la conservación de las razas en riesgo, puede verse modificada en un futuro próximo por el nuevo Reglamento 1698/2005 del Consejo, relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural, FEADER (DOCE del 21.10.05) que inicia el nuevo marco de financiación comunitaria para el periodo 2007-2013.

Por un lado, en este Reglamento se siguen manteniendo las medidas agroambientales de los marcos anteriores, estableciéndose una ayuda máxima de 200 euros por UGM de las razas en riesgo de desaparición. Además, las medidas agroambientales pasan a ser de obligada implantación en todos los EEMM aunque, de nuevo, su implementación concreta, se deja al arbitrio de cada Estado o, en el caso de España, de cada Comunidad Autónoma, dado que en esta ocasión los Programas de Desarrollo Rural tienen este ámbito competencial.

Otra novedad importante, es el nuevo apartado 5º del artículo 39 de dicho Reglamento que regula las ayudas agroambientales. En dicho apartado se recoge que “*se podrá conceder ayudas para la conservación de recursos genéticos en la agricultura para operaciones no incluidas en las disposiciones de los apartados 1 a 4*”, lo que decía poco pero dejaba entrever mucho. Una vez despejada parcialmente la incógnita con la publicación del Reglamento (CE) N° 1974/2006, de 15 de diciembre, de aplicación del FEADER que, en su artículo 28, donde se regula la aplicación del citado apartado 5º del artículo 39, recoge muchas más alternativas que las que se habían ofrecido hasta ahora en los marcos anteriores, donde tan solo se contemplaban ayudas para la cría de dichas razas.

En efecto, con la nueva reglamentación, se abre la posibilidad de financiar con los fondos del FEADER, la mayor parte de las actividades de las Asociaciones de estas razas, que justificaban las ayudas del Real Decreto 997/1999, de 11 de junio, sobre fomento de las razas autóctonas españolas de protección especial en peligro de extinción, del que se da cumplida cuenta en otro capítulo de este libro. Así, por ejemplo, cabe incluir ayudas para acciones tales como las específicas de conservación, *in-situ* y *ex-situ*, de caracterización, recopilación y creación de bancos de datos, de información y asesoramiento, etc.

Todo ello permitirá afianzar y establecer actuaciones mejor adaptadas a la diferente realidad de cada raza, lo que, si se saben gestionar bien, redundará sin duda en una mayor eficacia de los programas de conservación de las mismas.

APÉNDICE I EL CENTRO DE SELECCIÓN DE OVINO DE HINOJOSA DEL DUQUE

Como se citó anteriormente, el único “centro” del Ministerio que existía en Andalucía relacionado con el mundo de la selección y mejora de razas, era la pequeña “Granja del Estado” de Hinojosa del Duque (Córdoba).

Esta Granja se había creado por el MAPA en 1968 para conservar un núcleo del merino puro, formado a partir de lotes de diferentes líneas de las mejores ganaderías merinas del país, sin duda una de las razas de más trascendencia en la ganadería mundial, que en esos momentos se encontraba muy afectada por la generalización del cruce industrial con razas de mejor aptitud cárnica, y por ello, en claro riesgo de desaparición.

A tales efectos, se compraron reproductores en ganaderías del mayor interés genético de la raza, formándose cuatro lotes según su origen y tipo, que se mantenían separados siguiendo un sistema de monta dirigida. Además, se formó un quinto lote con la

mezcla de los anteriores. Las cuatro líneas separadas se identificaban por las denominaciones de “Hidalgo”, “Amezúa”, “Montenegro” y “Perales”, siendo todo este último lote procedente del rebaño originario del Conde de Perales, uno de los de más renombre histórico y tradición en el merino español.

Al tiempo de ser transferido a la Comunidad Autónoma de Andalucía por el Real Decreto 2179/84 de 14 de noviembre, por el que se traspasó a la C.A. Andalucía funciones del Estado en materia de Selección y Reproducción Animal, el centro en cuanto instalaciones y atención, estaba en un estado práctico de semiabandono. Las instalaciones ganaderas estaban anticuadas, la oficina prácticamente en ruina, de modo que el veterinario que estaba al cargo del centro, D. José Aparicio, tenía que guardar los papeles ¡en su casa!. Las posibilidades forrajeras de la finca eran muy escasas debido a su reducida superficie, lo que obligaba a arrendar por la zona otros pastos y rastrojeras, sin tener nunca seguridad que permitiera establecer un programa de manejo estable que fuera adecuado a la calidad genética del rebaño. Todo ello, además, agravado por lo reducido de su presupuesto de funcionamiento.

Por fortuna y a pesar de las penurias que sufrían, lo principal del centro que era el patrimonio genético, la calidad y pureza de su rebaño, se había conservado razonablemente bien gracias al celo profesional de su personal, entre los que cabría citar de modo destacado al mayoral D. Angel Rodríguez.



El Centro de Selección de Ovino en 1990.

El deplorable estado de conservación del centro queda ilustrado con esta anécdota significativa. En primavera de 1986, en reconocimiento de la importancia que significaba España en esta raza, se celebró en Madrid la II Conferencia Mundial del Merino, segunda edición de la celebrada en Melbourne cuatro años antes. En dicha conferencia participaban numerosos expertos mundiales, así como ganaderos y representantes de las diferentes asociaciones que tiene esta raza en el mundo. Para el viaje post-conferencia, con toda la lógica del caso, la organización, de la que no formaba parte la Administración Autónoma, había previsto una visita al centro de Hinojosa del Duque, prácticamente el único lugar que quedaba en nuestro país donde aún se podían ver reunidas las estirpes puras más ancestrales del tronco merino.

Cuando se comunicó dicha visita a la Consejería, considerando el penoso estado de las instalaciones y para no dar una ima-

gen muy negativa de la situación, se decidió llevar una muestra representativa del rebaño al vecino Centro de Formación y Capacitación Agraria, que sin ser nada del otro mundo, reunía mejores condiciones, para que allí lo vieran tan ilustres visitantes.

Fue una escena muy impresionante, que no se nos borra de la memoria a los que fuimos testigos de ella, ver a varios viejos ganaderos australianos meterse atropelladamente en el rebaño, agarrar ovejas y abrir sus vellones para apreciar la calidad de la lana y, sin parar de tocarlas, hacer toda clase de exclamaciones casi llorando de emoción. Estaban viendo y tocando lo que para ellos era una reliquia digna casi de adoración ¡los auténticos representantes directos de aquella raza que fue llevada en tiempos a su país y había constituido su principal fuente de riqueza!

Un vez transferida dicha granja, que pasó a denominarse “Centro de Selección de Ovino” y evaluada la importancia genética del rebaño, se consideró que dicho centro, por su historia y reducida dimensión, tenía que dedicarse solamente al merino puro, conservar y difundir la riqueza genética de la raza de la que era depositario y, en un futuro no lejano que se vislumbraba, como se comentará más adelante, servir de apoyo a la Asociación de Ganaderos de la Raza Merina para la valoración genética de los reproductores y puesta a punto de técnicas reproductivas que favorecieran a dicha mejora.

Con estos objetivos, en los años siguientes se acometió un programa de revitalización de dicho centro, que incluía las siguientes actuaciones:

- La mejora de todas las instalaciones ganaderas existentes y construcción de algunas nuevas, apriscos, cercados, corrales de manejo, etc.
- Construcción de nuevas oficinas, enfermería e instalaciones para la inseminación artificial,
- Optimización de los recursos alimenticios propios, construcción de un pozo, puesta en regadío de lo que alcanzaba el agua para cultivo de forrajeras y praderas e intento de consolidación de los arriendos de pastos y rastrojeras.
- Eliminación de los lotes de Merino precoz y Fleischschaff, que se habían traído desde el CENSYRA de Badajoz poco antes de la transferencia, que fueron cedidos respectivamente a las Diputaciones de Huelva y Sevilla, entidades que llevaban programas de cesión de sementales de estas razas para cruce industrial. Con ello, todos los siempre escasos recursos de la explotación, se concentrarían en el rebaño merino, lo que permitiría ampliarlo hasta cerca de 450 reproductoras.
- Ordenación del manejo del rebaño, en todos los órdenes, tratando de mantener una alimentación racional pero que siguiera el sistema tradicional de pastos y rastrojeras, suplementando solo para salvar baches de la oferta natural. El programa sanitario se hizo sistemático y, en cuanto al régimen reproductivo, se volvió al tradicional de un parto único al año, con control riguroso de las paternidades dentro de cada línea.

Al tiempo que se iban llevando a cabo estas mejoras y bajo la dirección de diferentes técnicos, se procedió a la recopilación y depuración de todos los datos del rebaño, genealogías, etc, eliminándose aquellos animales de los que no había completa garantía de su genealogía.



El rebaño merino del Centro de Selección de Hinijsosa del Duque.

Una vez que se fue mejorando toda la gestión del centro y en base al Convenio suscrito con el Departamento de Producción Animal de la Universidad de Córdoba, se inició la valoración genética, mediante el “modelo animal”, de los reproductores del centro.

La política que se pretendía seguir en este Centro, así como los resultados que se iban obteniendo en el rebaño, que se detallan en el cuadro adjunto, se presentaron en la siguiente Conferencia Mundial del Merino, celebrada esta vez en Africa del Sur, cuatro años más tarde de aquella accidentada visita narrada antes (Maesso *et al.*, 1990).

Tabla 3.5 Datos del rebaño de Merino Puro del Centro de Selección de Ovino

	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Fertilidad efectiva (1)	90,1	92,1	92,8	89,8	92,3	93,7
Prolificidad (2)	145,0	142,6	140,7	132,1	146,5	145,1
Partos múltiples	44,6	59,2	39,2	31,9	45,0	43,1
Corderos destetados (3)	1,18	1,21	1,21	1,10	1,25	1,24
Prod. de lana (kg/cab)	3,8	4,3	3,7	3,3	3,7	4,1

Fuente. Memorias del Sv. de Producción Animal. Consejería de Agricultura y Pesca

(1) Fertilidad efectiva: en % partos por oveja a cubrición

(2) Tasa de prolificidad: en % corderos nacidos por parto

(3) En % corderos destetados por oveja a cubrición

Estando ya en marcha el proyecto de creación del Centro de Selección de Porcino Ibérico que se iba a situar en la finca “La Atalaya” de Cazalla de la Sierra (Sevilla), y teniendo en cuenta que las disponibilidades forrajeras de dicha explotación superarían las necesidades del porcino, se decidió que en dicha finca se asentaría también un rebaño de merino español procedente del Centro de Hinojosa. A tal fin, durante 1990, se suprimieron las cesiones de reproductoras a los ganaderos y se aumentó al máximo el recría, con el fin de disponer de hembras que irían destinadas al año siguiente a La Atalaya.

En la reorganización administrativa de la Consejería de Agricultura y Pesca de 1994, aprobada en el Decreto 220/1994, de 6 de septiembre (BOJA del 10.9.1994), el Centro de Selección de Ovino deja de depender de la Dirección General de Agricultura y Ganadería (que cambia entonces su denominación por la de “Producción Agraria”) pasando al ámbito orgánico y funcional de la Delegación Provincial de la Consejería de Córdoba, suspendiéndose con ello los planes que tenía dicha Dirección General, para que este centro sirviera de apoyo tanto a la conservación como la mejora de la raza Merina.

APÉNDICE II EL PROYECTO DEL CENTRO DE SELECCIÓN DE PORCINO IBÉRICO

“El cerdo ibérico ha constituido a lo largo de la historia uno de los pilares fundamentales de la ganadería extensiva del Suroeste español, al ser un extraordinario ejemplo de revalorización de los recursos naturales, transformables en productos de inestimable y reconocidas calidad” Así se iniciaba el proyecto de Plan Andaluz del Cerdo Ibérico, elaborado en la Consejería de Agricultura y Pesca a principios de 1989, por el que se pretendía acometer un conjunto de acciones encaminadas a la conservación y mejora de dicha raza.

En dicho plan, tras hacer un análisis y diagnóstico de la situación del sector, se concluía en la necesidad de prestar una atención especial tanto al sistema de producción de la dehesa como a la propia raza Ibérica. Ésta, aunque se encontraba en una situación menos mala que en la década anterior, seguía teniendo amenazada su existencia como raza pura, a causa de la generalización desordenada de los cruces con otras razas más precoces y de mayor prolificidad. Dichos cruces, en aquellos tiempos, resultaban más atractivos no solo para los ganaderos, al suponer camadas más numerosas y de más rápido crecimiento, sino que las mismas industrias, salvo casos contados, hacían poco al respecto, al no reconocer prácticamente nada, en términos económicos, el valor de la pureza racial.

En este contexto, en el Plan se advertía de los riesgos de perder la raza, con estas palabras:

“La mayor parte de las argumentaciones económicas y ecológicas a favor del mantenimiento de las dehesas, pivotan en el eje encina-cerdo ibérico extensivo. Cuando ha fallado este último elemento, el cuidado del arbolado, el mantenimiento del capital productivo y, en resumen, la economía general de la dehesa, se han visto seriamente afectadas...La dinámica de los diferentes factores que inciden en el sector, ha desembocado en una grandísima disminución de la explotación del porcino extensivo, ...lo que ha traído además, una grave disminución del censo

del ibérico puro...La reciente creación del Libro Genealógico de la Raza y de la Asociación de Criadores encargada de su gestión, está apoyando también el desarrollo del ibérico puro."

A partir del análisis del sector, el Plan formulaba cinco líneas de trabajo, entre las que se encontraba el "Apoyo al desarrollo de la raza Ibérica en pureza y de la mejora de la misma". En dicha línea, se hacía un recorrido por las principales iniciativas para la mejora y conservación de la raza que había en el país en esos momentos, entre las que se destacaban las siguientes:

La primera y de mayor trascendencia, la del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) en el "Dehesón del Encinar", Oropesa (Toledo), donde un equipo de investigadores dependientes del centro de dicho organismo en Madrid (Dobao, Rodrigañez, Silió, Toro, etc.) llevaban muchos años dedicados a la conservación, caracterización y mejora del cerdo ibérico. Entre otros trabajos, habían desarrollado la línea "Torbiscal" a partir de las estirpes originales, que presentaba notables características productivas. Varias Diputaciones andaluzas mantenían núcleos de dicha línea para su multiplicación y difusión entre los ganaderos. Aunque el "Dehesón" había sido transferido poco tiempo antes a la Junta de Comunidades de Castilla la Mancha, por fortuna el equipo del INIA central seguía allí trabajando, aunque por diversas razones, el mantenimiento de su rebaño porcino y la continuidad de sus investigaciones en dicho centro, no tenía en aquellos tiempos un futuro nada claro.

Otra iniciativa destacable, más reciente, era la del Servicio de Investigación Agraria de la Junta de Extremadura, que en su centro de "Valdesequera", desarrollaba una línea de ibérico a la que dieron dicha denominación, derivada del antiguo rebaño del Marqués de Silvela de muy apreciables características productivas.

A este panorama se unía el desarrollo del Libro Genealógico de la raza, aprobado por Orden del MAPA de 28 de mayo de 1987, que en esos momentos estaba en la fase de creación de su Libro Fundacional, siendo la Asociación Española de Criadores de Ganado Porcino Selecto del Tronco Ibérico (AECERIBER) la que tenía encomendada su gestión.

No obstante estas realidades, el Plan Andaluz constataba la falta de *"un centro donde se encuentren recogidas las líneas de ibérico existentes, de interés, algunas de las cuales están en grave riesgo de desaparición"*. Asimismo, se consideraba necesario *"elevar, lo más rápidamente posible, el nivel genético del censo ibérico andaluz, para mejorar al tiempo la productividad (número de lechones, crecimiento, etc.) y la calidad de la canal"*.

En este contexto, el Plan establecía como líneas de trabajo, en primer lugar, el *"Apoyo al desarrollo del Libro Genealógico de la raza y a cualquier programa de control de rendimientos que desarrollen en el futuro las asociaciones de criadores"* para lo cual se mantenían conversaciones con AECERIBER. En segundo lugar, la *"creación de un centro de selección y mejora en Andalucía"*.

El objetivo principal de este centro sería la *"selección y primera multiplicación, de aquellas líneas de mayor interés, que sean mejorantes de la cabaña actual"* y, como segundo ob-

jetivo,"*la conservación de diferentes líneas de la raza, como mera conservación de un patrimonio que está en trance de desaparición*"

Con esta idea, en el año 1989 se inicia el proyecto de creación del "Centro de Selección de Porcino Ibérico", como se le bautiza oficialmente. Cualquier lector con experiencia en la Administración puede imaginarse el cúmulo de dificultades de todo tipo, técnicas, políticas, económicas, etc. que hay que vencer para sacar adelante una iniciativa de este calado que, si quería tener éxito, tendría necesariamente que tener garantizada su estabilidad en el tiempo, solidez técnica y medios humanos y materiales, adecuados y suficientes.

Mientras, con el concurso inestimable y totalmente desinteresado del equipo de investigación del INIA antes citado, con el que se proyectaba más adelante formalizar un convenio de apoyo científico, se iba preparando el esquema técnico del proceso de selección y mejora a desarrollar y se empezaron las prospecciones en ganaderías de pureza y genética acreditada, tanto en Andalucía, donde prácticamente no quedaba nada original, como en Extremadura, donde todavía había núcleos de cierto interés y, sobre todo, en el Bajo Alentejo portugués, en donde quedaban algunas ganaderías de mucho valor, conservadas en un razonable estado de pureza. De ellas provendrían los núcleos fundacionales, tanto para la conservación de líneas que evitaran su desaparición, como para ser utilizadas como base de cruces que sirvieran para mejorar la cabaña.

Otro escollo importante a salvar era la ubicación del Centro. Había que encontrar una finca de cierta dimensión y características apropiadas, situada, a ser posible, en el mismo entorno natural en que se desenvuelve la raza. En 1990 se selecciona para este fin la dehesa "La Atalaya", del término municipal de Cazalla de la Sierra (Sevilla), en pleno corazón de la Sierra Norte de Sevilla.

Dicha finca reunía unas características óptimas, con una importante superficie, que aseguraba un buen nivel de aislamiento, lo que era fundamental por razones sanitarias. Con sus 679 ha. de superficie, casi toda ellas de topografía moderada, buenos pastos y una notable arboleda de alcornocal y encinar, contaba además, con una pequeña zona de regadío de gran importancia estratégica en un clima de tanta irregularidad pluviométrica. En conjunto, reunía unas condiciones inmejorables para asentar allí el centro de selección. Para mayor facilidad, la finca pertenecía en aquellos tiempos al Instituto Andaluz de Reforma Agraria (IARA), cuyas propiedades estaban sujetas a la Ley de Reforma Agraria, pero ésta, posibilitaba la dedicación a fines científicos como sería el caso. La adscripción al Patrimonio de la Junta y una vez en éste, la cesión del uso a la Consejería de Agricultura y Pesca para ubicar en ella el CSPI, se logró formalizar a lo largo de 1990.

¿Qué faltaba aún? Obviamente muchas cosas pero, poco a poco, se iban consiguiendo. Se logró una de las más difíciles en la Administración, ver aprobada una plantilla de personal, una "RPT" o Relación de Puestos de Trabajo en el argot administrativo, que salió a la luz en el Decreto de la Junta de Andalucía 206/91. En este Decreto se nombraba Director del Centro a un técnico del Servicio de Producción Animal que, desde cierto tiempo antes, venía dedicándose enteramente a este proyecto, la selección de las ganaderías de donde vendrían los núcleos de origen, el diseño de las instalaciones, abre-

vaderos, cercas ¡dobles y con un pasillo de seguridad! cautela costosa pero necesaria, pues aunque se veía ya cercana la fecha de su total erradicación, seguía habiendo PPA en la zona, con el consiguiente riesgo de que la aparición de un brote echara al traste todos los esfuerzos.

Todas las inversiones necesarias en la construcción de las instalaciones, adquisición de los lotes de ganado iniciales, utillaje diverso, venían financiándose dentro del Programa Operativo Comunitario 90-93, al que la Unión Europea contribuía con un considerable porcentaje de los fondos.

Las abundantes posibilidades pascícolas y forrajeras de “La Atalaya” superarían con creces las necesidades de los núcleos ibéricos, por lo que, sin perder la prioridad de estos, base y fundamento del centro, se decidió asentar allí también unos lotes de ganado ovino y bovino, contando con la compatibilidad y cierta complementariedad del manejo entre rumiantes y el porcino extensivo. Esto se inició, como se ha comentado antes, llevando un lote de borras merinas puras del rebaño del Centro de selección de Ovino Hinojosa del Duque, al que seguirían más adelante, algunos lotes de vacas de alguna de las razas autóctonas andaluzas, como las berrendas, en peligro de extinción.

Cuando ya se había conseguido encaminar el proyecto, salvando las cuestiones más difíciles, se disponía de casi todo el equipamiento necesario y se veía próximo el fin de los trabajos preparatorios e inicio de las actividades, cambios en los órganos directores del área de la que dependía el proyecto decidieron, sin mayores consideraciones, acabar con esta iniciativa. La única alternativa que se planteó para “La Atalaya” fue su cesión al Ayuntamiento de Cazalla de la Sierra, que se comprometería a mantener allí algunos núcleos de razas en peligro de extinción sin que, al parecer, tal extremo llegara a convertirse en realidad. Dicha cesión se protocolizó en un Convenio que suscribieron ambas partes el 22 de diciembre de 1992, cerrándose así el notable y fallido intento de tener en Andalucía un centro de selección y conservación de la raza porcina ibérica, que hubiera tenido tanto interés para nuestra ganadería.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Maesso Muro, G, Bravo Rubia, M.C, González de Tánago del Río, A (1990): "The Merino Centre of Hinojosa del Duque (Córdoba, Spain). World Merino Conference (Pretoria, África del Sur). Paper N° 25
- Delgado Bermejo, J.V, Rodero Serrano, E, Camacho Vallejo, M.E, Rodero Franganillo, A (1992): Razas Autóctonas Andaluzas en Peligro de Extinción. Dpto. de Genética. Fac. de Veterinaria. Universidad de Córdoba
- Rodero Serrano, E, Delgado Bermejo, J.V, Rodero Franganillo, A, Camacho Vallejo, M.E, (1995): Conservación de Razas Autóctonas Andaluzas en Peligro de Extinción. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca (Sevilla, España).



**ASPECTOS METODOLÓGICOS
DE LA CONSERVACIÓN**

CAPÍTULO 3

LA VARIABILIDAD GENÉTICA EN EL ÁMBITO DE LA CONSERVACIÓN DE RECURSOS GENÉTICOS ANIMALES.

Antonio Molina Alcalá¹, Jesús Fernández Martín², Mercedes Valera Córdoba³

1 Dep. Genética, Univ. Córdoba, Campus Rabanales C5, 14071 Córdoba; eMail: ge1moala@uco.es

2 Dep. Mejora Genética Animal, INIA, 28040 Madrid;

3 Dep. Ciencias Agroforestales, Univ. Sevilla, Sevilla

1. INTRODUCCIÓN A LA BIOLOGÍA DE LA CONSERVACIÓN. LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO DE LA BIODIVERSIDAD.

La *Cumbre de la Tierra*, celebrada por Naciones Unidas en Río de Janeiro en 1992, reconoció la necesidad mundial de conciliar la preservación futura de la biodiversidad con el progreso humano, según criterios de sostenibilidad o sustentabilidad promulgados en el Convenio internacional sobre la Diversidad Biológica que fue aprobado en Nairobi en el mismo año.

Ante el deterioro observado, como consecuencia de la sobreexplotación y utilización inadecuada de los recursos naturales, la conservación de la biodiversidad se ha convertido en un objetivo común entre las distintas naciones y culturas del mundo. El concepto de conservación ha evolucionado en las últimas décadas, pasando desde el objetivo de preservar inalterado, al de aprovechar de forma racional. Este cambio ha originado el surgimiento del principio del uso sostenible de los recursos renovables como el objetivo moderno de conservación de la biodiversidad. La idea fundamental es que los humanos, como cualquier otra especie que habita el planeta, tiene el derecho de aprovechar los recursos naturales, pero no posee la libertad de agotarlos o deteriorarlos más allá de su capacidad de recuperación. Por tanto, el reto del futuro es el desarrollo de la tecnología necesaria para el logro del uso sostenible de los recursos.

El término *Diversidad Biológica* hace referencia a la amplia variedad de seres vivos sobre la Tierra y los patrones naturales que conforma, resultado de miles de millones de años de Evolución según procesos naturales y también, de la influencia creciente de las actividades del ser humano. La biodiversidad comprende igualmente la variedad de ecosistemas y las diferencias genéticas dentro de cada especie que permiten la combinación de múltiples formas de vida y cuyas mútuas interacciones y con el resto del entorno, fundamentan el sustento de la vida sobre el planeta.

La historia biológica de la Tierra se ha caracterizado por dos procesos fundamentales: la extinción de especies existentes y el surgimiento de nuevas; de hecho, se estima que menos del 1% del total de especies que han existido están presentes en la actualidad (Slobodkin, 1986). La historia biológica actual se diferencia notablemente de la que

existió en épocas anteriores, principalmente debido a la presencia de una de las especies más recientes, el *Homo sapiens*. Su actividad es la causa del aceleramiento desproporcionado de las tasas de extinción, superando la velocidad de aparición de especies nuevas, lo cual ha ocasionado que la diversidad biológica de la Tierra se encuentre disminuyendo paulatinamente de forma irreversible. Se calcula que la tasa actual de extinción de especies es entre 1.000 y 10.000 veces superior que la tasa de extinción base normal estimada en ausencia de la influencia humana (Wilson, 1989).

Los estimaciones más conservadoras indican que desde el siglo XVII más de 700 especies de plantas y animales se han extinguido a causa de la actividad humana (McNeely *et al.*, 1990); si bien son muchos investigadores los que estiman que un número mayor de 1.000 especies desaparecen cada año, la gran mayoría de ellas endémicas de los bosques tropicales (Wilson, 1988). Estos autores señalan que, de continuar las tendencias observadas en las tasas de extinción en estos bosques, en unos 20 a 30 años cerca de un cuarto de la diversidad biológica del planeta se encontrará en riesgo serio de desaparecer (Raven, 1988). Se estimaba que en el año 2000 la tasa de extinción podría llegar a un promedio de 100 especies diarias, 300 veces superior a la velocidad «normal» de recambio (Myers, 1990). Esto hace que se considere que estamos asistiendo a la sexta oleada de extinciones, totalmente comparable con las cinco grandes extinciones en masa del registro geológico. La única diferencia es que, en este caso, podemos atribuir la responsabilidad a nuestra especie, paradójicamente llamada *Homo sapiens*.

Las causas actuales de extinción son variadas y, sin duda alguna, entre las más importantes se encuentran la pesca y cacería indiscriminada y la destrucción de hábitats, bien directamente o por los cambios que la actividad humana está provocando en los ecosistemas (el más grave de los cuales se puede agrupar bajo el término de “cambio climático”, aunque existen otros muchos como la desertización o la alarmante disminución de la disponibilidad de agua potable). En la actualidad, 32% de los mamíferos amenazados de extinción, 60% de las aves, 22% de los reptiles y 66% de los anfibios, deben su condición de riesgo a la modificación de su hábitat natural, la mayor amenaza que enfrenta la biodiversidad del mundo contemporáneo. En cambio, actualmente la cacería es una causa muy secundaria de extinción, manteniendo cierta importancia la pesca.

Considerando el caso de bosques tropicales, posiblemente el ambiente individual más afectado por actividades humanas, se estima que 7.300.000 ha son deforestadas cada año (McNeely *et al.*, 1990). Tomando en cuenta que los bosques tropicales constituyen el ecosistema mundial de mayor diversidad biológica (McNeely *et al.*, 1990), la destrucción de un área pequeña produce la extinción de un número de especies que en la mayoría de los casos no puede estimarse, ya que una gran proporción aún no han sido descritas para la ciencia (Wilson, 1988).

Existen dos consecuencias principales e independientes de la destrucción del área de un ecosistema particular. La primera es la disminución de la cantidad o calidad del hábitat disponible, que ocasiona usualmente la extinción inmediata de algunas especies escasas o su distribución en forma de parches, y el aumento de la probabilidad de extinción de las especies remanentes por la disminución de sus tamaños poblacionales (Soulé, 1983). La segunda consecuencia de la intervención es el aislamiento, ya que la destruc-

ción del hábitat provoca la fragmentación y da origen a porciones separadas de un ambiente que anteriormente formaba un continuo ininterrumpido, creando barreras para la dispersión de los individuos entre fragmentos diferentes (estos conceptos serán analizados en mayor profundidad posteriormente).

Cuando se analizan los factores que aumentan la susceptibilidad de extinción de una población, debe advertirse que éstos generalmente actúan de forma simultánea. De hecho, la dificultad para desarrollar un análisis de viabilidad de una población radica en que hay que considerar al mismo tiempo argumentos demográficos, genéticos, etológicos y ecológicos (Soulé, 1986). Entre los factores intrínsecos que determinan la extinción de una población cabe destacar a los de índole genética (Frankel y Soulé, 1981). Cuando una población sufre una disminución drástica de su tamaño, conocida como *cuello de botella poblacional*, una gran proporción de los genes anteriores desaparecen y se produce una reducción dramática de la variabilidad genética presente antes del cambio. Por esta causa, el grado de parentesco entre los sobrevivientes aumenta al cruzarse con individuos cercanamente emparentados. Cuando esto ocurre, se origina un proceso conocido como depresión endogámica, resultante de la expresión masiva de genes recesivos deletéreos mantenidos a baja frecuencia en la población. Si el tamaño de la población permanece reducido, el proceso avanza y se hace más susceptible a la extinción.

En el caso de las especies domésticas, la situación de la biodiversidad no es menos preocupante. En el caso de los recursos genéticos de los animales de granja, 190 variedades han desaparecido en los últimos 15 años y y otras 1.500 están consideradas “en riesgo” de extinción (FAO, 2006). En este último informe mundial sobre los recursos zogenéticos, se reconoce que 60 razas de ganado bovino, cabras, cerdos, caballos y aves de corral se han perdido en los últimos cinco años, a una tasa promedio de una raza al mes.

La importancia de su biodiversidad y de los agroecosistemas en los que se asienta está siendo reconocida a nivel mundial en las últimas décadas. La capacidad de los agroecosistemas para mantener e incrementar su productividad (agricultura y ganadería) y adaptarse a las nuevas condiciones ambientales actuales es vital para asegurar la alimentación de la población mundial (FAO, 2006), dado que se espera que la población mundial crezca más de un 50% hasta el año 2030. En el pasado, la demanda de una producción mayor se ha realizado por una combinación de mejora genética, optimización del sistema productivo, intensificación y aumento de la superficie productiva. En la actualidad, esta producción animal está determinando graves problemas en amplias zonas del planeta con graves problemas de erosión, contaminación y deterioro del medio ambiente, a la vez que se despueblan las zonas rurales.

La biodiversidad, comúnmente conocida como “diversidad biológica”, se define en el Convenio sobre la diversidad biológica de las Naciones Unidas (CDB) como la “variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte: comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas”. (art. 2 de la CDB, 1992).

En este sentido se señala que *“La gestión sostenible y el mejoramiento genético de las variedades locales son esenciales para que los países satisfagan sus necesidades futuras de alimentos y respondan a la transformación del entorno productivo”*. Así las estrategias actuales buscan, por un lado el mantenimiento de la biodiversidad evitando la pérdida del patrimonio genético (desaparición de razas que puedan ser un seguro para el futuro) y de la variabilidad de cada raza (evita erosión genética, depresión consanguínea y desaparición); y el mantenimiento de las razas locales poco seleccionadas como ayuda a la subsistencia de las poblaciones rurales, por otro.

En las especies domésticas, al contrario de lo que se ha señalado en el caso de las salvajes, la FAO señala que el factor principal que repercute en la zoodiversidad es la globalización de los mercados pecuarios. La mayor parte de la demanda en acelerado crecimiento, de productos pecuarios se satisface a través de sistemas de producción intensiva, que utilizan unas cuantas razas y variedades que son muy productivas pero que consumen muchos insumos. Así, la FAO estima que los sistemas de producción animal industriales crecen al doble de la velocidad que los sistemas tradicionales mixtos, y seis veces más rápidamente que los sistemas de pastoreo extensivo. Esto lleva a que la mayor parte de la producción animal mundial provenga de un número muy limitado de especies y razas. Por ejemplo, algunas variedades comerciales proporcionan más de una tercera parte del suministro de carne de cerdo, a la vez que unas cuantas variedades comerciales de ponedoras proporcionan alrededor del 85% de la producción de huevos. Algunos cálculos indican que las variedades de ganado lechero más productivo producen dos tercios del suministro mundial de leche (FAO, 2006).

Sin embargo son las variedades locales las que se adaptan mejor a las condiciones cambiantes (pe. la sequía) y otras situaciones desfavorables y, por lo tanto, pueden ofrecer a los pequeños productores una mayor seguridad alimentaria. Se pueden encontrar otras razones para el mantenimiento de estos recursos genéticos, tanto de tipo científico, e histórico-cultural, como ecológico-ambientales (Simons, 1984), que serán analizados en profundidad en otros capítulos.

En este capítulo se pretende analizar la importancia de la variabilidad genética desde el punto de vista de la conservación de especies domésticas principalmente, mientras que en el siguiente capítulo abordamos los factores que determinan su erosión, sus consecuencias y las estrategias genéticas para evitarlo.

2. LA DIVERSIDAD GENÉTICA: CONCEPTO E IMPORTANCIA EN EL ÁMBITO DE LA CONSERVACIÓN

La variabilidad genética se refiere a la variación en el material genético de una población o especie (variabilidad a nivel genético entre los individuos que forman la población), e incluye los genomas nuclear, mitocondrial y ribosomal, además de los genomas de otros orgánulos. Esta variabilidad es la materia prima de la evolución. Para que la selección natural pueda actuar sobre un carácter, debe haber algo que seleccionar, es decir, varios alelos para el gen que codifica ese carácter. De la misma forma, si no existe variabilidad genética tampoco es posible la selección artificial.

2.1. Adaptabilidad (capacidad de evolución)

Si queremos garantizar la supervivencia a largo plazo de una especie, existe otra razón por la que es importante mantener la variabilidad genética. Las mismas actividades humanas que amenazan su estabilidad demográfica, exigen presiones selectivas mucho más intensas que las que se experimentan en escenarios naturales. La degradación y la contaminación ambiental, el cambio climático, la introducción de especies, la sobreexplotación, etc., imponen una serie de condiciones, que muchas especies no han experimentado anteriormente.



Según el *Teorema Fundamental de la Selección Natural* (Fisher, 1930), la tasa de cambio evolutivo es directamente proporcional a la varianza genética aditiva del valor adaptativo de la población. En poblaciones exógamas se ha estimado que por cada incremento de un 10% del coeficiente de endogamia puede llegar a reducirse hasta un 25% su valor adaptativo (Falconer y Mackay, 1996). Cuando se reduce la diversidad genética de una población, su potencial evolutivo disminuye (su flexibilidad evolutiva), reduciéndose su capacidad de responder ante futuros retos ambientales. Por tanto, si queremos preservar las opciones para la evolución futura de las especies, es necesario conservar su diversidad genética.

Este hecho ha sido reconocido por la World Conservation Union (IUCN) al indicar que la diversidad genética es uno de los 3 niveles de diversidad que hay que conservar, dado que es la única forma de mantener el potencial de evolución y de la asociación entre erosión genética (pérdida de variabilidad genética), consanguinidad y capacidad reproductiva (McNeely *et al.*, 1990).

La importancia de la plasticidad fenotípica ha sido debatida extensamente en los últimos años y se ha llegado a la conclusión de que la supervivencia futura de las pequeñas poblaciones pasa por el mantenimiento de la variabilidad genética y la plasticidad o capacidad de adaptación a las variaciones ambientales (Pertoldi *et al.*, 2006). En este sentido, en el último workshop sobre el estado de la conservación genética (*“Integrating population genetics and conservation biology: merging theoretical, experimental and applied approaches (ConGen)”*), celebrado en Potsdam (Alemania) por la European Science Foundation se ha resaltado la necesidad de ampliar los estudios sobre plasticidad y su relación con la interacción genotipo-ambiente para determinados caracteres relacionados con la adaptación a gradientes ambientales y las consecuencias de la endogamia y exogamia sobre esta adaptación.

2.2. Relación con eficacia biológica (depresión).

La depresión consanguínea (deterioro de los caracteres relacionados con la capacidad reproductiva y de adaptación o *fitness*) por el incremento de la consanguinidad es un fenómeno observado en casi todas las especies investigadas (Wright 1977; Lynch y Walsh 1998; Hedrick y Kalinowski 2000), incluido el hombre (ver revisión de Ayala y Kiger, 1984) y conocido desde hace mucho tiempo (existen referencias en la cultura Griega antigua y fueron incluso estudiados y discutidos por Darwin).

Los efectos fenotípicos (externos) de la consanguinidad se observaron mucho antes que se intentara el enfoque experimental. Ya Darwin, en 1859, en su investigación sobre "El origen de las especies", describía que "las consecuencias de una endocría cerrada durante mucho tiempo son, como se cree con frecuencia, pérdida de tamaño, vigor constitucional y peor fertilidad, algunas veces acompañadas por la tendencia a malformaciones". Hoy en día, continúa siendo acertada la afirmación de Darwin

Para Falconer y Mackay (1996) los efectos de la consanguinidad se podrían resumir en un aumento de la homocigosis, la redistribución de las varianzas genéticas y la mayor probabilidad de que aparezcan genes recesivos letales o subletales con la consiguiente reducción de la aptitud de los animales consanguíneos, particularmente sobre reproducción (fertilidad) y viabilidad.

Esta disminución se debe tanto a la pérdida de variabilidad global (disminución de la habilidad para adaptarse a nuevos ambientes), como a la homocigosis de alelos específicos. Existen numerosas evidencias en diferentes organismos, que apoyan la idea de que la mayor parte de la depresión por endogamia se debe a alelos deletéreos parcialmente recesivos (Willis, 1999) y no a loci sobredominantes (como postulaba p.e. Lerner y Michael, 1954). Así, diversos experimentos realizados con *Drosophila*, ponen de manifiesto que, aproximadamente la mitad de la depresión por endogamia se debe a alelos letales que son casi completamente recesivos, y el resto, al efecto acumulado de muchos alelos ligeramente deletéreos, que son parcialmente recesivos (Crow y Simmons, 1983; Charlesworth y Charlesworth, 1987).

Durante mucho tiempo persistió la creencia de que los efectos detrimentales de la endocría eran el resultado de la misma consanguinidad. Este punto de vista se corrigió al estudiar la naturaleza mendeliana de la herencia: los efectos perjudiciales eran una consecuencia de la endocría, pero la consanguinidad no era culpable por sí, sólo descubriría las tendencias deletéreas latentes y permitía su expresión.

En este sentido, las mutaciones deletéreas que se acumulan en una población constituyen lo que se denomina su *lastre genético* (Muller, 1950). Se ha observado una relación lineal entre el lastre y la consanguinidad (Crow, 1958).

También se ha comprobado que existe gran diferencia en cuanto a la cantidad de lastre genético (denominado en este caso *letal equivalente*) que una determinada especie es capaz de soportar (Ralls *et al.*, 1988). De la misma, forma en distintas especies, e incluso en distintas poblaciones dentro de una misma especie, se observan diferencias sustanciales en la magnitud de depresión por endogamia (Soulé, 1980; Lacy, 1987). En general, se admite que en las poblaciones pequeñas, la magnitud de la depresión consanguínea puede ser tan alta que sea el factor de riesgo para su supervivencia más impor-

tante (Frankham *et al.*, 2001), especialmente si se da junto a condiciones ambientales estresantes, es decir si las condiciones ambientales no son las adecuadas (Whitehead, 1978). En la tabla 1 se presentan los efectos sobre la depresión consanguínea y la carga genética de tres posibles escenarios poblacionales.

Tabla 1. Escenarios que determinan diferentes niveles teóricos de endogamia y carga genética

Escenario	Depresión Endogámica	Carga Genética
Población grande y en equilibrio	Alta	Baja
Población recientemente pequeña	Intermedia (limpia algunos deletéreos de gran efecto)	Intermedia (fija algunos deletéreos de pequeño efecto)
Población pequeña a largo plazo	Baja (limpia deletéreos de medio y gran efecto)	Alta (fija muchos deletéreos de pequeño efecto)

De forma general, la depresión consanguínea se manifiesta por una menor capacidad de adaptación al medio ambiente, una alta mortalidad en los primeros estadios de vida, menor capacidad reproductiva, crecimiento más lento, menor vigor general y menor tamaño corporal en el adulto (Falconer y Mackay, 1996).

Entre los efectos más perjudiciales desde el punto de vista de la conservación de las pequeñas poblaciones, se encuentra la disminución del rendimiento reproductivo (fertilidad y viabilidad de las crías), lo cual disminuye aún más el número efectivo e incrementa la consanguinidad y sus efectos.

Adicionalmente la depresión consanguínea hace a los individuos más sensibles al stress ambiental (Kristensen *et al.*, 2003). Dado que generalmente en estas poblaciones existe una fragmentación y deterioro ambiental, este hecho también encamina a la población a una situación de no retorno (Frankel, y Soulé, 1981). Por ello, los efectos de la depresión consanguíneas son especialmente graves en el caso de las poblaciones salvajes (Reed *et al.*, 2002).

De la misma forma existen estudios teóricos (O'Brien y Evermann, 1988; Sorci *et al.*, 1997), y experimentales (Spielman *et al.*, 2004) y numerosas evidencias de campo, de la relación entre la pérdida de variabilidad y de *fitness* y la disminución de la resistencia a enfermedades infecciosas, tanto en especies domésticas como salvajes. Esta disminución se debe tanto a la pérdida de variabilidad global (disminución de la habilidad para adaptarse a nuevos ambientes: parásitos, bacterias, virus ...), como a la homocigosis de alelos específicos para resistencia a una determinada enfermedad (Frankham *et al.*, 2002). Esta pérdida de variabilidad es especialmente grave en el caso de las especies y razas amenazadas ya que el peligro potencial de extinción en estas poblaciones por causas infecciosas es muy alto, existiendo innumerables observaciones de este hecho (Spielman *et al.*, 2004).

En la tabla 2 se presenta el efecto de la depresión consanguínea en las principales producciones de las especies domésticas.

Tabla 2. Ejemplos de depresión endogámica en especies domésticas

Carácter	Depresión endogámica por 10% de incremento en la consanguinidad	
	Unidades	Porcentaje
Bovinos para Carne		
Peso al destete	5,2 kg	-
Bovinos Lecheros		
Producción de leche	24-100 litros	3,2
Ovinos		
Peso del vellón	0,289 kg	5,5
Longitud de la fibra	012 cm	1,3
Peso corporal al año	1,31 kg	3,7
Cerdos		
Número de lechones/camada	0,38 lechones	4,6
Peso a los 154 días	1,64 kg	2,7
Peso a los 5 meses	3,10 kg	-
Aves		
Producción de huevos	9,26 huevos	6,2
Porcentaje de nacimientos	4,36	6,4
Peso corporal	9 g	0,8

Adaptada de Cardellino y Rovira (1987)

Incluso se han aportado evidencias, del efecto de la consanguinidad sobre el cociente sexual de los nacimientos (Soule, 1980; Strier, 2000; Srivastava *et al.*, 2001). Ésta actuaría reduciendo la proporción del sexo homogamético, probablemente por la distorsión que producen los genes ligados al sexo bajo la depresión consanguínea, aunque para algunos autores sólo sería debido al efecto aleatorio de la deriva genética en las pequeñas poblaciones (Frankham y Wilcken, 2006). El efecto que tendría este efecto en la conservación es muy importante, tanto sobre el tamaño efectivo de la población, como en la retoolimentación de la consanguinidad y la pérdida de diversidad genética (Frankham *et al.*, 2002), incrementando por tanto el riesgo de extinción de la población (Brook *et al.*, 2000).

Finalmente, se ha demostrado que el efecto de la endogamia suele ser menor en organismos (experimentales o especies domésticas), en los que previamente se ha practicado selección o cruzamientos endógamos; es decir, un periodo previo de endogamia suave puede llegar a reducir la gravedad de episodios de endogamia posteriores (Bowman y Falconer, 1960; Slatis, 1960). El hecho de que, tanto en el laboratorio como en la naturaleza, existan poblaciones viables de especies normalmente exógamas y que manifiestan unos altos niveles de endogamia, apoya la idea de que la eliminación de genes deletéreos por selección, favorecida por la endogamia, puede tener un efecto “revitalizante” en estas poblaciones. No obstante, esta “purga” del lastre genético se ha demostrado que es contraproducente en el caso de poblaciones de censo muy reducido (Frankham *et al.*, 2001).

Cuando se rompe la consanguinidad con la inclusión en la población de individuos con una constitución genética diferente, se produce el efecto contrario con un aumento de la media, denominado heterosis o “vigor híbrido”. Esta circunstancia avalaría la estrategia de intercambio de individuos entre diferentes poblaciones, aunque con las reservas que se plantean en el siguiente apartado.

2.2.A. Depresión exogámica

Al igual que la elevada consanguinidad determina graves consecuencias sobre las poblaciones de censo muy limitado, existe también una depresión por exogamia (Dobzhansky, 1970; Lacy *et al.*, 1993), es decir una pérdida de adaptación por hibridación o mezcla entre poblaciones muy distantes de la misma especie, o subespecies/especies muy próximas (pe. lobo-coyote), con pérdida del efecto de los “genes coadaptados” (grupos de alelos cuyo efecto conjunto produce mayor eficacia biológica en un determinado ambiente).

Así, aunque la incorporación de individuos foráneos a una población de conservación parece una buena medida, en ocasiones esta estrategia puede derivar en un descenso de la eficacia biológica de la población receptora. Los factores que pueden dar lugar a este fenómeno se clasifican en dos grandes grupos: intrínsecos y extrínsecos (Allendorf y Lusk, 2006).

Los factores intrínsecos, refieren a incompatibilidades genéticas entre los grupos que hibridan. Estas incompatibilidades pueden ocurrir a nivel cromosómico, de alelos dentro de genes o de combinaciones de genes cuando existen epistasias y la mezcla de poblaciones hace que se “rompan” los haplotipos de genes coadaptados. Los factores extrínsecos tienen que ver con la pérdida de eficacia biológica debida a adaptaciones locales. Si en diferentes ambientes existe una presión selectiva para un carácter que haga que la expresión óptima sea diferente en cada sitio, la información genética de individuos de cada población será diferente y su eficacia cuando se traslada a otro ambiente será menor. Un ejemplo claro, en el mundo de los animales domésticos, lo constituye el caso de razas muy productivas en países desarrollados, que al trasladarse a zonas en desarrollo, donde las condiciones climáticas y de mantenimiento son mucho más duras, no son capaces de mejorar el rendimiento de las razas locales.

2.3. La importancia del mantenimiento de la variabilidad genética en el ámbito de la conservación de pequeñas poblaciones: La Erosión Genética y el Vórtice de Extinción.

Como se ha visto, a largo plazo las pequeñas poblaciones están abocadas a un proceso de erosión gradual de la variabilidad genética que puede comprometer su flexibilidad evolutiva y su capacidad de adaptación futura. No obstante, si en un momento dado el tamaño efectivo disminuye por debajo de un valor crítico, se inicia un proceso irreversible que se conoce como *Vórtice de Extinción* (proceso mediante el cual algunas poblaciones se hacen más y más pequeñas, hasta que terminan por desaparecer; Gilpin y

Soulé, 1986). Así, la disminución del censo poblacional, junto con la fragmentación del hábitat y el aislamiento de los parches, acarrea una cadena de hechos que pueden llevar a la población a la extinción (figura 1).

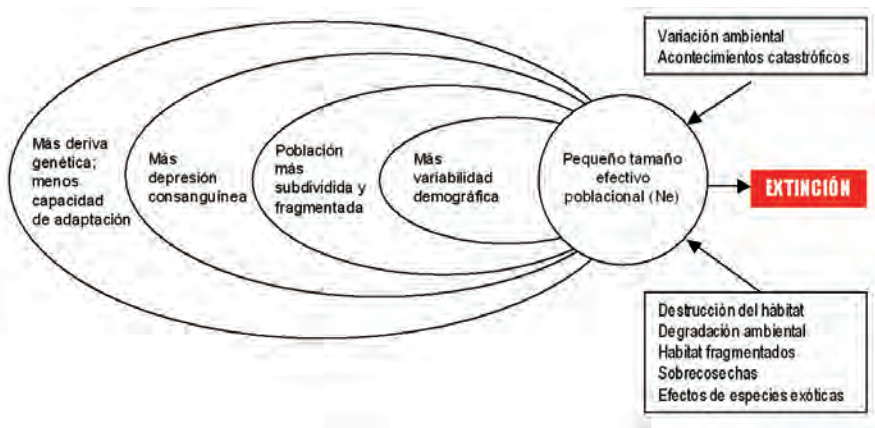


Figura 1. Cascada de hechos que pueden llevar a las poblaciones de censo reducido a la extinción. Adaptado de Primack, 1993.

Por efecto de la deriva genética aumenta la frecuencia de apareamientos entre parientes cercanos (endogamia), lo que incrementa la consanguinidad y como consecuencia se reduce la heterocigosis de la descendencia. Este aumento de la homocigosis produce a su vez una disminución de la adaptación al medio y una acumulación de efectos deletéreos por la expresión de los alelos deletéreos recesivos. La depresión endogámica resultante contribuye aún más a la reducción del tamaño poblacional, al incrementar la mortalidad y disminuir la fertilidad.

Esta situación retroalimenta la disminución del censo, la fragmentación del hábitat y el aislamiento de las subpoblaciones creando el vórtice de extinción que lleva a la población a la desaparición (con o sin contribución de los efectos estocásticos del medio ambiente).

Aquel tamaño poblacional, por debajo del cual es probable que la población se precipite en un vórtice de extinción, es lo que se conoce como tamaño mínimo de una población viable (Shaffer, 1981; para una discusión amplia sobre este concepto - ver Soulé, 1987). En general, los factores que pueden llevar a la población a esta situación son generalmente una combinación de factores de naturaleza ambiental (Thorne y Oakleaf, 1991), demográfica (Goodman, 1987) y genética (Hedrick *et al.*, 1986, Caughley & Gunn, 1996).

En cuanto a las especies domésticas, si se analiza la dinámica de la erosión de los recursos genéticos animales en Europa en las últimas décadas, probablemente revelaría como desencadenantes, un gran cúmulo de factores más o menos interrelacionados: socioculturales, cambios en la demanda de alimentos, transformación en la cadena pro-

ductiva y los cambios tecnológicos que afectan de varias formas al declive de las razas locales. En la mayoría de los casos, estos factores determinan una pérdida de competitividad económica de las razas locales en comparación con otras razas especializadas o con otras actividades económicas de la región. Se inicia una cadena de hechos muy difícil de parar: la disminución en el censo (animales y ganaderos) determina un deterioro del entusiasmo de los ganaderos por promocionar su raza y por realizar programas conjuntos con otros ganaderos (por ejemplo comercialización en una cooperativa de los productos), lo que a su vez dificulta la situación de los cada vez menos frecuentes ganaderos y la entrada de otras razas foráneas más productivas, etc., hasta que la situación de estos se hace insostenible y desaparece su raza. Una vez que se inicia esta cadena es muy difícil invertir la situación, en muchos casos imposible. Por lo que es mucho más fácil y económicamente más rentable una prevención del inicio del declive que una terapia de conservación (Oldenbroek, 1998). A corto plazo, la prioridad más urgente es frenar la erosión genética (pérdida de variabilidad).

3. LA MEDIDA DE LA VARIABILIDAD GENÉTICA

La variabilidad genética clásicamente ha sido medida de forma indirecta a nivel fenotípico, morfológico o productivo, más modernamente a nivel de secuencia del ADN, y recientemente a nivel de expresión génica. En este caso, su estimación se ha realizado a nivel de secuencias codificantes (determinan cambios en las proteínas), secuencias reguladoras (determinan cambios en la expresión de las anteriores) o a nivel de secuencias neutras (p.e. microsatélites).

Antes de que se introdujeran las técnicas moleculares, los estudios genéticos estaban restringidos a aquellos organismos que se podían mantener en condiciones controladas de “laboratorio”. Se elegía un carácter variable, se analizaba su patrón de herencia, y se deducía la base genética de dicho carácter. Obviamente, esta metodología no permite cuantificar la diversidad genética del mundo biológico, ya que, sólo analiza aquellos caracteres que son variables, y sólo se puede aplicar a determinadas especies.

El desarrollo de las técnicas moleculares ha permitido, por un lado, realizar un análisis aleatorio del genoma al menos, en lo que respecta a la variación; y, por otro, que cualquier organismo, desde una bacteria al ser humano, sea accesible al análisis genético.

Gran parte de lo que sabemos en la actualidad acerca de la diversidad genética de los organismos se debe al desarrollo de la técnica de electroforesis de proteínas. Así, a los trabajos de Hubby y Lewontin (1966) en *Drosophila*, siguieron una enorme profusión de trabajos en los que se analizaba la variación para isoenzimas en una gran diversidad de organismos.

En la década de los 70 del siglo XX, el descubrimiento de las endonucleasas de restricción (Linn y Arber, 1968; Meselson y Yuan, 1968), abrió las puertas al estudio de la variabilidad a nivel del DNA. Inicialmente, se utilizaron trozos aleatorios de DNA clonados para generar polimorfismos para la longitud de fragmentos de restricción (RFLPs). Posteriormente, se utilizaron secuencias de DNA específicas. Variando la sonda utilizada, fue posible analizar secuencias únicas y repetidas, regiones no codificantes, y DNA mitocon-

drial o cloroplástico. De esta forma, era posible acceder a la diversidad genética en distintas secuencias de DNA, que pueden evolucionar a un ritmo diferente, y que presentan distintos modos de transmisión.

Posteriormente, el descubrimiento de los minisatélites y la técnica de “DNA fingerprinting” (Jeffreys *et al.*, 1985a) dio un nuevo empuje al análisis molecular. Se abrió la posibilidad de identificar individuos (Jeffreys *et al.*, 1985b), de hacer análisis de paternidad y de estimar el grado de parentesco (Amos *et al.*, 1991). Sin embargo, la complejidad de los patrones de huellas de ADN, impedían su utilización para el análisis de la variabilidad genética a nivel poblacional (Amos y Pemberton, 1992).

Los avances en genética molecular han puesto en manos de los investigadores unos marcadores genéticos de gran eficacia, los microsátélites, polimorfismo del ADN también conocidos como STRs (repeticiones cortas en tándem; Litt y Luty, 1989; Weber y May, 1989), detectados utilizando la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y la electroforesis de los productos resultantes. Las ventajas que poseen frente a otros marcadores genéticos (su abundancia en los genomas de todos los organismos superiores, su alto nivel de polimorfismo y su carácter neutro entre otros; Stalling *et al.*, 1991; Koreth *et al.*, 1996) han hecho que sean los marcadores de elección para la medida de la variabilidad genética en las poblaciones y sus relaciones filogenéticas (Paetkau *et al.*, 1995), así como en la resolución de problemas de identificación individual y control de filiación (Dow y Ashley, 1996), incluso en poblaciones muy consanguíneas (Weber y May, 1989). Además, los microsátélites pueden ser también interesantes en el establecimiento de programas de conservación de recursos genéticos por que permiten, además de conocer si un grupo de individuos pertenecen a una población determinada, establecer relaciones de parentesco entre ejemplares con genealogía desconocida (Blouin *et al.*, 1996).

Esto ha hecho que la FAO, a través de un grupo de expertos de asesoramiento de la *Sociedad Internacional de Genética Animal* (ISAG), haya recomendado un conjunto de marcadores genéticos microsátélites para llevar a cabo la caracterización genética de cada una de las razas de interés.

En el caso de las especies salvajes, la extraordinaria sensibilidad de la PCR, que permite trabajar con pequeñas muestras de ADN fragmentado y degradado, ha abierto las puertas a otros métodos de recolección no invasivos: pelos, plumas, excrementos, etc. (ver Morin y Woodruff, 1996), y la posibilidad de estudio de poblaciones naturales sin tener que capturarlas.

Finalmente, la posibilidad de amplificar ADN antiguo (ver Pääbo, 1993) permite añadir una dimensión temporal a los estudios de diversidad genética en poblaciones (Thomas *et al.* 1990), proporcionando nuevos datos para la reconstrucción de filogenias (Cooper *et al.*, 1992).

No obstante, a pesar de que el análisis de marcadores genéticos neutros permite cuantificar la variabilidad genética de una población, analizar las relaciones entre individuos, identificar los patrones de divergencia entre poblaciones, delimitar las fronteras entre especies, etc, no mide la variabilidad de aquellos loci que tienen importancia adaptativa, y

que, probablemente, presenten un patrón de variación distinto al de las variantes genéticas neutras (Lynch, 1996). Por tanto, uno de los principales retos a los que deberá enfrentarse la Genética de la Conservación, hasta ahora centrada básicamente en el análisis de marcadores moleculares neutros, será el determinar cuál es la conexión entre la variación molecular y la variación adaptativa, y desarrollar métodos que permitan un análisis rápido de esta última, tanto en poblaciones naturales, como domesticadas. En este gran desarrollo de la genómica y proteómica actual van a permitir la utilización de la variación de la expresión génica (DNAc) en los estudios poblacionales.

De la misma forma, los proyectos de mapeado del genoma humano, de otros mamíferos y especies modelo, han permitido identificar genes que podrían ser buenos candidatos para el análisis de la adaptación selectiva (Copeland *et al.*, 1993; O'Brien, 1993; O'Brien *et al.*, 1993). Esta situación, abre la posibilidad de utilizar la información generada en los diferentes proyectos genoma para identificar la materia prima de la evolución, de la extinción y de la supervivencia (O'Brien, 1994).

3.1. Estimación de parámetros relacionados con la medida de la variabilidad genética utilizando análisis genealógico.

La utilización de la información genealógica para el análisis de la variabilidad de poblaciones ha sido muy profusa desde hace tiempo (una revisión se puede encontrar en Vu Tien Khang, 1983 y Boichard *et al.*, 1997).

Tal vez el parámetro relacionado con la variabilidad genética más utilizado sea el *coeficiente de consanguinidad* (Wright, 1931). Este se define como la probabilidad de que los dos alelos de un individuo en un locus determinado sean idénticos por descendencia, es decir, copias idénticas de un mismo alelo ancestral de algún antepasado común de ambos padres (también se puede definir como la probabilidad de que dos gametos tomados al azar en la generación parental sean portadores de alelos idénticos en un locus; ver Figura 2).

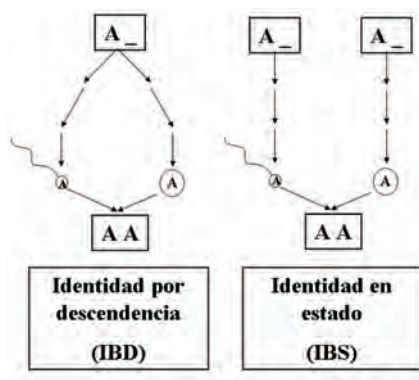


Figura 2. Representación gráfica del concepto de Identidad por descendencia en oposición al concepto de Identidad en estado.

La consanguinidad media de una población mide la reducción de la heterocigosis (una medida de la variabilidad) en dicha población en relación a la que se obtendría si en dicha población se siguiese un apareamiento totalmente aleatorio (población “ideal”). Es, por lo tanto, un parámetro opuesto al de variabilidad genética.

La consanguinidad (endogamia) es un fenómeno biológico que se conoce desde muy antiguo. Ya Aristóteles, en el siglo IV antes de nuestra era, postuló la hipótesis de que los caracteres biológicos se heredaban a través de la sangre. Esta teoría fue aceptada a través de los siglos, aún hoy se ve reflejada su influencia en términos como los de “líneas de sangre”. En este mismo sentido, cuando el sistema de cría va buscando el incremento del parentesco con algún antecesor común (generalmente para fijar unas características resaltables de ese animal u homogeneizar las características de la población) se le llama cría consanguínea o endogámica.



Generalmente se estima a partir de la genealógica de los animales:

$$F_x = \sum (1/2)^{n+n'+1} (1 + F_A)$$

Siendo:

F_x , el coeficiente de consanguinidad

F_A , el coeficiente de consanguinidad del antecesor

n y n' , representan el número de etapas o

generaciones que separan a los parentales del individuo problema X del ancestro común.

Cuando se dispone de la genealogía de la población, el cálculo del coeficiente de consanguinidad se puede hacer para cada individuo por separado siguiendo unas reglas simples (Falconer y Mackay, 1996), incluso en el caso de grandes bases de datos con muchas generaciones (*método tabular*, Tier, 1990), si bien se puede estimar de forma relativa a partir de las frecuencias alélicas o el tamaño efectivo (como se verá posteriormente).

Una modificación de este parámetro fue derivada por Ballou (1997), el *coeficiente de consanguinidad ancestral*, que estima la aportación de cada antecesor en la consanguinidad de un individuo (como hemos visto esta consanguinidad es menos peligrosa que la más reciente):

$$f_a = [f_{a(s)} + (1 - f_{a(s)})f_s + f_{a(d)} + (1 - f_{a(d)})f_d] / 2$$

Donde:

f_a , es el coeficiente de consanguinidad ancestral de un individuo,

f , es el coeficiente de consanguinidad total.

Los subíndices s y d representan estos valores para el padre y la madre respectivamente.

Ballou (1997) definió el f_a como la proporción acumulativa de un genoma individual que ha sido expuesto a la consanguinidad en sus antecesores. Se puede interpretar por lo tanto, como la probabilidad de que un individuo herede un alelo que ha experimentado endogamia en el pasado, al menos por una vez.

Esta fórmula ha sido modificada posteriormente para tener en cuenta la interdependencia entre la consanguinidad total y la ancestral (Suwanlee *et al.*, 2006):

$$f_a = [f_{a(s)} + f_s - (f_{a(s)} | f_s) f_s + f_{a(d)} + f_d - (f_{a(d)} | f_d) f_d] / 2$$

Un parámetro muy relacionado con el coeficiente de consanguinidad es el *coeficiente de parentesco* (f_{xy}). El coeficiente de parentesco (*coascendencia o parentesco de Malecot*) entre dos individuos es la probabilidad de que dos alelos muestreados al azar, cada uno de un individuo, sean copias de un mismo gen ancestral común (idénticos por descendencia). Sería equivalente por lo tanto a la consanguinidad de un hipotético hijo si los individuos se apareasen:

$$f_{xy} = \sum \left(\frac{1}{2} \right)^{n1+n2} (1 + F_A)$$

siendo F_A el coeficiente de consanguinidad del antecesor común

Otra medida relacionada es el coeficiente de *correlación de valores reproductivos* (r_{xy} ; coeficiente de relación genética de Wright o *coeficiente de parentesco aditivo*). Se define como la correlación genética que existiría entre los individuos si toda la varianza fuera aditiva. En el contexto que nos ocupa, se puede considerar como la proporción de los genes que comparten debido a su genealogía común (Malecot, 1948). La relación entre el coeficiente de parentesco y las relaciones aditivas se rige por la siguiente fórmula:

$$r_{xy} = \frac{2f_{xy}}{\sqrt{(1 + F_x)(1 + F_y)}}$$

Por lo tanto, en ausencia de consanguinidad, el coeficiente de relación genética sería el doble del coeficiente de parentesco.

El *coeficiente de parentesco medio* (AR) de un individuo se define como la probabilidad de que un alelo escogido aleatoriamente de la población completa, aparezca en el pedigrí de dicho individuo (Gutiérrez *et al.*, 2003; Goyache *et al.*, 2003). La ventaja de su estimación (en vez de la media del parentesco de cada animal con el resto de la población) consiste en (Gutiérrez y Goyache, 2005): a) el coste computacional es similar al del cálculo de la matriz de parentesco, ya que usa los mismos algoritmos; b) el AR de un fundador indica su contribución genética a la población; c) puede usarse como una medida de la consanguinidad de la población, ya que tiene en cuenta tanto el coeficiente de consanguinidad como el de coascendencia (la coascendencia entre dos individuos es la probabilidad de que dos gametos tomados al azar, uno de cada uno, sean portadores de

alelos idénticos por descendencia); d) complementa al coeficiente de consanguinidad para la predicción a largo plazo de la evolución de la endogamia de una población, ya que tiene en cuenta el porcentaje del pedigrí completo originado a partir de un fundador a nivel poblacional. Adicionalmente, su estimación permite el máximo mantenimiento de la variabilidad en la población si la elección de los reproductores se basa en su valor (menor valor de AR).

Otros parámetros genealógicos muy interesantes para la gestión de pequeñas poblaciones fueron descritos por Lacy (1989) y Boichard *et al.* (1997). Todos ellos se apoyan en el análisis de la “*probabilidad del origen de los genes*”. Este es un concepto que se basa en el principio básico de que un gen autosómico elegido aleatoriamente en un individuo tiene una probabilidad de 1/2 de provenir de cada uno de sus padres, 1/4 de uno de sus abuelos etc. Aplicando estas reglas al pedigrí completo, podremos calcular la probabilidad de que un gen de un individuo provenga de un determinado fundador de la población y a la inversa, conocer la contribución de cada fundador en la población actual (De Rochambeau *et al.*, 2000). Los principales serían:

- *Tasa de retención alélica*: Es la probabilidad de que un gen presente en un individuo fundador esté presente en alguno de los individuos vivos de la población de descendientes. Se considera fundador a todo individuo obtenido a partir de otra población que actúa de fuente (con frecuencia una población silvestre), que no tiene parentesco conocido con los individuos de su generación (ni las anteriores) y que se reproduce en la población, es decir, contribuye a la población de descendientes, con los cuales sí estará emparentado (obviamente).
- *Tasa de supervivencia de los genomas fundadores*: Es la suma de las tasas de retención alélica de los individuos fundadores, es decir, el producto de la retención alélica media por el número de fundadores.
- *Número efectivo de fundadores (f_e)*: Es el el número de fundadores con igual contribución que producirían la misma variabilidad genética en la población en estudio. La utilidad de este parámetro fue cuestionada por Caballero y Toro (2000), pues no tiene en cuenta, en su cálculo, el efecto de la deriva en las generaciones que han pasado desde la población de fundadores hasta la actualidad.
- *El número efectivo de ancestros (f_a)*: Es el número mínimo de ancestros (no necesariamente fundadores) que explican la variabilidad genética completa de la población. Aunque este parámetro complementa la información ofrecida por el número efectivo de fundadores, al recoger la pérdida de variabilidad genética producida por la utilización desequilibrada de reproductores que determinan el cuello de botella, no tiene en cuenta la pérdida de variabilidad por segregación (Caballero y Toro, 2000).
- *Número efectivo de genomas fundadores (N_{ge})*: Es el número de fundadores igualmente representados, suponiendo que no se produjeran pérdidas alélicas (tasa de retención alélica = 1), que producirían la misma diversidad genética que se observa en la población de descendientes vivos. Otra forma equivalente de definirlo es como el nú-

mero de animales de la población que actúa de fuente, que poseen, conjuntamente, la misma diversidad genética que la población de descendientes. Este parámetro está inversamente relacionado con el parentesco promedio de la población según la expresión $N_{ge} = 1 / f$.

- *Número efectivo de rebaños*: Es la inversa del sumatorio de la probabilidad de que dos individuos, escogidos al azar, sean padres (hayan tenido descendencia), abuelos, bisabuelos etc. en la misma ganadería (Robertson, 1953).
- *Número efectivo de rebaños fundadores (f_h)*: Sería la inversa de la suma de la contribución de los fundadores de un rebaño en la población total (Gutierrez *et al.*, 2003).

Caballero y Toro (2002) han extendido la metodología previa para analizar la estructura de poblaciones subdivididas a partir de la información genealógica, basándose en el coeficiente de parentesco entre los individuos de la misma o de subpoblaciones diferentes (se verá en más detalle en un epígrafe posterior).

Pero desde el punto de vista teórico el parámetro más importante que define la evolución de la variabilidad genética prevista en las siguientes generaciones es el del número o tamaño efectivo que, por su importancia, será tratado en el subapartado siguiente.

3.2. Estimación de parámetros relacionados con la medida de la variabilidad genética utilizando marcadores genéticos

En este caso los parámetros utilizados para la medida de la variabilidad intra e inter-poblacional se basan en el análisis de las frecuencias alélicas de los loci muestreados (p.e. microsatélites). A partir de éstos, se han definido parámetros importantes en el ámbito de la conservación genética como son:

- *heterocigosidad observada*: proporción de los individuos de una población (o la proporción de los loci de un individuo) que son heterocigotos (se encuentran en heterocigosis), es decir, que poseen dos alelos diferentes en ese *locus*.
- *heterocigosidad esperada* (o diversidad génica): originalmente se definió como la probabilidad de muestrear al azar dos alelos diferentes en una población. Esto corresponde con la proporción de heterocigotos que esperaríamos en una población con las mismas frecuencias alélicas y en equilibrio de Hardy-Weinberg (en panmixia, sin selección, etc).

A partir de éstos se han definido un gran número de parámetros, algunos de los cuales presentan gran importancia dentro de la genética de la conservación. Destacan aquellos que permiten el análisis de la estructura de poblaciones subdivididas (variabilidad inter/intrapoblacional) y la estimación de la distancia genética entre poblaciones.

Entre los primeros tienen mayor relevancia los denominados *Estadísticos F de Wright* (Wright, 1978):

$$(1 - F_{IT}) = (1 - F_{IS})(1 - F_{ST})$$

Donde:

F_{IT} = Deficiencia de heterocigotos (consanguinidad) en la población global.

F_{IS} = Deficiencia de heterocigotos dentro de la subpoblación (consanguinidad individual por apareamientos no aleatorios dentro de las subpoblaciones).

F_{ST} = (Índice de Fijación): deficiencia de heterocigosidad de la subpoblación en relación con la población total.

Dentro de éstos, el F_{ST} se ha revelado un método apropiado para estimar el nivel de diferenciación o el flujo génico entre poblaciones bajo la hipótesis de alelos neutros (Hartl y Clark, 1990), aunque en determinadas circunstancias introduce un elevado nivel de sesgo (Neigel, 2002).

Otros parámetros muy relacionados con los índices de fijación anteriores serían (Nei, 1973) el coeficiente de diversidad genética (D_{ST}) y el coeficiente de diferenciación entre poblaciones (G_{ST}). El coeficiente D_{ST} mide el grado de diversidad genética intrapoblacional, mientras que el coeficiente G_{ST} mide la magnitud relativa de la diferenciación genética entre subpoblaciones, siendo por lo tanto una extensión de F_{ST} en el caso de la existencia de múltiples alelos (Neigel, 2002).

En cuanto a las distancias genéticas, se han propuesto diversos estimadores basados en la comparación de las frecuencias alélicas (en Chakraborty and Rao, 1991 se puede consultar una buena revisión). Pero si nos centramos en el estudio de la diversidad genética a través de los microsatélites observaremos que las medidas de distancia genética clásicas como la distancia de Nei (Nei, 1972) no son generalmente adecuadas, dada el elevado ratio de mutación de estos marcadores, por lo que se han desarrollado medidas basadas en un modelo de mutación-deriva como $(\delta\mu)^2$, (Goldstein *et al.* 1995a), ADS (Diferencia cuadrática media, Goldstein *et al.* 1995b), D_{sw} (Shriver *et al.* 1995) o distancias no lineales en relación al tiempo de divergencia D_c (Cavalli Sforza and Edwards, 1967) y DA (Nei, 1987).

Aunque el modelo mutación-deriva es más apropiado para estudios de diferenciación a largo plazo, en el caso de los procesos que tienen lugar a corto plazo (desde la perspectiva evolutiva), así como en los estudios de divergencia entre subpoblaciones, el modelo de deriva pura es más adecuado. Bajo este modelo se desarrolló la distancia de Reynolds (1983) basada en la normalización de la distancia de Nei por una estimación de la heterocigosidad en la población de fundadores.

Se considera que, si bien este tipo de distancias son menos precisas que las anteriores en los estudios filogenéticos, su utilidad en los estudios de conservación de razas es mayor. Para que este modelo presente una buena aproximación a la realidad, el efecto de la selección (natural y/o artificial) no debe ser muy elevado, ya que estas distancias miden sólo la variación genética neutral, que estará correlacionada con la variación genética co-

dificante sólo en el supuesto de una baja influencia de la selección (Eding y Laval, 1999). Así, la falta de diferenciación entre poblaciones para marcadores moleculares no implica la ausencia de diferencias adaptativas (Lewontin, 1984).

No obstante, en los últimos años se está poniendo en entredicho la utilidad de las distancias genéticas clásicas para el estudio de la diversidad genética (Pannell y Charlesworth, 2000) y la toma de decisiones en poblaciones estructuradas, dado que no tienen en cuenta toda la diversidad existente en la metapoblación (no tiene en cuenta la variabilidad dentro de subpoblaciones). En este sentido Caballero y Toro (2002) proponen el análisis de la estructura de poblaciones subdivididas y su diversidad mediante la estimación del coeficiente de parentesco medio entre y dentro de las subpoblaciones. La correspondencia entre los parámetros de diversidad genética, los coeficientes de parentesco y los estadísticos F de Wright's (1969) vendría dada por:

$$F_{IS} = \frac{\tilde{F} - \tilde{f}}{1 - \tilde{f}}; \quad F_{ST} = \frac{\tilde{f} - \bar{f}}{1 - \bar{f}} = \frac{\bar{D}}{1 - \bar{f}}; \quad F_{IT} = \frac{\tilde{F} - \bar{f}}{1 - \bar{f}}$$

\tilde{F} : consanguinidad promedio de las subpoblaciones;
 \tilde{f} : parentesco promedio dentro de subpoblaciones;
 \bar{f} : parentesco promedio total de la metapoblación;
 \bar{D} : distancia de Nei

Y recordando que el parentesco promedio es $1 - DG$ (diversidad génica):

$$GD_T = GD_{WS} + GD_{BS}; \quad GD_{WS} = GD_{BI} + GD_{WI}; \quad G = GD_{BI}/GD_{WS}$$

$$\frac{GD_{WI}}{GD_T} = (1 - G)(1 - F_{ST}); \quad \frac{GD_{BI}}{GD_T} = G(1 - F_{ST}); \quad \frac{GD_{WS}}{G_{DT}} = (1 - F_{ST}); \quad \frac{GD_{BS}}{G_{DT}} = F_{ST}$$

GD_T : Diversidad genética global, GD_{BS} : Entre subpoblaciones, GD_{WS} : Dentro de subpoblaciones, GD_{BI} : Entre individuos, GD_{WI} : Dentro de individuo. G : Proporción de la diversidad genética dentro de subpoblación y la diversidad entre subpoblaciones

Al igual que habían demostrado para poblaciones únicas, Caballero y Toro (2002) señalan que la minimización del parentesco es equivalente a la maximización del tamaño efectivo.

Estimadores de la consanguinidad y parentesco. Aplicaciones en el campo de la conservación.

Como hemos visto anteriormente, los coeficientes de consanguinidad y de parentesco pueden obtenerse fácilmente si se cuenta con registros genealógicos fiables. Incluso aunque los datos genealógicos no sean exhaustivos o contengan cierto nivel de errores, podrían ser utilizados para estimar el coeficiente de parentesco como reflejo de la homocigosidad esperada en la descendencia (Toro y Maki-Tanila, 1999).

Así, el coeficiente de consanguinidad puede ser estimado, en el caso de no existir registros genealógicos adecuados, de forma indirecta a partir de las heterocigosidades ob-

servadas y esperadas siguiendo la metodología propuesta por Nei y Kumar (2000). Para ello es necesario la utilización de marcadores moleculares codominantes, como son los microsatélites. En este sentido, se considera que los marcadores con alelos a frecuencias intermedias son más informativos. No obstante, el error de estimación puede ser elevado, salvo que se utilice un número muy elevado de marcadores (incluso superior a 30).

De la misma manera, en poblaciones donde no existe información genealógica, se han desarrollado métodos para estimar el grado de relación genética (generalmente el coeficiente de parentesco) entre los individuos de una determinada población mediante la utilización de marcadores neutros como los microsatélites. Entre estos está cobrando cada vez más protagonismo el llamado “parentesco molecular” (Lynch y Ritland, 1999).

El problema general es determinar qué parte del parecido a nivel molecular (identidad en estado) se debe a identidad por descendencia (el parámetro de interés).

Existen dos grandes grupos de estimadores que se basan en la información molecular. En el primero se estiman las relaciones por separado para cada pareja de individuos realizando un análisis de los alelos compartidos entre dos individuos de una población (métodos *pairwise*), usualmente utilizando las frecuencias génicas de la población de referencia para eliminar la homocigosidad esperada por azar (no por descendencia). Dentro de estos se pueden encontrar los denominados *Métodos de Momentos* (MME), que estiman el grado de parentesco como variable cuantitativa (Queller y Goodnight, 1989; Li *et al.*, 1993; Ritland, 1996; Lynch y Ritland, 1999; Goodnight y Queller, 1999; Wang, 2002) y los basados en Máxima Verosimilitud (MLE) que determinan la probabilidad de que exista un determinado grado de parentesco entre dos individuos (p.e. padre-hijo, hermanos etc.; Milligan, 2003).

El otro grupo de estimadores utiliza la información de todos los individuos conjuntamente para determinar la estructura familiar más probable (Thomas y Hill, 2000, 2002; Emery *et al.* 2001; Smith *et al.* 2001; Butler *et al.*, 2004; Wang, 2004; Fernández y Toro 2006). Por su naturaleza estos métodos realizan una reconstrucción explícita de la genealogía que ha dado lugar a la población actual (al menos en una generación).

Dependiendo del tipo de estimador y de las asunciones que se hacen en su elaboración (equilibrio dentro y entre loci marcadores, conocimiento de la estructura poblacional, conocimiento de las frecuencias alélicas reales, ...), cada uno de ellos tiene ventajas y limitaciones que hay que tener en cuenta cuando se decide el estimador a usar. En Milligan (2003), Butler *et al.* (2004) y Fernandez y Toro (2006) se pueden encontrar comparaciones de los diferentes estimadores desarrollados.

Además de esta evidente utilidad de los estimadores del parentesco molecular en el caso de las especies salvajes, en determinadas ocasiones también pueden jugar un importante papel en domésticas cuando no exista ningún tipo de control genealógico. Dos ejemplos de esto último se pueden encontrar en Valera *et al.* (2003) y Molina *et al.* (2002) correspondientes a las raza Pajuna (de reciente creación del libro genealógico), y del caballo Losino de Losa (población que vive totalmente asilvestrada en las Serranías de Burgos).

4. TAMAÑO EFECTIVO DE POBLACIÓN

4.1. Concepto e importancia en el ámbito de la conservación.

El término genético *tamaño efectivo de la población* (N_e) (Wright, 1931) se utiliza para definir un importante parámetro en conservación que resume características de la población relacionadas con el mantenimiento de la variabilidad genética. Es un término que se emplea para expresar el *número de individuos que darían lugar a una determinada tasa de consanguinidad (o varianza de las frecuencias alélicas) si se reprodujesen en las condiciones de la población ideal (ver condiciones más adelante)*. Este concepto se considera esencial a la hora de definir el número de animales necesarios para la conservación de una población, manteniendo una tasa de consanguinidad máxima determinada. Por lo tanto, se puede considerar equivalente al número de reproductores que serían capaces de determinar el incremento de consanguinidad existente en la población si contribuyesen de forma equilibrada a la siguiente generación. De hecho, es hoy día uno de los parámetros principales para definir el grado de peligro de una población tanto para la EAAP como para la FAO. No obstante, si bien el tamaño efectivo es un importante parámetro al determinar los niveles de deriva genética y consanguinidad en la población, antes y después de la conservación, para algunos autores como Bodó (1991), su verdadero valor está sobrestimado por no tener en cuenta la relación de parentesco entre los reproductores, y la situación inicial de homocigosis en la población de fundadores, y algunos aspectos prácticos, como el cociente reproductivo (Bodó, 1991). Además, no siempre es fácil de estimar correctamente en la práctica, ya que con frecuencia se desconoce el número real de reproductores (a veces ni siquiera en los animales domésticos debido a la inexistencia de censos o la existencia de reproductores jóvenes no registrados) ni el cociente reproductivo (Bodó, 1991).

De forma alternativa según Caughley (1994), se *podría diferenciar un concepto genético* (tamaño que tendría una población ideal, panmíctica, que tuviese una tasa de consanguinidad o varianza de las frecuencias alélicas equivalente a la de la población cuyo número real de individuos conocemos) y un *concepto demográfico* (tamaño que tendría una población ideal que mostrase una proporción de sexos constante y una distribución por edades estable, y que sufriese el mismo incremento neto de individuos al año que la población cuyo número real de individuos conocemos).

Posteriormente a la definición de Wright (1931), han sido descritos en la literatura científica muchos conceptos distintos del tamaño efectivo de la población, siendo los más relevantes el *tamaño efectivo de consanguinidad*, y el *tamaño efectivo de varianza* (también existen los de *mutación*, de la *extinción de alelos al azar*, etc). Esta distinción fue hecha por primera vez por Crow (1954) y modificada por Crow y Kimura (1970), Ewens (1979, 1982), Crow and Denninston, (1988) y Caballero and Hill (1992^a y 1992^b). Todos los tamaños efectivos reflejan el mismo proceso básico, pero refiriéndolo a fenómenos genéticos diferentes. Así, el *tamaño efectivo de consanguinidad* (N_e) cuantifica el incremento de la consanguinidad, mientras que el *número efectivo de varianza* (N_e), especifica la variabilidad en las frecuencias de los alelos, lo que se encuentra relacionado con el grado de fijación y la probabilidad de pérdida de alelos por deriva. No obstante, en muchas situaciones estos conceptos son idénticos.

Se considera población ideal aquella en que se da:

- El cociente sexual es 1:1 (igual número de machos y hembras) o no existen sexos separados.
- Todos los individuos tienen la misma probabilidad de contribuir a la progenie (es decir, no hay selección ni natural ni artificial).
- Las generaciones son discretas y no se superponen.
- En todas las generaciones el apareamiento dentro de cada línea es aleatorio, no existe migración y hay ausencia de mutación.

En una población ideal, la consanguinidad promedio de los individuos en una generación determinada "t", se expresa en función de la consanguinidad de la generación anterior "t - 1", mediante la fórmula clásica dada por Wright (1931):

$$Ne = N; \quad F_t = \frac{1}{2N} + \left(1 - \frac{1}{2N}\right) * F_{t-1}$$

Donde:

N es el número total de reproductores de la población

La relación entre el Ne y la disminución de la variabilidad (medida en este caso por la heterocigosidad) sigue para los loci neutrales la clásica ecuación (Falconer y Mackay, 1996):

$$H_t / H_o = \left(1 - \frac{1}{2Ne}\right)^t = 1 - F$$

Donde:

Ho es la heterocigosidad inicial, Ht la de la generación "t" (por lo tanto su cociente sería la proporción de heterocigosidad retenida después de esas generaciones)
F es el coeficiente de consanguinidad.

En la figura 3 se puede observar como la *pérdida de heterocigosis por generación* comienza a crecer aceleradamente después de que Ne cae por debajo de 100, ilustrando la importancia del mantenimiento del rango de reproductores de la población dentro de unos límites donde la homocigosis no comience a provocar efectos indeseables.

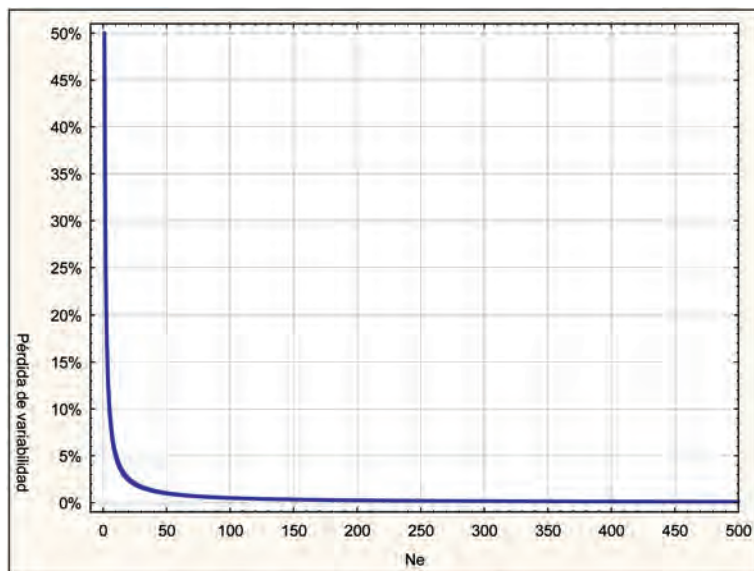


Figura 3. Evolución de la variabilidad (pérdida de heterocigosis en una generación) para una población ideal en función de diferentes tamaños efectivos

A partir de la fórmula anterior que relaciona el incremento de endogamia y el tamaño poblacional efectivo ($DF = 1/2 N_e$), se puede comprobar que serían necesarios 50 individuos (N_e) o más para que la pérdida de heterocigosis (o el incremento en la frecuencia de homocigóticos) no supere el 1% por generación (y que, por tanto, la población pueda tolerar los efectos de la endogamia a corto plazo). No obstante, incluso con una tasa del 1% por generación, la pérdida de variación genética será apreciable después de un cierto número de generaciones, lo que determinaría un cierto coste en supervivencia y reproducción (Franklin, 1980). Por eso, se trata de un criterio válido a corto plazo. Otros autores dan recomendaciones no basadas en el grado de consanguinidad anterior (N_{el}). Así Soulé *et al.* (1986) recomiendan mantener al menos un 90% de niveles corrientes de variabilidad para 200 años (por lo tanto se refiere a N_{eV}).

Pero como hemos expresado anteriormente, según diversos datos experimentales, una fracción importante de la varianza mutacional en caracteres cuantitativos está asociada a efectos deletéreos (Mackay *et al.* 1992; López y López-Fanjul, 1993^{a,b}; Chavarrías *et al.*, 2001). Con censos reducidos el efecto de la selección para eliminar tales mutaciones se reduce de manera que aquellas con efecto menor de $1/2N_e$ se comportan como si fueran neutras. Hay que tener en cuenta el peligro de degradación mutacional cuando se calculen los censos (reales y efectivos) que debe mantener nuestra

Siguiendo los criterios de algunos investigadores, se considera que para mantener el potencial adaptativo de una especie es necesario un tamaño efectivo mínimo de entre 500 y 5000 si se quieren mantener alelos raros, que pudieran tener gran importancia en lo que respecta a la resistencia a enfermedades, o a cambios climáticos bruscos.

población. Lande (1995) fijó el tamaño mínimo en $N_e = 500$, sugiriendo que para mantener un potencial adaptativo normal en caracteres cuantitativos (bajo un equilibrio mutación-deriva), serían necesarios alrededor de 5000 individuos. Incluso para mantener alelos raros, que pudieran tener gran importancia en lo que respecta a la resistencia a enfermedades, o a cambios climáticos bruscos, podrían ser necesarias poblaciones todavía más grandes (Roush y McKenzie, 1987). Datos más recientes (ver García-Dorado *et al.*, 2004 para una revisión) sugieren que las tasas de mutación deletérea no son tan grandes como se creía, con efectos promedio mayores, de manera que el lastre mutacional inducido puede que no sea tan crítico como se había estimado.

Además Lande (1995) asegura que una población que no alcance los citados tamaños no se puede considerar que este desahuciada. En primer lugar, porque si la población está bien adaptada a su ambiente, y ese ambiente no cambia excesivamente, puede que no sea muy necesaria la evolución adaptativa. En segundo lugar, porque si la población recupera un tamaño poblacional grande, la mutación podrá restaurar su varianza genética y capacidad adaptativa; aunque, teniendo en cuenta el número de generaciones necesarias para que esto ocurra, probablemente, este planteamiento no tengan mucho sentido en especies con un tiempo generacional largo.

Sin embargo, en la práctica, el incumplimiento de los supuestos ideales tiene como consecuencia directa un tamaño efectivo inferior (de forma general entre 2-4 veces en mamíferos y aves, «aunque Crawford, 1984 ha encontrado diferencias hasta de 100 veces», y muchísimo menor en el caso de los peces y reptiles), con las consecuentes repercusiones en la viabilidad de la población.

4.2. Factores que afectan al censo efectivo: Número diferente de machos y hembras, fluctuaciones en el tamaño de población y solapamiento de generaciones, contribución desigual entre reproductores.

En la práctica los supuestos ideales no se cumplen, determinando modificaciones en la anterior fórmula de estimación del censo efectivo:

- Censo diferente de machos y hembras. En la práctica, tanto en las poblaciones naturales como en las domésticas, los sexos están representados de forma desigual en el conjunto de reproductores. En este caso el tamaño efectivo de la población sería igual a la media armónica del número de machos y hembras reproductoras:

$$N_e = \frac{4N_m N_f}{N_m + N_f} \quad \text{siendo} \quad \Delta F = \frac{1}{8N_m} + \frac{1}{8N_f}$$

siendo N_m y N_f el número de reproductores machos y hembras respectivamente.

De esta expresión se puede deducir fácilmente que el incremento de la consanguinidad va a depender principalmente del número de individuos del sexo menos numeroso. El caso más extremo sería la población que se mantuviera con un número elevado de hembras pero con un sólo macho. En este caso el número efectivo sería aproximadamente 4, con un incremento por generación de la consanguinidad de 1/8.

Tabla 3. Valor de Ne en función del número de machos y hembras reproductores de la población

Nº machos	Nº de hembras								
	4	10	20	30	40	50	60	80	100
1	3	4	4	4	4	4	4	4	4
2	3	7	7	8	8	8	8	8	8
4	8	11	13	14	15	15	15	15	15
10	11	20	27	30	32	33	34	36	36
20	13	27	40	48	53	57	60	64	67
50	15	33	57	75	89	100	109	123	133

Se puede observar como 4 hembras y 4 machos dan el mismo Ne que 2 machos y 100 hembras (tabla 3), por lo que uno de los criterios habituales para determinar que una población se considera en peligro (cuando el número de hembras cae por debajo de un nivel determinado) puede no ser tan concluyente, sobre todo en poblaciones con variaciones en la fertilidad, tamaño de la familia, longevidad, etc.

- **Número diferentes en generaciones sucesivas.** Cuando el tamaño de la población evoluciona (aumenta o disminuye) o lo hace la proporción entre ambos sexos, la estimación del Ne sería la media armónica de los números en “t” generaciones:

$$\frac{1}{N_e} = \frac{1}{t} \left[\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} + \dots + \frac{1}{N_t} \right]$$

aproximándose el incremento de la tasa media de endogamia entre generaciones sucesivas al valor medio de $1/2N$ (Crow, 1954).

La media armónica de un conjunto de números positivos es, en general, menor o como máximo igual a la media aritmética, por lo que se deduce que si la población es pequeña durante una parte de su historia, el efecto de la deriva será mayor que el basado en la utilización de la media aritmética de los censos en tiempos diferentes (Cavalli-Sforza y Bodmer, 1971). Es decir, las generaciones de menor tamaño serán las que determinen una mayor influencia sobre este tamaño efectivo.

- **Distribución no aleatoria del tamaño de familia.** En la población ideal cada individuo posee la misma probabilidad de contribuir con sus genes a la progenie de la siguiente generación. Esta es la desviación más importante del sistema reproductivo de la población ideal, ya que en las explotaciones reales (y en las poblaciones naturales) los progenitores rara vez tienen la misma oportunidad de contribuir a la progenie porque difieren en fertilidad y en la supervivencia de su descendencia. Normalmente, la consecuencia inmediata es la obtención de un número efectivo menor que el teórico (aunque en condiciones especiales puede hacerlo más grande).

La variación aleatoria del tamaño de familia, como en la población ideal, da lugar a una distribución binomial, la cual a menos que N sea muy pequeño, difiere muy poco de la distribución de Poisson. La forma en la cual la varianza del tamaño de familia influye en el número efectivo puede deducirse considerando la probabilidad de que un cigoto sea un homocigoto idéntico, obteniendo:

- Si se supone una población constante, con igual número de reproductores de cada sexo en poblaciones monogámicas.

$$N_e \approx \frac{4N}{\sigma_k^2 + 2}$$

Siendo σ_k^2 la varianza del tamaño familiar.

Y en el caso de que un macho cubriese a más de una hembra:

$$N_e = \frac{8N}{\sigma_{km}^2 + \sigma_{kf}^2 + 4}$$

Siendo σ_{km}^2 y σ_{kf}^2 la varianza del número de crías aportadas por los machos y hembras respectivamente (crías que pasarán a ser reproductores).

Generaciones solapadas. En las poblaciones animales las generaciones no son discretas, sino solapadas, es decir los individuos presentes en cualquier momento son de diferentes edades y etapas de sus ciclos de vida. Esto determina una variación en la longevidad y en sus oportunidades de reproducción. En este caso la población se estructura en cohortes (grupos de animales nacidos en un intervalo de tiempo definido):

Donde:

N_c es el tamaño de la cohorte, que puede estimarse a su vez como N_t / E ; N_t = Censo total de animales vivos en un momento dado y E = Esperanza de vida o edad media a la muerte.

L : Intervalo generacional (se supone que es igual para ambos sexos).

σ_k^2 : Varianza del tamaño de la familia.

$$N_e = \frac{4N_c L}{\sigma_k^2 + 2}$$

Se supone un número de reproductores machos y hembras iguales y tamaño poblacional constante

En este caso, para estimar el efecto de las generaciones solapadas es necesario conocer la tasa de reproducción específica de cada edad, siendo el método más aceptado para el cálculo del tamaño efectivo el desarrollado por Nei y Imaizumi (1966):

$$N_e = tN_m$$

siendo "t" la edad reproductiva media (en años) y N_m el número de individuos que alcanzan la edad reproductiva media por año.

Cavalli-Sforza y Bodmer (1971) presentan una modificación del anterior método. Así, en lugar de considerar a N_m como el número de individuos que alcanzan la edad reproductora media, lo calculan como el número de individuos en el grupo de edad reproduc-

tora, haciendo un promedio a lo largo de la vida reproductiva y ponderando la media mediante la fertilidad específica de la edad. Si en un momento dado, el número de individuos de edad x es N_x y el número de descendientes por año producidos por un padre de edad x es B_x , entonces la edad reproductora media será $t = \sum x B_x / \sum B_x$, donde la suma se extiende a todos los años de vida productiva útil. El número ponderado de individuos en el grupo reproductor, N_m es: $N_m = \sum W_x N_x / \sum W_x$, donde W_x , es la fertilidad específica de la edad, $W_x = B_x / N_x$. Por lo que se deduce que:

$$N_e = t N_m = \frac{\sum (x B_x)}{\sum \frac{B_x}{N_x}}$$

Esta fórmula puede utilizarse para los progenitores machos o hembras de forma independiente, obteniéndose los tamaños efectivos de la población para cada sexo por separado.

En la práctica la situación se complica, ya que suelen darse todas las desviaciones vistas de la población ideal, dando lugar a formulaciones muy complejas (pe. ver Kimura y Crow 1963, Nei y Murata, 1966, Harris y Allendorf, 1989; Falconer y Mackay, 1996), por lo que se suele estimar siguiendo algunas aproximaciones.

Así, Felsenstein (1971), estima tanto el número efectivo de consanguinidad (N_{ei}) como el número efectivo de varianza (N_{ev}) en poblaciones con generaciones solapadas y distintos modelos de reproducción, considerando los rangos de nacimiento y de muerte como edades específicas basadas en los grados de cambio de probabilidades de identidad por descendencia. Ambos resultados son los mismos cuando los tamaños son constantes y las generaciones parentales son creadas por uniones al azar. El *censo efectivo de consanguinidad* y la *el censo efectivo de varianza* son, por definición, igual al número de nuevos nacimientos por unidad de tiempo en años (N_e) y por generación (T) dividido entre $1 + k$, donde k es aproximadamente la probabilidad de que un individuo muera mientras tenga todavía valor reproductivo:

ALGUNAS CAUSAS DE LOS DECLIVES DE LAS POBLACIONES PEQUEÑAS

Proporción de sexos desigual

En poblaciones muy pequeñas, existe la posibilidad de que disminuya la tasa de natalidad por una proporción de sexos desigual.

Pérdida de la estructura social

En muchas especies animales, las poblaciones muy pequeñas son inviables porque por debajo de un número mínimo de individuos se destruye la estructura social de la población (depredadores sociales, manadas de herbívoros, bandos de aves, etc.).

Efecto "Allelo denso-dependencia inversa"

Poblaciones muy dispersas pueden ser incapaces de encontrar pareja si la densidad de población cae por debajo de cierto punto.

$$N_{ef} = N_{ef} = \frac{N_1 T}{1 + k}$$

En el caso de contar con cierto nivel de pedigrí conocido, se puede estimar el número efectivo de la población computando el coeficiente de regresión del coeficiente de consanguinidad individual sobre :1) el número de generaciones totales trazadas para estimar este coeficiente, 2) el número máximo de generaciones trazadas ó 3) el número equivalente de generaciones. Este coeficiente de regresión sería equivalente al incremento de consanguinidad entre dos generaciones (Goyache *et al.*, 2003). En caso de contar con una profundidad del pedigrí escasa, estos tres estimadores informarían sobre el límite inferior (1), superior (2) y real (3) del N_e en esa población (Gutiérrez y Goyache, 2005).

Una complicación adicional es el caso de las poblaciones estructuradas en subpoblaciones (la mayoría de las especies salvajes en peligro y como hemos visto anteriormente algunas razas autóctonas).

En este caso está demostrado, que bajo un modelo de metapoblación (modelo isla), el N_e global es inferior a la suma de los N_e de las subpoblaciones (Nunney, 1999). En estas metapoblaciones el tamaño efectivo dentro de cada subpoblación está interrelacionado con los coeficientes de consanguinidad F_{IS} y F_{ST} . A su vez, la existencia o no de cierta regulación en la productividad dentro de las "islas" y el flujo entre poblaciones complica la situación. En ausencia de regulación, cualquier causa que determine un incremento de F_{IS} o de F_{ST} conlleva una disminución paralela en el número efectivo global de la población:

$$N_e = Nt / [(1 - F_{IS})(1 + F_{ST}) - 2F_{IS}F_{ST}]$$

En este caso, una degradación de las condiciones ambientales de parte de la población se verá reflejada (a través de la disminución de la productividad de las subpoblaciones a las que afecta) en una disminución de N_e .

En cambio, cuando existe una regulación del tamaño de cada subpoblación (p.e. en razas domésticas):

$$N_e = Nt / [(1 + F_{IS})(1 - F_{ST})]$$

Por lo que el efecto del F_{ST} sobre el N_e sería el inverso (Nunney, 1999).

A estas dificultades en la estimación se suman otras que hacen que, para autores como Bodó (1991), las estimaciones que se realizan en la práctica suelen estar sobrestimadas (aunque existe una amplia teoría sobre la forma de corregir estas desviaciones para la gran mayoría de supuestos) debido a alguno de los siguientes motivos:

- a) El número de machos y hembras de la población no tiene en cuenta las relaciones entre ellos.

- b) El número real de machos a veces no es conocido debido a la existencia de reproductores jóvenes no registrados.
- c) No se toma en consideración la situación inicial de homocigosis en una población dada, lo que hace que sea imposible estimar el grado de consanguinidad.
- d) La existencia de genes recesivos.
- e) No tiene en cuenta el tipo de sistemas de apareamientos utilizado.
- f) Generalmente no considera algunos aspectos prácticos, como cociente reproductivo o el intervalo generacional, características propias de cada especie.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allendorf FW, Luikart G (2006): Conservation and the Genetics of Populations Blackwell Publishing. 592 pp.
- Amos W, Barrett JA, Dover GA (1991): Breeding behaviour of pilot whales revealed by DNA fingerprinting. *Heredity*, 67: 49-55.
- Amos W, Pemberton JM (1992): DNA fingerprinting in non-human populations. *C.O.G.D.*, 2: 857-860.
- Ayala F, Kiger J (1984): *Genética moderna*. Ed. Omega, S.A. Barcelona. 702-704.
- Ballou JD (1997). Ancestral inbreeding only minimally affects inbreeding depression in mammalian populations. *J Hered* 88:169-178.
- Barrantes G (2001): Capitalización y sostenibilidad de los activos naturales y sus servicios ambientales, 156 pp. Heredia, Costa Rica.
- Blouin M.S, Parsons M, Lacalle V, Lotz S (1996): Use of microsatellite loci to classify individuals by relatedness. *Molecular Ecology* 5, 393-401.
- Bodó I (1991): The maintenance of Hungarian breeds of farm animals threatened by extinction. In: L. Alderson Genetic Conservation of Domestic Livestock. Ed. CAB International Wallingford.
- Boichard D, Maignel L, Verrier E (1997): The value of using probabilities of gene origin to measure genetic variability in a population. *Genet Sel Evol* 29: 5-23.
- Bowman JC, Falconer DS (1960): Inbreeding depression and heterosis of litter size in mice. *Genet. Res.*, 1: 262-274.

- Brook BW, Burgman MA, Frankham R (2000): Differences and congruencies between PVA packages: the importance of sex ratio for predictions of extinction risk. *Conserv. Ecol.*, 4(1), 6.[online] URL: <http://www.consecol.org/vol4/iss1/art6>.
- Butler K, Field C, Herbinger CM, Smith BR (2004): Accuracy, efficiency and robustness of four algorithms allowing full sibship reconstruction from DNA marker data. *Mol. Ecol.* 13: 1589–1600.
- Caballero A, Hill W (1992^a): Effective size of nonrandom mating populations. *Genetics* 130: 909-916.
- Caballero A, Hill W (1992^b): A note on the inbreeding effective size. *Evolution* 46: 1969-1972.
- Caballero A, Toro MA (2000): Interrelations between effective population size and other pedigree tools for the management of conserved populations. *Genet Res Camb* 75: 331- 343.
- Caballero A, Toro MA (2002): Analysis of genetic diversity for the management of conserved subdivided populations. *Conserv Gen* 3: 289-299.
- Cardellino R, Rovira J (1987): *Mejoramiento Genético Animal*. Ed. Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L. Montevideo Uruguay 253 pp.
- Caughley G (1994): Directions in conservation biology. *J. Anim. Ecol.* 63: 215-244.
- Caughley G, Gunn A (1996): Risks faced by small populations. En “Conservation Biology in theory and practice”. Blackwell Science, Massachusetts , capítulo 6, pp 165-189.
- Cavalli-Sforza L, Bodmer W (1971): *The genetics of Human Populations*. Ed. W.H. Freeman, San Francisco, Ed. CA, 965 pp.
- Cavalli-Sforza L, Edwards A (1967): Phylogenetic analysis: Models and estimation procedures. *Evolution* 21: 550-570.
- Chakraborty R, Rao C (1991): Measurement of genetic variation for evolutionary studies. In: *Handbook of statistics*. Vol. 8. Elsevier Sc. Amsterdam. pp 271-316.
- Charlesworth D, Charlesworth B (1987): Inbreeding depression and its evolutionary consequences. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 18: 237-268.
- Chavarrías D, López-Fanjul C, García-Dorado A (2001): The rate of mutation and the homozygous and heterozygous mutational effects for competitive viability: a long-term experiment with *Drosophila melanogaster*. *Genetics* 158: 681–693.
- Cooper A, Mourer-Chauvire C, Chambers GK, von Haeseler A, Wilson AC, Pääbo S (1992): Independent origins of New Zealand moas and kiwis. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 89: 8741-8744.

- Copeland NG, Jenkins NA, Gilbert DJ, Eppig JT, Maltais LJ, Miller JC, Dietrich WF, Weaver A, Lincoln SE, Steen RG, Stein LD, Nadeau JH, Lander ES (1993): A genetic linkage map of the mouse: Current applications and future prospects. *Science*, 262: 57-66.
- Crawford TJ (1984): What is a population?. En "Evolutionary Ecology", ed. B. Shorrocks. Blackwell Scientific, Oxford , pp 135-174
- Crow J (1954): Breeding structure of populations. II. Effective population number. Pages 543-556.
- Crow J (1958): Some possibilities for measuring selection intensities in man. *Hum. Biol.* 30: 1-13.
- Crow J, Denniston C (1988): Inbreeding and variance effective population numbers. *Evolution* 42: 482-495.
- Crow J, Kimura M (1970): An introduction to population genetics theory. Harper and Row, New York. Burgess, Minneapolis.
- Crow JF, Simmons MJ (1983): The mutation load in *Drosophila*. En "The genetics and biology of *Drosophila*", ed. H.L.C.M. Ashburner & J.N. Thomson. Academic Press, London .
- De Rochambeau H, Fournet-Hanocq F, Vu Tien Khang J (2000): Measuring and managing genetic variability in small populations. *Ann. Zootech.* 49: 77-93.
- Dobzhansky T (1970): Genetics of the Evolutionary Process. Columbia Univ. Press, New York .
- Dow BD, Ashley MW (1996): Microsatellite analysis of seed dispersal and parentage of saplings in bur oak, *Quercus macrocarpa*. *Mol. Ecol.*, 5: 615-627.
- Eding J, Laval G (1999): Measuring genetic uniqueness in livestock. In: Oldenbroek (1999). pp 33-58.
- Emery AM, J.Wilson I, Craig S, Boyle PR, Noble LR (2001): Assignment of paternity groups without access to parental genotypes: multiple mating and developmental plasticity in squid. *Mol. Ecol.* 10: 1265-1278.
- Ewens W (1979): Mathematical population genetics. Springer- Verlag, Berlin.
- Ewens, W. (1982). On the concept of effective population size. *Theor. Pop. Biol.* 21: 373-378.
- Falconer DS, Mackay TF (1996): Introduction to quantitative genetics. 4th edn. Longman, London . 4^a Ed. 464 pp.

- FAO (2006): The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture – first draft, Rome.
- Felsenstein J (1971): Inbreeding and variance effective numbers in populations with overlapping generations. *Genetics* 68: 581-597.
- Fernández J, Toro MA (2006): A new method to estimate relatedness from molecular markers. *Mol. Ecol.* 15: 1657–1667.
- Fisher RA (1930): *The Genetical Theory of Natural Selection*. Clarendon, Oxford.
- Frankel O, Soulé M (1981): *Conservation and evolution*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA (2002): *Introduction to Conservation Genetics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Frankham R, Gilligan DM, Morris D, Briscoe DA (2001): Inbreeding and extinction: effects of purging. *Conserv Genet* 2:279–285.
- Frankham R, Wilcken J (2006): Does inbreeding distort sex-ratios?. *Conser. Genet.* 7:879–893.
- Franklin I (1980): Evolutionary change in small populations. Pp. 135- 338 in Soulé, M. & B. Wilcox (eds), *Conservation biology. an evolutionary ecological perspective*. Sinauer Associates, Inc. Publishers, Sunderland, Massachusetts, pp 395.
- García-Dorado A, López-Fanjul C, Caballero A (2004): Rates and effects of deleterious mutations and their evolutionary consequences, pp. 20–32 in *Evolution: From Molecules to Ecosystems*, edited by A. Moya and E. Font. Oxford University Press, Oxford.
- Gilpin ME, Soulé ME (1986): Minimum viable populations: Processes of species extinction. En “*Conservation Biology: The Science of Scarcity and Diversity*”, ed. M.E. Soulé. Sinauer Associates, Sunderland , pp 19-34.
- Goldstein D, Linares A, Cavalli-Sforza L, Feldman M (1995^a): An evaluation of genetic distances for use with microsatellites loci. *Genetics* 139: 463-471.
- Goldstein D, Linares A, Cavalli-Sforza L, Feldman M (1995^b): Genetic absolute dating on microsatellites and the origin of moderns humans. *Proceeding of the Natural Academy of Science* 92: 6723-6727.
- Goodman D (1987): The demography of chance extinction. En “*Viable Populations for Conservation*”, ed. M.E. Soulé. Cambridge University Press, Cambridge, pp 11-34.
- Goodnight KF, Queller DC (1999): Computer software for performing likelihood tests of pedigree relationship using genetic markers. *Mol. Ecol.* 8: 1231–1234.

- Goyache F, Gutiérrez JP, Fernández I, Gómez E, Álvarez I, Díez J, Royo, LJ (2003): Using pedigree information to monitor genetic variability of endangered populations: the Xalda sheep breed of Asturias as an example. *J Anim Breed Genet* 120: 95-103.
- Gutiérrez JP, Altarriba J, Díaz C, Quintanilla AR, Cañón J, Piedrafita J (2003): Genetic analysis of eight Spanish beef cattle breeds. *Genet Sel Evol* 35:43-64.
- Gutiérrez JP, Goyache F (2005): A note on ENDOG: a computer program for analyzing pedigree information. *J. Anim. Breed & Genetics* 122 (3), 172–176.
- Harris RB, Allendorf EW (1989): Genetically effective population size of large mammals: an assessment of estimators. *Cons. Biol.* 3: 181-191.
- Hartl DL, Clark AG (1990): *Principles of Population Genetics*. Sinauer Associates, Sunderland . 2ª Ed.
- Hedrick PW, Kalinowski ST (2000): Inbreeding depression in conservation biology. *Annu Rev Ecol Syst* 31:139–162.
- Hedrick, PW; Brussard, P.F.; Allendorf, F.W.; Beardmore, J.A. & Orzack. 1986. Protein variation, fitness, and captive propagation. *Zoo Biol.*, 5: 91-99.
- Hubby JL Lewontin RC (1966): A molecular approach to the study of genic heterozygosity in natural populations. I. The number of alleles at different loci in *Drosophila pseudoobscura*. *Genetics*, 54: 577-594.
- Jeffreys AJ, Wilson V, Thein SL (1985^a): Hypervariable “minisatellite” regions in human DNA. *Nature*, 314: 67-73.
- Jeffreys AJ, Wilson V, Thein SL (1985^b): Individual – specific “fingerprints” of human DNA. *Nature*, 316: 76-79.
- Kimura M, Crows JF (1963): The measurement of population number. *Evolution*. 17:279-288.
- Koreth J, O’Leary JJ, O’D Mc Gee J (1996): Microsatellites and Pcr genomics analysis. *Journal of Pathology* 178. 239-248.
- Kristensen TN, Dahlggaard J, Loeschcke V (2003): Effects of inbreeding and environmental stress on fitness – using *Drosophila buzzatii* as a model organism. *Conserv. Genetics* 4: 453–465.
- Lacy RC (1987): Loss of genetic diversity from managed populations: Interacting effects of drift, mutation, immigration, selection, and population subdivision. *Conservation Biology* 1: 143-158.
- Lacy RC (1989): Analysis of founder representation in pedigrees: Founder equivalents and founder genome equivalence. *Zoo Biology* 8, 111-124.

- Lacy RC, Petric A, Warneke M (1993): Inbreeding and outbreeding in captive populations of wild animal species. En "The Natural History of Inbreeding and Outbreeding: Theoretical and Empirical Perspectives", ed. N.W. Thornhill. University of Chicago Press, Chicago, pp 352-374.
- Lande R (1995): Mutation and conservation. *Conservation Biology*, 9: 782-791.
- Lerner I, Michael M (1954): *Genetic Homeostasis*, John Wiley and Sons, Inc., Nueva York,
- Lewontin RC (1984): Detecting population differences in quantitative characters as opposed to gene frequencies. *Am. Nat.*, 123: 115-124.
- Li CC, Weeks DE, Chakrabarti A (1993): Similarity of DNA fingerprints due to chance and relatedness. *Hum. Hered.* 43: 45-52.
- Linn S, Arber W (1968): Host specificity of DNA produced by *Escherichia coli*. X. In vitro restriction of phage fd replicative form. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 59: 1300-1306.
- Litt M, Luty JA (1989): A hypervariable microsatellite revealed by in vitro amplification of a dinucleotide repeat within the cardiac muscle actin gene. *Am. J. Hum. Gen.*, 44: 397-401.
- López MA, López-Fanjul C (1993^a): Spontaneous mutation for a quantitative trait in *Drosophila melanogaster*. I. Response to artificial selection. *Genet. Res.*, 61: 107-116.
- López MA, López-Fanjul C (1993^b): Spontaneous mutation for a quantitative trait in *Drosophila melanogaster*. II. Distribution of mutant effects on the trait and fitness. *Genet. Res.*, 61: 117-126.
- Lynch M (1996): A quantitative-genetic perspective on conservation issues. En "Conservation Genetics: Case Histories from Nature", ed. J.C. Avise & J.L. Hamrick. Chapman & Hall, New York.
- Lynch M, Ritland K (1999): Estimation of pairwise relatedness with molecular markers. *Genetics* 152: 1753-1766.
- Lynch M, Walsh B (1998): *Genetics and analysis of quantitative traits*. Sinauer, Sunderland, MA.
- Mackay TF, Lyman RF, Jackson MS (1992): Effects of P element insertion on quantitative traits in *Drosophila melanogaster*. *Genetics*, 130: 315-332.
- Malecot G (1948): *Les mathématiques de l'hérédité*. Masson et Cie. Paris.
- McNeely JA, Miller KR, Reid WV, Mittermeier RA, Werner TB (1990): *Conserving the World's Biological Diversity*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources/World Resources Institute/ Conservation International/World Wildlife Fund/US. World Bank, Gland.

- Meselson M, Yuan R (1968): DNA restriction enzyme from *E. coli*. *Nature*, 217: 1110-1114.
- Milligan BG (2003): Maximum-likelihood estimation of relatedness. *Genetics* 163: 1153-1167.
- Molina A, Valera M, Martínez J, Vega J, Martínez A, Peña F, Rodríguez P (2002): Caracterización genética y análisis de la variabilidad intrarracial del caballo Losino. Vº Congreso Nacional Y IIIº Ibérico de las Sociedades Española y Portuguesa de Recursos Animales, Serga y Sprega.
- Morin PA, Woodruff DS (1996): Noninvasive genotyping for vertebrate conservation. En "Molecular genetic approaches in conservation", ed. T.B. Smith & R.K. Wayne. Oxford Univ. Press, New York.
- Muller HJ (1950): Our load of mutations. *Am. J. Human Genet.*, 2: 111-176.
- Myers N (1990): Mass extinctions: what can the past tell us about the present and the future? *Global and Planetary Change* 82(1-2): 175-185.
- Nei M (1972): Genetic distance between populations. *American Naturalist* 106: 283-292.
- Nei M (1987): *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University Press, New York.
- Nei M Kumar S (2000): *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford University Press, New York.
- Nei M, Imazumi Y (1966): Genetic structure of human populations. II: Differentiation of blood group gene frequencies among isolated populations. *Heredity* 21: 183-190. 344.
- Nei M, Murata M (1966): Effective population size when fertility is inherited. *Genet. Res.* 8: 257-260.
- Neigel JE (2002). Is F_{ST} obsolete?. *Conservation Genetics* 3: 167-173, 2002.
- Nunney L (1999): The effective size of a hierarchically structured population. *Evolution* 53(1): 1-10.
- O'Brien SJ (Ed.) (1993): *Genetic Maps: Locus Maps of Complex Genomes*. Cold Spring Harbor Lab. Press, New York.
- O'Brien SJ (1994): Genetic and phylogenetic analyses of endangered species. *Annu. Rev. Genet.*, 28: 467-489.

- O'Brien SJ, Evermann JF (1988): Interactive influence of infectious disease and genetic diversity in natural populations. *Trends Ecol. Evol.*, 3, 254-259.
- O'Brien SJ, Peters J, Searle AG, Womack JE, Johnson PA, Graves JA (1993a): Comparative gene mapping committee report. En "Human Gene Mapping, 1993: A compendium", ed. A.J. Cuticchia & P.L. Pearson. John Hopkins Univ., Baltimore. 6ª Edición.
- Oldenbroek JL (1998): Genebanks and the conservation of farm animal genetic resources. ID-DLO. The Netherlands.
- Pääbo S (1993): Ancient DNA. *Sci. Am.*, Nov., 60-66.
- Paetkau D, Calvert W, Stirling I, Strobeck C (1995): Microsatellite analysis of population structure in Canadian polar bears. *Mol. Ecol.*, 4: 347-354.
- Pannell JR, Charlesworth B (2000): Effects of Metapopulation Processes on Measures of Genetic Diversity. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B.* 355(1404):1851-1864.
- Pertoldi C, Bijlsma R, Loeschcke V (2006): Integrating population genetics and conservation biology: merging theoretical, experimental and applied approaches. *Conserv Genet* DOI 10.1007/s10592-006-9261-3.
- Primack RB (1993): *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer, Sunderland.
- Queller DC, Goodnight KF (1989): Estimating relatedness using molecular markers. *Evolution* 43: 258-274.
- Ralls K, Ballou JD, Templeton A (1988): Estimates of lethal equivalents and the cost of inbreeding in mammals. *Cons. Biol.*, 2: 185-193.
- Raven P (1988): Biological resources and global stability. In Kawano, S., Connell, J.H. and Hidaka, T. (eds.). *Evolution and Coadaptation in Biotic Communities*. University of Tokyo Press, Tokyo.
- Reed DH, Briscoe DA, Frankham R (2002): Inbreeding and extinction: The effect of environmental stress and lineage. *Conservation Genetics* 3: 301-307, 2002.
- Reynolds J (1983): Estimation of the coancestry coefficient basis for a short-term genetic distance. *Genetics* 105: 767-779.
- Ritland K (1996): Estimators for pairwise relatedness and inbreeding coefficients. *Genet. Res.* 67: 175-186.
- Robertson A (1953): A numerical description of breed structure. *J. Agr. Sci.* 43: 334-336.

- Roush RT, McKenzie JA (1987): Ecological genetics of insecticide and acaricide resistance. *Annual Review of Entomology*, 32: 361-380.
- Shaffer ML (1981): Minimum population sizes for species conservation. *Bioscience*, 31: 131-134.
- Shriver M, Li J, Boerwinkel E, Deka R, Ferrel R, Chakraborty R (1995): A novel measure of genetic distance for highly polymorphic tandem repeat loci. *Molecular Biological Evolution*. 12: 914-920.
- Simon L (1984): Conservation of animal Genetic Resources. A. Review. *Livest. Prod Sci.* 11: 23-36.
- Slatis HM (1960): An analysis of inbreeding in the European bison. *Genetics*, 45: 275-287.
- Slobodkin LB (1986): On the susceptibility of different species to extinction: Elementary instructions for owners of a world. Pages 226-242 in Norton BG, ed. *The Preservation of Species: The Value of Biological Diversity*. Princeton (NJ): Princeton University Press.
- Smith BR, Herbinger CM, Merry HR (2001): Accurate partition of individuals into full-sib families from genetic data without parental information. *Genetics* 158: 1329-1338.
- Sorci G, Moller AP, Boulinier T (1997): Genetics of host-parasite interaction. *Trends Ecol. Evol.*, 12, 196-199.
- Soule M (1980): Thresholds for survival: maintaining fitness and evolutionary potential In: *Conservation Biology: An Evolutionary-Ecological Perspective* (eds. Soulé ME, Wilcox BA), pp. 151-169. Sinauer, Sunderland, MA.
- Soulé M (1983): What do we really know about extinction? *Biological Conservation Series 1*: 111-124.
- Soulé M, Gilpin W, Foose C (1986): The millenium ark: how long a voyage, how many staterooms, how many passengers? *Zoo Biology* 5: 101-113.
- Soulé ME (1986): *Conservation Biology. The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.
- Soulé ME (1987): *Viable Populations for Conservation*. Cambridge University Press.
- Spielman DW, Brook B, Briscoe DA, Frankham R (2004): Does inbreeding and loss of genetic diversity decrease disease resistance?. *Conser. Genet.* 5: 439-448.

- Srivastava A, Biswas J, Das J, Bujarbarua P (2001): Status and distribution of golden langurs (*Trachypithecus geei*) in Assam, India. *Amer. J. Primatol.*, 55, 15–23.
- Stalling RL, Ford F, Torney D, Hildebrand C, Moyzis R (1991): Evolution and distribution of (GT)_n repetitive sequences in mammalian genomes. *Genomics*, 10:807-815.
- Strier K (2000): Population viabilities and conservation implications for muriquis (*Brachyteles arachnoides*) in Brazil's Atlantic Forest. *Biotropica*, 32, 903–913.
- Suwanlee S, Baumung R, Sölkner J, Curik I (2006): Evaluation of ancestral inbreeding coefficients: Ballou's formula versus gene dropping. *Conserv Genet* DOI 10.1007/s10592-006-9187-9.
- Thoma, SC, Hill WG (2000): Estimating quantitative genetic parameters using sibships reconstructed from marker data. *Genetics*, 155: 1961–1972.
- Thomas SC, Hill WG (2002): Sibship reconstruction in hierarchical population structures using Markov chain Monte Carlo techniques. *Genetical Research*, 79: 227–234.
- Thomas WK, Pääbo S, Villablanca FX, Wilson AC (1990): Spatial and temporal continuity of kangaroo rat populations shown by sequencing mitochondrial DNA from museum specimens. *J. Mol. Evol.*, 31: 101-112.
- Thorne ET, Oakleaf B (1991): Species rescue for captive breeding: Black-footed ferret as an example. En "Beyond Captive Breeding", ed. J. Gipps. Oxford University Press, Oxford , pp 241-262.
- Tier B (1990): Computing inbreeding coefficients quickly. *Genet. Sel. Evol.* 22:419-430.
- Toro M.; Maki-Tanila 1999. Establishing a conservation schema. In: Oldenbroek (ed), 1999.
- Valera M, Luque A, Molina A, Azor PJ (2003): Diversidad Genética de las subpoblaciones de ganado bovino Pajuno. VIII Jornadas Científicas de Veterinaria Militar. Madrid.
- Vu Tien Khang J (1983): Méthodes d'analyse des données démographiques et généalogiques dans les populations d'animaux domestiques, *Génét. Sél. Évol.* 15 263–298.
- Wang J (2002): An estimator for pairwise relatedness using molecular markers. *Genetics* 160: 1203–1215.
- Wang J (2004): Sibship reconstruction from genetic data with typing errors. *Genetics* 166: 1963-1979.

- Weber J, May P (1989): Abundant class of human DNA Polymorphisms which can be typed using the polymerase chain reaction. *Am. J. Human Genet.* 44: 388-396.
- Whitehead G (1978): in *Threatened Deer* (International Union for the Conservation of Nature and Natural Resources, Morges, Switzerland, 1978) p. 353.
- Willis JH (1999): The role of genes of large effect on inbreeding depression in *Mimulus guttatus*. *Evolution*, 53: 1678-1691.
- Wilson EO (1988): The current state of biological diversity. In Wilson, E.O. and Peter, F.M. (eds.). *Biodiversity*. National Academy Press, Washington DC.
- Wilson EO (1989): Threats to biodiversity. *Sci. Am.*, 261: 108-117.
- Wright S (1931): Evolution in mendelian populations. *Genetics* 16: 97-159.
- Wright S (1969): *Evolution and the Genetics of Populations. Vol. 2, The Theory of Gene Frequencies*. The University of Chicago. Press, Chicago, USA.
- Wright S (1977): *Evolution and the genetics of populations, vol. 3. Experimental results and evolutionary deductions*. University of Chicago Press, Chicago.
- Wright S (1978): *Evolution and the genetics of populations: Vol. 4. Variability within and among natural populations*. University of Chicago Press: Chicago. USA.

CAPÍTULO 4

PRINCIPIOS BÁSICOS SOBRE DINÁMICA Y GESTIÓN GENÉTICA DE PEQUEÑAS POBLACIONES

Antonio Molina Alcalá¹, Mercedes Valera Córdoba²,
Jesús Fernández Martín³

1 Dep. Genética, Univ. Córdoba, Campus Rabanales C5, 14071.

2 Dep. Ciencias Agroforestales, Univ. Sevilla, Sevilla, Córdoba.

3 Dep. Mejora Genética Animal, INIA, 28040 Madrid.

1. DINÁMICA DE LAS POBLACIONES PEQUEÑAS

Bajo las condiciones que tradicionalmente se conocen como de “población ideal” la constitución genética de una población se mantiene inalterada a lo largo de las generaciones (Falconer y Mackay, 1996). Esta estabilidad de las frecuencias alélicas y genotípicas se denomina Equilibrio de Hardy-Weinberg. En una población que cumpliera todas las características necesarias (tamaño infinito, igual contribución de todos los individuos a la siguiente generación, apareamiento aleatorio, etc.) no habría pérdida de diversidad genética cualquiera que fuera el parámetro usado para medirla y, por tanto, no habría que establecer programas para su conservación.

1.1. Procesos genéticos que afectan a la viabilidad de las poblaciones de censo limitado

Las asunciones del modelo de Hardy-Weinberg son, en general, muy poco realistas. Una de las que más claramente se incumple en poblaciones reales es la que refiere al censo infinito de la población, especialmente si pensamos en poblaciones amenazadas o en peligro de extinción de las cuales se conserva un número reducido de individuos. En esta situación el pequeño tamaño poblacional va a determinar un incremento de la endogamia y determinados cambios aleatorios que se conocen como Deriva Genética.

Los procesos genéticos que afectan a la viabilidad de las poblaciones de censo limitado se pueden resumir en:

- **Deriva genética**, como principal motor de la evolución de las pequeñas poblaciones (por encima de la selección natural).
- Los efectos deletéreos de la **consanguinidad** en la supervivencia y características reproductivas (depresión consanguínea).
- La **pérdida de variabilidad genética** y por lo tanto de respuesta a los cambios ambientales.
- **Fragmentación de la población** y reducción del flujo genético.
- **Adaptación a sistemas productivos diferentes** al habitual y **dificultad en la reintroducción** de nuevo en su hábitat.
- Efectos deletéreos de adaptación al medio por cruzamiento descontrolado (outbreeding depression: **Depresión exogámica**).

1.1.1. Deriva genética

¿Qué es lo que cambia en la dinámica de una población el hecho de que se disponga de un número limitado de reproductores y de descendientes a generar? Básicamente lo que se produce en estas circunstancias es un muestreo aleatorio a dos niveles. Por una parte existe un muestreo a nivel de parentales, ya que al ser reducido el número de hijos para la siguiente generación puede que haya reproductores que contribuyan de manera diferencial, distorsionando las frecuencias alélicas y genotípicas. En un caso extremo, si individuos portadores de información genética exclusiva no se reproducen, la misma se perderá para siempre de la población.

Los tamaños poblacionales muy pequeños están sometidos a un proceso genético de deriva de tipo aleatorio que provoca:

- Cambios aleatorios en las frecuencias alélicas de una generación a otra.
- Pérdida de diversidad genética y fijación de alelos dentro de la población.
- Diversificación de núcleos poblacionales de la misma raza o especie, si están aislados.

El segundo nivel de muestreo ocurre dentro de parentales en la generación de gametos. Si el individuo es homocigoto para un locus concreto (lleva dos alelos iguales), no hay problema porque todos sus gametos serán iguales. Pero si el individuo es heterocigoto puede generar gametos con informaciones diferentes (cada uno de los dos alelos que porta). En condiciones ideales, como el número de gametos producidos (y usados) por cada parental era infinito, se transmitía la misma proporción de alelos de cada tipo. Pero con censos finitos las proporciones pueden variar e incluso darse la situación de que todos los gametos usados para generar descendientes, a partir de un parental, sean portadores del mismo tipo de alelo.

Este proceso de Deriva genética anteriormente descrito tiene un impacto importante en la diversidad genética de las poblaciones. Hay que hacer notar que, a diferencia de otras fuerzas direccionales como la selección, el sentido del cambio provocado por la deriva genética es impredecible (debido a su carácter aleatorio). Pero lo que sí se puede es hacer predicciones estadísticas sobre la magnitud de los efectos que produce.

1.1.1.1. Varianza de las frecuencias alélicas

Una de las consecuencias de la deriva sobre la constitución genética de las poblaciones ya ha sido apuntada anteriormente y consiste en la modificación de las frecuencias alélicas de la población. Para entender mejor el modo de actuación de la deriva en este sentido y cómo cuantificarlo, imaginemos que tenemos infinitas poblaciones de censo N en las que las frecuencias para un locus bialélico son p_0 y q_0 , respectivamente, e iguales para todas las poblaciones. En la siguiente generación, la frecuencia de cada uno de los alelos subirá en algunas poblaciones y bajará en otras, de manera que la frecuencia promedio para el conjunto de líneas no cambiará. Pero se encontrará una varianza en dichas frecuencias correspondiente a la de la probabilidad binomial, $\sigma_a^2 = p_0 q_0 / 2N$. Con el paso de las generaciones la varianza irá aumentando de manera que t generaciones después la varianza de las frecuencias alélicas se puede calcular según la fórmula

$$\sigma_{qt}^2 = p_0q_0 \left[1 - \left(1 - \frac{1}{2N} \right)^t \right]$$

Es importante hacer notar que, si ignoramos el efecto de la mutación, para una población concreta la deriva hace que a largo plazo se fije una sola variante alélica, perdiéndose el resto de informaciones genéticas. La probabilidad de fijación de un alelo neutro concreto dependerá de su frecuencia inicial en la población, mientras que el tiempo medio de fijación dependerá del tamaño poblacional (más corto cuanto menor sea el censo).

A pesar de que los efectos perjudiciales de la consanguinidad se conocen desde muy antiguo, la endogamia se ha utilizado a lo largo de la historia para la formación de razas, estirpes y líneas. Así mismo en muchas culturas como la Egipcia o la Inca se fomentaban los matrimonios consanguíneos.

1.1.2. Endogamia

Otra consecuencia del censo reducido de las poblaciones es que los individuos pueden tener ancestros comunes y, por tanto, se aumenta la probabilidad de que dos copias de un mismo alelo en un antepasado se reúnan en el mismo individuo generando homocigosidad por descendencia (o autocigosidad según algunos autores; Fontdevila y Moya, 1999). La medida típica para esa probabilidad es el coeficiente de consanguinidad, F (Falconer y Mackay, 1996). El cálculo de dicho coeficiente, en condiciones de panmixia, se rige por la fórmula:

$$F_t = \frac{1}{2N} + \left(1 - \frac{1}{2N} \right) * F_{t-1}$$

donde N es el tamaño de la población y t es el número de generaciones que han pasado desde la que consideramos población base, en la que todos los alelos eran distintos por descendencia

En la figura 1 se ha representado la pérdida de heterocigosidad a lo largo de 50 generaciones en función del número efectivo de la población (N_e).

Para evitar hacer referencia a una generación base concreta y poder comparar entre diferentes poblaciones, en vez de con el valor absoluto, habitualmente se trabaja con la tasa de consanguinidad (D_F), definida como el cambio en consanguinidad ponderado por el máximo aumento de consanguinidad posible.

$$\Delta F = \frac{F_t - F_{t-1}}{1 - F_{t-1}}$$

El efecto general del incremento de la consanguinidad en una población es el aumento de la frecuencia de individuos homocigotos, con las consecuencias deletéreas sobre la eficacia biológica de las poblaciones como se ha explicado en el capítulo anterior.

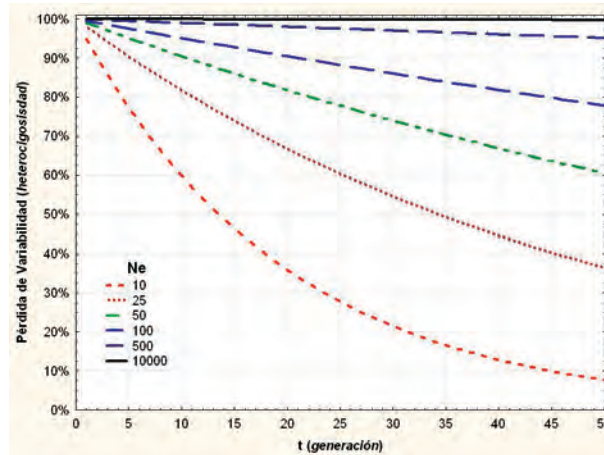


Figura 1. Pérdida de heterocigosidad a lo largo de 50 generaciones en función del tamaño efectivo (N_e) de la población

La lucha contra este proceso en pequeñas poblaciones salvajes es muy complicado debido al apareamiento aleatorio entre individuos emparentados (agravado por la subdivisión y fragmentación de la población que incrementa aún más la probabilidad de apareamiento entre parientes cercanos). En las poblaciones domésticas y en las especies salvajes en cautividad, se verá posteriormente la posibilidad de luchar contra este proceso mediante metodologías que minimicen el parentesco entre los reproductores y mediante la selección en contra de los efectos detrimentales de la consanguinidad (Suwanlee *et al.*, 2006). Algún ejemplo de la magnitud de la depresión consanguínea y la efectividad de la eliminación de sus efectos en animales se puede consultar en Templeton y Read (1984) y en Ballou (1997).

Este último autor desarrolló un método de diferenciación entre la consanguinidad ancestral y la reciente de un individuo, ya que, según éste, un individuo consanguíneo con consanguinidad ancestral, es menos susceptible a los efectos de la depresión consanguínea que un individuo con consanguinidad reciente ya que es menos probable que los antecesores que sobrevivieron y tuvieron crías fuesen portadores de alelos deletéreos. Este hecho fue comprobado utilizando diferentes modelos de regresión entre el coeficiente de consanguinidad y los efectos de esta sobre diferentes caracteres adaptativos (eficacia biológica).

Otras fuerzas evolutivas citadas clásicamente (ver tabla 1), como la selección natural o la mutación no parecen jugar un papel importante en la evolución de la variabilidad de las poblaciones de pequeño censo. No obstante, si las diferentes subpoblaciones están sometidas durante mucho tiempo a ambientes muy heterogéneos, la selección natural puede determinar la fijación de los alelos no neutros que presenten un mayor valor adaptativo (eficacia biológica media de la población) en cada ambiente.

Tabla 1. Fuerzas de la evolución que provocan un aumento (+) o una disminución (-) de la variación en la población y entre poblaciones.

Fuerza	Variación en la población	Variación entre las poblaciones
Endogamia	-	+
Deriva Genética	-	+
Mutación	+	-
Migración	+	-
Selección Direccional	-	+/-
Selección Estabilizadora	+	-

Adaptado de Griffiths *et al.* (2002)

1.1.3. Deriva y programas de conservación

Estudiando las fórmulas que predicen el efecto de la deriva, tanto en lo que respecta al aumento de consanguinidad como al cambio de las frecuencias génicas, se llega fácilmente a la conclusión de que la deriva es un proceso que depende únicamente, de forma inversamente proporcional, del tamaño de la población (realmente del tamaño efectivo definido en un apartado anterior). Esta sería la justificación teórica para la recomendación básica, en cualquier programa de conservación, de mantener el mayor número posible de individuos en la población (lo que por otra parte es una idea muy intuitiva).

Otra recomendación menos obvia surge de la consideración de que la deriva se produce cuando hay recambio de padres por hijos. Es por ello que podemos reducir la pérdida de variabilidad genética anual mediante el alargamiento del intervalo generacional, definido como la edad media de los padres cuando tienen a sus descendientes. Esto se puede conseguir manteniendo como reproductores a los individuos todo el tiempo que sea posible e, incluso, aumentar su periodo reproductivo mediante la conservación de gametos para su posterior uso.

1.2. Consecuencias del tamaño reducido de las poblaciones

Dos fenómenos relacionados con la deriva genética son el llamado efecto fundador y el cuello de botella poblacional. En este apartado estudiaremos las causas relacionadas con el tamaño poblacional que han podido llevar a un grupo a encontrarse en una situación de amenaza. Igualmente se presentarán las recomendaciones que de dicho estudio se pueden extraer para el diseño de un programa de conservación.

1.2.1. Cuellos de botella

El cuello de botella (population bottlenecks), constricción del tamaño poblacional, está reconocido como una importante causa de pérdida de variabilidad genética e incre-

mento de consanguinidad (Frankham *et al.*, 2002), aumentando por lo tanto el riesgo de extinción en las poblaciones naturales.

En poblaciones naturales, debido a causas ambientales (pérdida de hábitat, degradación del ambiente) y fluctuaciones demográficas aleatorias (pe.: por razones sanitarias, catástrofes...), puede ocurrir que en un determinado momento el número de individuos que componen la población se reduzca muy por debajo de su tamaño habitual (ver Frankham *et al.*, 2002). Esta situación puede también ocurrir además en poblaciones en cautividad por problemas logísticos o de gestión inadecuada. Es fácil de entender el impacto que este hecho tiene sobre la variabilidad genética mantenida en la población. La diversidad alélica es más sensible a la reducción del censo que la heterocigosidad, disminuyendo el número de alelos transmitido (Allendorf y Luikart, 2006), es decir, la pérdida de alelos, fundamentalmente alelos raros, es mucho mayor que la pérdida de varianza genética *per se* (Frankel y Soulé, 1981). Sin embargo, aunque estos alelos raros contribuyen poco a la varianza genética total, pueden proporcionar respuestas únicas ante futuros retos evolutivos.

Por otra parte, la disminución censal puede ser muy intensa en un momento dado, o bien ocurrir de forma más difusa a lo largo de un periodo más o menos largo. Se ha demostrado que un cuello de botella ocasionado por una disminución brusca del tamaño determina, para una misma pérdida de heterocigosidad, una mayor pérdida de alelos que en el caso de una pérdida más lenta en el tiempo (England *et al.*, 2003).

En esta situación también se produce un aumento de la consanguinidad proporcional a la gravedad del cuello de botella, aunque el efecto sobre la heterocigosidad es menor si la duración del cuello no es muy larga.

Es necesario recordar que los efectos de la deriva son acumulativos y permanentes, de manera que la consanguinidad generada en un periodo en el que el censo era reducido no se elimina aumentando el número de reproductores en generaciones posteriores. Lo mismo ocurre con la diversidad alélica, de la que sólo permanece la que es capaz de “atravesar” el cuello de botella. Es por ello muy importante que cuando se diseñe un programa de conservación se ponga especial cuidado en evitar oscilaciones grandes del tamaño poblacional.

1.2.2. Efecto fundador

Cuando un nuevo hábitat es colonizado por una población, el proceso suele deberse a un reducido número de colonizadores o fundadores (de la misma forma cuando se establece un programa de conservación *ex situ* de una raza doméstica). Es por ello que en la nueva población la diversidad genética puede ser de partida muy reducida, si se ha pasado por un cuello de botella extremo.

A la vista de los conocimientos actuales de la genética de la conservación, el Arca de Noe hubiese sido poco viable. El **efecto fundador** de la elección de una sola pareja por especie, el cuello de botella extremo que determina y la depresión por endogamia hubiesen impedido la repoblación de muchas de las especies (salvo que previamente se hubiesen “purgado” los alelos indeseables).

Una colonia fundada por un reducido número de individuos experimentará una cierta pérdida de variación genética con respecto a la población de origen; en concreto, será muy improbable que los alelos raros o infrecuentes se encuentren representados en la colonia. Sin embargo en la primera generación no existirá una gran reducción de la heterocigosidad media: $(1 - 1/2N) H_0$, donde N es el número de fundadores y H_0 es la heterocigosidad en la población de origen (pe. una colonia fundada por una pareja reproductora, $N = 2$, la heterocigosidad en la primera generación se reduce, como media, en un 25%). Dado que la varianza genética de un carácter es proporcional a la heterocigosidad poblacional para aquellos loci que afectan al carácter, la mayor parte de la heterocigosidad y la varianza genética de una población grande se mantiene, como media, en una colonia formada por pocos individuos. Esto es así porque los alelos raros, que son los más susceptibles de perderse, contribuyen poco a las medidas cuantitativas de heterocigosidad y varianza genética, mientras que los alelos relativamente frecuentes, que son los que más contribuyen a estas medidas, también son los que, con mayor probabilidad, van a estar contenidos en los fundadores. Si la colonia aumenta muy rápidamente de tamaño, la pérdida subsiguiente de variación genética será lenta. Por el contrario, si la colonia mantiene un reducido tamaño, la deriva genética continuará erosionando su variación genética de forma rápida. Si la colonia persiste y crece, la mutación sólo podrá restaurar la heterocigosidad hasta niveles más altos a muy largo plazo, por lo que la única forma práctica de elevar los niveles de variabilidad es introducir de forma periódica otros individuos.

Por lo tanto, la importancia de las consecuencias de este efecto fundador, hay que tenerlo muy presente a la hora de crear un nuevo núcleo a partir de individuos de la población original (por ejemplo, repoblación de una zona en la que se extinguió la población, un centro de cría o un núcleo de conservación *ex situ*). En este sentido es esencial utilizar el mayor número posible de fundadores en este proceso y asegurarse de que los elegidos son los que capturan la mayor cantidad de variabilidad genética total. Una mala elección de los mismos puede llevar a una situación irreversible en la población.

1.2.3. Metapoblaciones y Fragmentación de las poblaciones

El deterioro de los hábitats naturales o la creación de barreras artificiales (carreteras, vías, vallas de parcelación, etc) pueden hacer que poblaciones de animales salvajes que ocupaban grandes extensiones continuas se vean separadas en pequeños núcleos. También el manejo de poblaciones domésticas tiene que contemplar la situación de poblaciones subdivididas, ya que suele ser técnicamente inviable (además de poco recomendable atendiendo a razones de riesgo de extinción por causas ambientales) el mantenimiento de todos los individuos de la raza como un solo grupo. Adicionalmente en algunas razas domésticas se dan determinadas condiciones que limitan e incluso impiden el flujo genético entre las ganaderías (que se comportarían como subpoblaciones o islas).

Es en este sentido donde cobra importancia los términos de metapoblación y de fragmentación de las poblaciones.

El término de metapoblación fue propuesto por Levins (1969) para referirse a “una población fragmentada y discontinua en la que las subpoblaciones que ocupan los distintos fragmentos de hábitat útil están vinculadas por eventos locales de extinción y colonización a través de emigración e inmigración”. Cualquier población local está sujeta a una

determinada probabilidad de extinción (tasa de extinción local) que depende de factores endógenos (tasa reproductiva, tamaño de la población, etc.) y exógenos (fenómenos meteorológicos, sucesos catastróficos, etc.). Cuando una subpoblación desaparece, el hábitat que deja vacío queda disponible para ser recolonizado posteriormente por las subpoblaciones más cercanas. El modelo de metapoblación de Levins implica, pues, un dinamismo espacio-temporal en el que la fracción de hábitat (que el denominó “parches de hábitat”), ocupados por una especie en un momento dado, resulta del equilibrio dinámico entre la tasa de extinción de las zonas ocupadas y la tasa de recolonización de los zonas vacías. El modelo básico de Levins no tiene en cuenta la diferencia de tamaño de los territorios ocupados por cada subpoblación, su localización espacial ni la dinámica particular de cada subpoblación. Por lo que han sido necesarios desarrollos posteriores (Opdam 1991, Hanski y Gilpin 1997, Hanski, 1999) que tienen en cuenta todos estos factores. Por ejemplo, la tasa de extinción de cada subpoblación puede variar en función del tamaño y calidad del parche de hábitat correspondiente. Así, en parches de alta calidad, el número de nacimientos excedería al de las muertes, de modo que esa subpoblación se convertiría en una subpoblación donadora de individuos o “fuente”. Por su parte, en parches de baja calidad, morirían más individuos que los que nacen, de forma que estas subpoblaciones se comportarían como “sumideros”. Este modelo de metapoblación se denomina “Fuente - Sumidero” (Pulliam, 1988) y parece ajustarse al comportamiento de muchas poblaciones reales de organismos. En el modelo Fuente-Sumidero, la supervivencia de la metapoblación no depende sólo del balance global entre extinción y colonización, sino también del equilibrio entre fuentes y sumideros, de modo que las poblaciones fuente pueden mantener uno o más sumideros en el contexto de la metapoblación. Estos desarrollos han hecho que la utilización de modelos de metapoblaciones haya crecido exponencialmente en los últimos años en la biología de la conservación de especies salvajes.

Un ejemplo ilustrativo de la importancia de la existencia de metapoblaciones y fragmentación de las subpoblaciones sobre la viabilidad y posibilidades de recuperación de las especies salvajes lo tenemos con el Lince ibérico (*Lynx pardinus*). Este felino que está considerado uno de los más vulnerable del mundo (Rodríguez, 2004), presentaba a finales de la década de los ochenta poco más de mil ejemplares, distribuidos en nueve núcleos poblacionales en España y dos o tres en Portugal (Rodríguez, 2004).



Hembra de Lince Ibérico (*Lynx pardinus*) con cría en un arroyo de Sierra Morena. Fotografía de Adriano Vázquez Mora.

Esta vulnerabilidad de las poblaciones de lince por la escasez de alimento se ha visto potenciada por la incidencia de la mortalidad no natural sobre la demografía de una especie longeva, pero relativamente poco productiva (Ferrerías *et al.*, 2001; Rodríguez y Delibes, 2004).

Así, en la actualidad la situación se ha agravado, dado que se calcula que pueden quedar algo menos de 200 individuos distribuidos en dos poblaciones, una en el Parque Nacional de Doñana y sus alrededores, y otra en las sierras de Andujar y Cardeña, entre las provincias de Jaén y Córdoba (figura 2). Ambas poblaciones están aisladas geográficamente (Rodríguez, 2004).



Figura 2. Área de dispersión actual de la metapoblación del lince.

Cada uno de estos núcleos funciona como una metapoblación (siguiendo un modelo de fuente-sumidero), de manera que lo integran subpoblaciones relativamente independientemente unidas por los animales (fundamentalmente jóvenes) que se dispersan. La población de Sierra Morena estaría formada por 2 núcleos (Fernández *et al.*, 2003b), mientras que la metapoblación de Doñana está estructurada en nueve núcleos diferentes (Palomares *et al.*, 2003). La mayoría de estas poblaciones son tan pequeñas que tienen un riesgo elevado de extinción a corto plazo si no existe flujo genético entre ellos.

El impacto genético de la **fragmentación poblacional** depende principalmente del **flujo de genes** entre las diferentes subpoblaciones. Si el flujo es muy bajo, aunque el tamaño poblacional global sea alto se producirá:

- Pérdida de variabilidad y aumento de la consanguinidad
- Diferenciación de las subpoblaciones por deriva genética
- En cambio disminuye el riesgo sanitario

El mayor o menor flujo genético dependerá:

- **Estructura poblacional.**
- Número y **tamaño** (efectivo) de las **subpoblaciones**.
- **Distancia geográfica y orográfica** entre ellas.
- Nivel de organización de la población (**Asociación**).
- **Impedimentos** de tipo **sanitario** para el movimiento de animales.

Aunque no se han descrito subespecies, el aislamiento ha determinado la existencia de cierta diferenciación genética entre las poblaciones de Doñana y Sierra Morena oriental (Johnson *et al.*, 2004). De la misma forma los estudios llevados a cabo con marcadores neutros microsátélites han demostrado también pérdida de variabilidad genética, con pérdida de alelos debidos a la consanguinidad (Johnson *et al.*, 2004), en ambos núcleos.

Utilizando modelos determinísticos de simulación de metapoblaciones con procedimientos estocásticos, Gaona *et al.*, (1998) muestran que la desaparición de poblaciones de la metapoblación de Doñana se ha debido a la ausencia de reproductores machos, más que por disminución de la fertilidad por los efectos de la consanguinidad. De tal forma que la mejor estrategia para luchar contra la desaparición de este felino es la restauración del hábitat, la lucha contra la muerte de los reproductores adultos y la mejora del movimiento de machos jóvenes entre las diferentes poblaciones.

Un efecto adicional de la fragmentación de los hábitats (parches) es el incremento del llamado “efecto borde”. Se conoce como “efecto borde” a diversos procesos asociados al aumento de la relación perímetro/superficie de los fragmentos de hábitat (Murcia, 1995). Cuando se fragmenta el hábitat de una especie, se incrementa el perímetro del parche (en relación a la superficie de este) en contacto con otros hábitats no ocupados, lo que provoca la mayor permeabilidad de éstos ante la influencia de los ambientes periféricos (Gurrutxaga, 2004). Así, la proporción de superficie de borde en relación al área de los fragmentos tiene gran importancia en el efecto global que la fragmentación provoque sobre la viabilidad de las especies. Esta fragmentación puede deberse a diversas causas como por ejemplo la construcción de una vía de ferrocarril o de una carretera. Y además del riesgo de muertes por accidentes, se incrementa la superficie de contacto con el predador (el hombre en el caso del linco) y se incrementa el riesgo de desequilibrio entre la población y la disponibilidad alimenticia.

En resumen, una disminución de la interconexión entre los fragmentos, provoca que los parches tiendan a funcionar como “islas biológicas” para aquellas especies faunísticas con dificultades para atravesar dichos espacios. La disminución de la capacidad de movimiento de los organismos a través del territorio derivada de la pérdida de interconexión del hábitat tiene severos efectos sobre la dinámica de las poblaciones locales que ocupan los fragmentos. Reducción del intercambio genético entre las mismas, mayor dificultad para suplementar núcleos poblacionales en regresión y menor capacidad para colonizar nuevos hábitats, son algunos de ellos.

Si el intercambio de individuos disminuye, también lo hacen las tasas de colonización y las pequeñas poblaciones locales van quedando aisladas, incrementando a su vez su tendencia a la extinción. Cualquier acontecimiento natural inesperado o fuera de lo normal puede llevar a la extinción local de la población. Una descripción de los diversos fenómenos asociados a la fragmentación se pueden consultar en Gurrutxaga (2004).

Así el pequeño tamaño y la fragmentación de ambas población de lince son las amenazas más serias de este felino (por encima incluso de la muerte accidental o provocada por su único depredador, el hombre).

Como factor de extinción notablemente fomentado por la fragmentación del hábitat cabe destacar la estocasticidad genética. Fruto de la consanguinidad y de la deriva genética en poblaciones pequeñas y aisladas, la pérdida de variabilidad genética de la población puede impedir a ésta adaptarse y responder a cambios del medio o superar problemas con los que ya se había enfrentado eficazmente en el pasado.

En el caso de las poblaciones domésticas, no se han realizado estudios considerando metapoblaciones con fragmentación, dado que se supone que el movimiento de los animales no presenta ningún impedimento al estar controlado por el ser humano (flujo genético). No obstante se ha demostrado que en el caso de las poblaciones domésticas pueden existir condicionantes socioeconómicos, o legales más fuertes que los orográficos o la distancia geográfica de las especies salvajes (Molina *et al.*, 2003). Un ejemplo lo tenemos en la raza vacuna andaluza Pajuna. Los estudios llevados a cabo por Valera *et al.*, (2003) han determinado que la metapoblación está compuesta por 3 subpoblaciones principales (figura 3), entre las cuales el flujo genético es mínimo (un núcleo en Jaén, otro en Granada y el último en Almería). Los condicionantes que limitan el intercambio de animales entre los núcleos son, más que la propia distancia geográfica o la orográfica de algunas zonas donde se explota tradicionalmente, de tipo socioeconómico (los ganaderos de cada núcleo consideran que los únicos animales puros que quedan son los suyos, y por lo tanto no quieren introducir animales de otros núcleos), y muy principalmente los condicionantes sanitarios al movimiento pecuario.

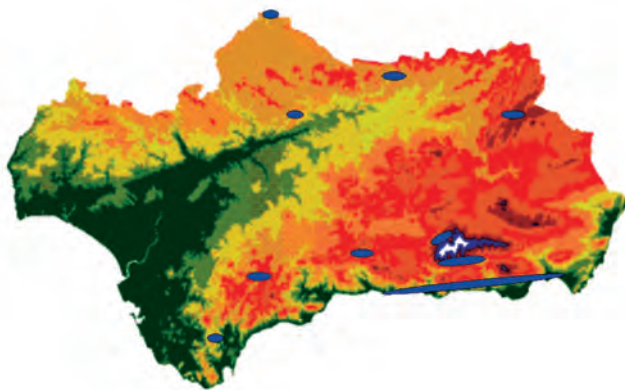


Figura 3. Distribución de los núcleos que constituyen la metapoblación de la raza vacuna Pajuna (tomado de Luque, 2003).

El estudio llevado a cabo por Molina *et al.*, (2004) demuestra que el censo efectivo (N_e) es de 81 ($N_m = 22$, $N_h = 260$) y el consecuente incremento de la consanguinidad por generación previsto del 0,62%. En cambio en la realidad si se analiza la situación de los diferentes núcleos de la población, se observa que el N_e es de 11,61 para el núcleo de Jaén, 22,2 para el de Granada y 18,7 para el de Málaga, con lo que el incremento de consanguinidad prevista por generación es de 4,3%, 2,2% y 2,7% respectivamente para las población de cada uno de los anteriores núcleos. A la clara disminución del N_e global

para la raza se suma la grave situación creada por los condicionantes sanitarios que hacen que incluso dentro de cada núcleo se disminuya el flujo genético. En el caso del bovino existen 4 enfermedades de declaración obligatoria (brucelosis, tuberculosis, perineumonía y leucosis) que impiden el movimiento de los animales (tanto entrada como salida) en aquellas ganaderías que no presentan un determinado status o calificación sanitaria (que no hayan presentado ningún animal positivo a estas enfermedades durante un periodo mínimo de 6 meses a 12 meses según la enfermedad). Según nuestros estudios, en aquellas ganaderías que por su status sanitario no se podía intercambiar animales, el incremento de consanguinidad prevista era muy preocupante (12.8% a 15.6%), y en el resto de ganaderías (las que si pueden intercambiar animales), el Ne había disminuido a 9,3 en el Núcleo de Jaén, 18,9 en Granada y 15,3 en el caso de Málaga (Luque, 2003).

2. GESTIÓN DE POBLACIONES PEQUEÑAS: ASPECTOS TEÓRICOS

Durante mucho tiempo en el campo de la conservación se argumentaba que los factores que más influían en el mantenimiento o extinción de una población eran principalmente de origen ambiental o demográfico y que los problemas de origen genético no tenían tiempo de manifestarse. Sin embargo, recientemente se ha demostrado que los factores genéticos pueden ser determinantes en el destino de una población, haciendo necesario que se establezcan sistemas de gestión genética de las poblaciones amenazadas. Dependiendo del tipo de programa que afrontemos el tipo de actuaciones será diferente.

Gestión de poblaciones pequeñas:

1. Programas de conservación "in situ".
 - a) Extinciones globales y locales. Repoblación.
 - b) Fragmentación del hábitat: manchas, islas y metapoblaciones.
2. Programas de conservación "ex situ".
 - a) Elección de fundadores a partir de información del pedigrí y marcadores genéticos.
 - b) Sistemas jerárquicos regulares.
 - c) Contribuciones de mínimo parentesco.
 - d) Esquemas de apareamiento.
 - e) Gestión de metapoblaciones.

2.1. Programas "in situ"

Este tipo de programas debería de ser el elegido siempre que la situación de la población lo permita, ya que al mantener a los individuos en su entorno se garantiza que haya una coevolución con el hábitat. El aspecto negativo es que, desde el punto de vista genético, el grado de control o intervención en la gestión es más reducido. Los mayores esfuerzos dentro de estos programas deben realizarse a nivel de restauración y protección del entorno para garantizar las condiciones óptimas de desarrollo, así como en la promoción de la raza.

A nivel genético se debe realizar una caracterización inicial de la estructura genética de la población y una monitorización periódica para comprobar la evolución de la población. Estos controles permitirán detectar problemas que exijan una actuación concreta y,

eventualmente, el establecimiento de un programa “ex situ” cuando el grado de amenaza sea elevado.

2.1.1. Extinciones globales y locales, Criterios para la repoblación

Desde el punto de vista exclusivamente teórico, la subdivisión de las poblaciones puede ser beneficiosa para el mantenimiento de diversidad genética. A largo plazo la mayor cantidad de diversidad génica y alélica se consigue manteniendo muchas líneas aisladas, con la intención de que, por deriva, se fijen en cada una de ellas alelos diferentes. Recordemos que, sin embargo, en una población única sólo puede permanecer a largo plazo un alelo por locus (si no consideramos una tasa de mutación apreciable). El problema viene dado por el hecho de que en cada subpoblación el censo es menor y se producen niveles de consanguinidad más elevados. El efecto de la depresión consanguínea sobre la eficacia biológica hará que la viabilidad de los grupos sea reducida y aumente el riesgo de extinción local con una pérdida neta de diversidad genética. Para obviar este inconveniente se propone que hay que favorecer cierto flujo genético entre grupos a través de la migración de individuos.

En los modelos de metapoblaciones este intercambio puede ser de dos tipos: la reintroducción (el traslado de un organismo a una fracción del territorio que constituye su hábitat y del que ha desaparecido), o la translocación (el movimiento de individuos de una fracción del territorio a otra, sin que necesariamente haya tenido que desaparecer en ninguna de ellas). El objetivo de la reintroducción es el establecimiento de una población viable y autosuficiente en un área que había sido previamente ocupada por la especie, mientras que el de la translocación es el refuerzo una población para que ésta sea viable, p.e. para paliar un cuello de botella.

Así, cuando una población ha desaparecido totalmente de un determinado lugar la regeneración de la misma se debe realizar con individuos provenientes de otras localizaciones. La elección de los individuos recolonizadores debe realizarse en varias etapas. Primero debe definirse qué poblaciones tiene unas condiciones ecológicas similares para evitar problemas de depresión exogámica y que los individuos traslocados se desarrollen adecuadamente. No obstante, se considera que la reintroducción presenta un elevado riesgo, principalmente porque pueden estar persistiendo las causas que llevaron a la especie a la desaparición de ese hábitat, en cambio la translocación aumentan la tasa natural de dispersión de la población, influyendo en su éxito factores principalmente espaciales, como la distancia entre poblaciones. Así siempre que no haya peligro de adaptación, es preferible utilizar varias poblaciones de origen.

En segundo lugar, se debe determinar el número de individuos a introducir. Aunque este número dependerá de factores específicos como el cociente de sexos, la tasa de crecimiento poblacional o la capacidad de carga del entorno, se sugiere que el número mínimo de fundadores debe estar en el rango de 30 a 50 individuos (Allendorf y Luikart, 2006), siempre que los censos de las poblaciones donantes no sean muy bajos. En muchos casos es conveniente la introducción de más hembras que machos dado que estos últimos pueden aparear con varias hembras y así se maximiza la tasa de crecimiento poblacional.

Por último, hay que seleccionar que individuos concretos se usarán. La idea general debe ser la de elegir una muestra que contenga la máxima diversidad posible para maximizar la probabilidad de adaptación al entorno y minimizar los problemas de depresión consanguínea. En programas “in situ” esta tarea se debe realizar normalmente en base a la información molecular que se posea de cada una y a los registros históricos sobre la evolución de cada núcleo.

2.1.2. Fragmentación del hábitat: manchas, islas y metapoblaciones

Como se indicó anteriormente, cuando una población se haya subdividida es conveniente favorecer el flujo génico entre los diferentes grupos para evitar el incremento en consanguinidad. Los criterios (ecológicos y genéticos) y fuentes de información para determinar el esquema concreto de movimientos son básicamente los mismos que en el apartado anterior, con la diferencia de que la migración es un proceso que se debe repetir con regularidad, mientras que la reintroducción es un proceso puntual. La continuidad en el tiempo hace que los factores económicos y logísticos limiten el número de individuos que se pueden mover por generación. De cualquier manera, se ha demostrado que flujos migratorios relativamente pequeños (del orden de un migrante por generación y subpoblación) son suficientes para mantener los niveles de consanguinidad en valores aceptables y, a la vez, mantener la suficiente diferenciación entre grupos para que no se pierdan las posibles adaptaciones locales (para un estudio más exhaustivo, véase Wang, 2004). Cuando se tiene alguna información sobre las relaciones entre y dentro de subpoblaciones, la tasa de migración y el esquema de flujo se pueden optimizar como se explicará en próximos apartados.

La dispersión entre poblaciones también puede favorecerse mediante el diseño de corredores ecológicos, que son franjas lineales de hábitat que conectan parches entre sí. Los corredores pueden aumentar la tasa de dispersión de algunas especies, pero también pueden actuar como barreras para otras e incluso servir como vectores de dispersión de elementos patógenos.

Siguiendo con el anterior ejemplo del lince ibérico, utilizando modelos determinísticos de simulación de metapoblaciones con procedimientos estocásticos, Gaona *et al.*, (1998) muestran que la desaparición de poblaciones de la metapoblación de Doñana se ha debido a la ausencia de reproductores machos, más que por disminución de la fertilidad por los efectos de la consanguinidad. De tal forma que la mejor estrategia para luchar contra la desaparición de este felino es la restauración del hábitat, la lucha contra la muerte de los reproductores adultos y la mejora del movimiento de machos jóvenes entre las diferentes poblaciones.

El efecto barrera de una carretera o ferrocarril es el resultado de una combinación de impedimentos físicos, mortalidad y de efectos disuasivos. Para cada especie, el número de cruces con éxito es solamente una fracción de los intentos de superar la barrera. Algunas de las especies quizás no sufrirán el efecto barrera físico ni el etológico (disuasivo), mientras que otras, en cambio, evitarán incluso las zonas cercanas a la vía. El efecto barrera es función de la intensidad de tráfico, la anchura de la carretera, las características de los márgenes de la vía, el comportamiento del animal y su sensibilidad ante las perturbaciones de su hábitat.

Para evitar esta extinción, en la actualidad se están llevando a cabo investigaciones para detectar las principales barreras de hábitat (y sus contrarios, los corredores o conexiones entre parches aparentemente aislados), que originan (o reducen) esta fragmentación (Rodríguez, 2004), así como el intercambio de animales entre ambas metapoblaciones (Palomares, et. al., 2000).

Entre las propuestas que se están barajando actualmente (figuras 4 y 5), tenemos la creación de corredores ecológicos (pe. la recuperación de riberas como la del Guadimar) y permeabilización de infraestructuras lineales (carreteras, autopistas, vías férreas) mediante pasos específicos de fauna (generalmente en autopistas y líneas de tren de alta velocidad, dado que al presentar una valla perimetral a ambos lados son barreras físicas muy difíciles de superar por la fauna).

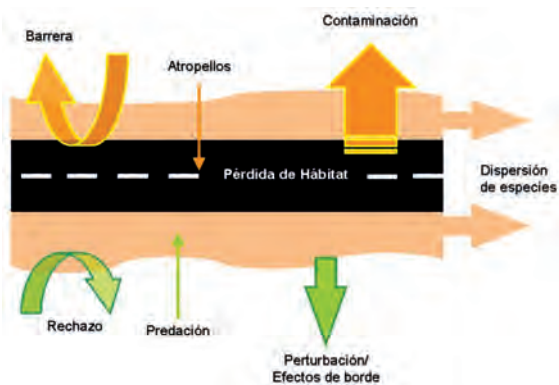


Figura 4. Principales efectos de las vías de comunicación en los espacios naturales para la conservación de las especies salvajes.



Fotografía de satélite del parque de Montoro-Cardeña donde se observa la fragmentación ocasionada por las carreteras y las explotaciones agrícolas.

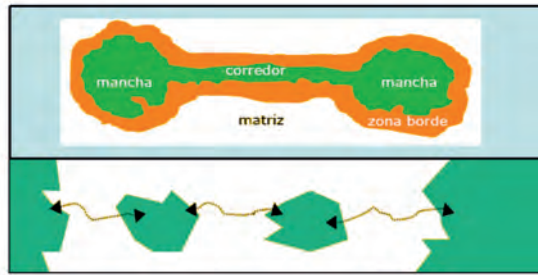


Figura 5. Estructura esquematizada de un corredor lineal que conecta las manchas de una metapoblación.



Corredor verde sobre una infraestructura de transportes para evitar la fragmentación de los hábitats.

2.2. Programas “ex situ”

Cuando la situación de la población lo aconseja, se pueden establecer núcleos en condiciones de cautividad o semi-cautividad como complemento de la población en su hábitat o como único reducto para evitar la extinción total. La ventaja de estos programas es que se puede ejercer un control más estricto sobre la dinámica de la población con un coste relativamente menor que el de los programas “in situ”. Así siguiendo con nuestro ejemplo, recientemente (2005) se ha conseguido la cría en cautividad del lince, lo que va permitir un cambio de tendencia en la evolución de esta especie.

La desventaja que presenta esta alternativa es que el ambiente en el que se desarrolla la población es muy diferente al de su hábitat natural y las presiones selectivas en contra de ciertos caracteres o comportamientos pueden verse relajadas o incluso invertidas. Por ejemplo: en condiciones de cautividad los individuos pueden recibir asistencia en el nacimiento de los hijos o en su alimentación que no recibirían en condiciones naturales. Es por ello que las estrategias de manejo de poblaciones en cautividad tengan que añadir a los objetivos generales del mantenimiento de la variabilidad genética y la lucha contra la consanguinidad, el objetivo de reducir al máximo la adaptación a la cautividad.

De la misma forma que los modelos de metapoblaciones pueden ayudar a la toma de decisiones en los programas de conservación *in situ*, pueden hacer lo mismo en el caso de las acciones de conservación *ex situ*. Así, puede ser de utilidad a la hora, por ejemplo, de seleccionar la localización más propicia para la conservación de una especie determinada en las llamadas reservas naturales o el número de reservas a establecer. Así una importante decisión a tomar en este sentido es si conservar los animales que existen en una reserva única (con el máximo tamaño y N_e posible) o en varias reservas más pequeñas (con menor N_e). La decisión dependerá de los tamaños efectivos resultantes y el riesgo de desaparición de la población única en relación a la de las diferentes subpoblaciones (desastres ecológicos, enfermedades etc.). Por un lado varias reservas pequeñas pueden disminuir el riesgo de extinción si la tasa de dispersión entre núcleos es bastante alta y el grado de correlación espacial de las localidades bajo (nivel de similitud en las fluctuaciones de diferentes subpoblaciones). Si las localidades están muy correlacionadas las fluctuaciones ambientales afectarán por igual a todas las poblaciones favoreciendo la extinción de la especie. Comparada con una población grande cada una de las localidades más pequeñas es más vulnerable a la “estocasticidad” ambiental. En cambio, la existencia de una única población incrementa enormemente el riesgo de desaparición por enfermedades infectocontagiosas y desastres ecológicos (pe. un incendio). El uso de modelos de metapoblaciones permite encontrar una solución óptima en casos concretos y evaluar diferentes opciones en el diseño de reservas naturales.

En estas condiciones el gestor de un programa de conservación puede actuar a dos niveles: (i) decidir qué individuos actuarán como reproductores de la siguiente generación y (ii) determinar el esquema de apareamiento de estos parentales.

Como hemos visto anteriormente la pérdida de variabilidad genética en poblaciones pequeñas es fundamentalmente debida a la deriva, ya que la mayoría de las variantes alélicas se comportarán como neutras y la selección natural sólo podrá actuar efectivamente contra las de efecto muy grande. También sabemos que los efectos de la deriva son proporcionales al censo (efectivo) de la población. Por ello una forma lógica de actuación es buscar las estrategias que maximizan el censo efectivo de la población.

De forma general, la base de todo programa de conservación está en:

- a) Maximizar el tamaño efectivo de población o número efectivo de reproductores (N_e), para asegurar que tantos animales como sea posible contribuyan con descendientes a la siguiente generación, para así garantizar que el incremento de la consanguinidad por generación sea mínimo. Podríamos entonces, llevar a cabo tres estrategias teóricas: 1) igualar la relación (ratio) de sexo, a la hora de su contribución a la próxima generación, evitando las fluctuaciones en el tamaño de población, procurando que el mayor número de familias contribuyan con descendientes, siendo lo ideal que cada macho (semental) contribuyera con un descendiente macho y cada hembra (vientre) con un descendiente hembra a la próxima generación; 2) estandarizar el tamaño de familia, minimizando su varianza (σ_k^2) y 3) incrementar el intervalo generacional, alargando para ello, la vida reproductiva de los reproductores.

- b) La búsqueda del mínimo grado de parentesco medio en cada generación, maximizando el número de genomas equivalentes, es decir minimizando la varianza de la contribución de todas las generaciones anteriores a la actual.

2.2.1. Elección de los fundadores

Unos de los aspectos más importantes al iniciar un programa de preservación, bien a través de la criopreservación o del establecimiento de un programa de preservación *in vivo*, es la selección de los animales para la formación del banco de germoplasma y de la 1ª generación de animales respectivamente.

Existe consenso en que estos deben mantener la máxima variabilidad genética posible. Esta variabilidad puede medirse mediante la diversidad alélica (número de alelos existentes en esa población para cada locus), la heterocigosidad observada (proporción de individuos heterocigotos), o la heterocigosidad esperada (bajo equilibrio Hardy-Weinberg, Nei 1973). Para Caballero y Toro (2000) este último debe ser el criterio de elección en los programas de conservación.

La heterocigosidad esperada puede estimarse a partir de la información genealógica o a través de los marcadores genéticos, si bien es necesario mantener determinados caracteres exterioristas (por ejemplo tipo encornadura, color de capa, particularidades de esta, etc..) en los programas de conservación (por ejemplo como diferenciación con otras razas).

Otra información interesante a la hora de seleccionar los fundadores es la estructura poblacional de la población, como número de núcleos (o ganaderías en el caso de especies domésticas), especialmente si algunas se han mantenido aisladas (hay que asegurarse que haya animales fundadores de cada núcleo).

2.2.1.1. Información del pedigrí

Si existe información genealógica disponible, aunque no sea exhaustiva o contenga cierto nivel de errores, debe utilizarse para estimar el coeficiente de parentesco (reflejo de la homocigosidad esperada en la descendencia), seleccionándose como fundadores aquellos animales que minimicen el parentesco medio del grupo (Toro y Maki-Tanila, 1999). Ésto permite, por un lado, maximizar la heterocigosidad de la descendencia y minimizar el número de animales con iguales antecesores (Toro y Maki-Tanila, 1999) y, por otro, restringir al máximo el incremento de la consanguinidad (Toro y Pérez-Enciso, 1990).

Un análisis alternativo, más complejo, consiste en la técnica de Maccluer *et al.*, (1986) o la modificación de Suwanlee *et al.*, (2005), basados en el estudio de la eliminación de alelos obtenida simulando el genotipo de los descendientes hipotéticos de los candidatos a donantes bajo una segregación mendeliana (metología del gene dropping). Este proceso se repite iterativamente hasta conseguir la distribución conjunta de la probabilidad de “supervivencia” de los alelos presentes en los fundadores (Gandinni *et al*, 1994).

2.2.1.2. Información de marcadores genéticos

En la mayoría de los casos no se cuenta con un pedigrí suficientemente profundo, o correcto para ser utilizado en la selección de los fundadores. En este caso se pueden estimar este parentesco medio a través de la información de los marcadores moleculares. Para ello es necesaria la utilización de marcadores moleculares preferiblemente codominantes, como son los microsatélites.

En este sentido, se considera que los marcadores con alelos con frecuencias intermedias son más informativos. No obstante, el error de estimación puede ser elevado, salvo que se utilice un número muy elevado de marcadores (incluso superior a 30). Cuando esto no es posible (y en la mayoría de los casos así ocurre) es recomendable la utilización de ambas fuentes de información (pedigrí y marcadores), por ejemplo utilizando los marcadores para determinar el parentesco probable entre individuos (pe. hermanos, etc..) con la finalidad de completar el pedigrí.

Cuando contamos con ambas fuentes de información, una buena vía para combinarlos es calcular el coeficiente de parentesco condicional a la información molecular y minimizar la coascendencia mediante simulación computacional utilizando metodologías MCMC (cadenas de Markov y métodos Monte Carlo; ver, por ejemplo, Toro *et al.*, 1999). Otra alternativa más simple consiste en minimizar el parentesco calculado a partir de los marcadores, pero dentro del marco de la selección intrafamiliar.

En la actualidad es tal la utilidad de los marcadores moleculares en la conservación de las especies salvajes y razas domésticas, que se puede hablar de Conservación Asistida por Marcadores (MAC) en analogía a la Selección Asistida por Marcadores (MAS).

Cuando la predicción de N_e tiene en cuenta múltiples generaciones, la maximización de N_e se vuelve equivalente a la maximización de la diversidad genética. No obstante, cuando existe información disponible de pedigrí, el método más efectivo es minimizar el parentesco medio del grupo. Cuando también hay disponible información de marcadores moleculares esta información puede ser incorporada para la estimación de la verdadera relación de parentesco (Caballero y Toro, 2000).

Esta utilización de los marcadores genéticos ha sido esencial en las especies salvajes (y en bastantes razas domésticas) para el establecimiento de estrategias de conservación, de tal forma que según Chevalet (1992) puede hablar de una Marker Assisted Conservation (MAC, Conservación Asistida por Marcadores) en analogía a la Marker Assisted Selection (MAS Selección Asistida por Marcadores).

2.2.2. Sistemas jerárquicos regulares

En una situación simple en la que el número de machos y hembras fuera igual y las relaciones entre individuos fueran similares, el sistema de manejo óptimo sería el de obtener un macho de cada macho y una hembra de cada hembra. Bajo este sistema de igualación de las contribuciones todos los individuos tienen la misma probabilidad de transmitir su información genética y, de acuerdo a las fórmulas anteriormente presentadas

$$N_e \cong \frac{4N - 2}{\sigma_k^2 + 2} \cong 2N - 1 \quad \text{por lo que} \quad \Delta F \cong \frac{1}{4N}$$

el censo efectivo de la población sería aproximadamente el doble del número de animales reales mantenidos, reduciendo correspondientemente la pérdida de variabilidad genética y el aumento de consanguinidad. Este sería el caso de especies con partos múltiples o con alto número de progenie, donde se aparean un macho y una hembra y se mantiene el número total de la población constante.

Pero normalmente las poblaciones con las que se trabaja en mejora o conservación presentan proporciones de sexos desequilibradas (diferentes de 1:1). Habitualmente, por cuestiones etológicas y de manejo se dispone de un número menor de machos que de hembras. Para el mismo número total de individuos, el desequilibrio entre sexos acarrea una disminución del censo efectivo, como se puede ver en la siguiente expresión.

$$N_e \cong \frac{16N_m N_f}{3N_m + N_f} \quad \text{por lo que} \quad \Delta F \cong \left[\frac{3}{32N_m} + \frac{1}{32N_f} \right]$$

En este sentido, una vía de incrementar el número efectivo es el de disminuir el desequilibrio entre machos y hembras, incrementando el número de los primeros (los menos numerosos). Esta última acción tiene un coste económico y demográfico difícilmente asumible (el incremento del número de machos determina un coste extra en alimentación o una disminución paralela en el número de hembras capaces de desarrollarse con los recursos disponibles).

En la tabla 2 se puede observar el incremento de consanguinidad que determinarían varios tamaños efectivos obtenidos si se siguen diferentes estrategias para la elección de los reproductores en las cuatro vías clásicas (padre-hijo, padre-hija, madre-hijo y madre-hija). La solución nº 3 (escoger las crías para cada reproductor) es irrealista en la gran mayoría de los casos (podría ser factible en especies con gran rendimiento reproductivo, (p.e. alta prolificidad). La estrategia nº 2 podría ser como indica Rochambeau *et al.*, (2000) un buen compromiso.

Tabla 2. Tamaño efectivo resultante de diferentes estrategias para la elección de la reposición por diferentes vías padres-hijos.

Número de padres		Tamaño Efectivo			Coeficiente de consanguinidad (%) después de 10 generaciones		
Nm	Nf	Solución			Solución		
		1	2	3	1	2	3
18	500	31	42	63	15	11	8
16	500	62	82	124	8	6	4
32	500	120	157	241	4	3	2
18	250	31	41	62	15	12	8
18	1000	32	42	63	15	11	8

Adaptado de Rochambeau *et al.* (2000).

Solución 1: Selección aleatoria en cada vía; Solución 2: Cada padre tiene una y sólo un hijo, las otras 3 vías escogidas al azar; Solución 3: El número de crías está fijado completamente).

Esta tabla también hace hincapié en las consecuencias de un incremento en el número de reproductores y el cociente sexual de ambos en la población.

Para el caso en el que la precariedad de la población recomiende un control exhaustivo (caso 3 de la Tabla), se han desarrollado sistemas en los que se aparea cada macho con un número fijo de hembras (d) y las contribuciones de cada pareja se determinan de modo que se minimice el conjunto de varianzas y covarianzas en las cuatro vías de transmisión (padre-hijo, padre-hija, madre-hijo, madre-hija) para maximizar el censo efectivo (Gowe *et al.*, 1959; Wang, 1997; Sánchez-Rodríguez *et al.*, 2003). Bajo el más reciente de los diseños se puede demostrar que la tasa asintótica de consanguinidad mantenida ($4/3[1+2(1/4)^d]/16M$, siendo M el número de machos) es la menor posible con apareamiento aleatorio. Cuando el cociente sexual es muy desequilibrado, (d muy grande) el censo efectivo llega a ser de $6M$.

El problema de estos sistemas es que son poco robustos frente a desviaciones de las condiciones para las que fueron diseñados (Fernández *et al.*, 2003a). Por ejemplo, no tiene en cuenta el nivel de parentesco de los individuos que constituyen la población de partida. Tampoco contempla la posibilidad de “fallos” aleatorios (apareamientos fallidos, número de hijos por pareja menor del deseado, etc) dando resultados subóptimos. Además, la rigidez del sistema lo hace inviable para el manejo de poblaciones en las que el número de hembras por macho no es un número entero o aquellas en las que se produce una fluctuación del censo (por ejemplo, en el periodo de crecimiento en el que hay que generar un número mayor de descendientes que de parentales).

2.2.3. Contribuciones de mínimo parentesco

Otra línea argumental fue propuesta en el campo de la genética de la conservación por Ballou y Lacy (1995). La idea de partida es que el parentesco entre dos individuos es

una medida de la proporción de información genética que comparten. Por ello la información que porta un grupo de parientes cercanos es redundante y la mayor cantidad de variabilidad genética la observaríamos en poblaciones donde el parentesco promedio fuera mínimo. Así se ha podido demostrar teóricamente (mediante simulación) y experimentalmente que la mejor estrategia en programas de conservación es determinar las contribuciones de cada parental a la siguiente generación de manera que se minimice el parentesco promedio global ponderado por dichas contribuciones (Frankham *et al.*, 2002). La función objetivo a minimizar es la siguiente:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_i c_j f_{ij}$$

donde c_i es el número óptimo de hijos que debe contribuir el individuo i y f_{ij} es el parentesco entre los individuos i y j .

De esta manera los individuos muy relacionados con el resto de la población estarán penalizados, mientras que aquellos individuos poco relacionados (que se supone portarán informaciones genéticas poco representadas en la población) serán favorecidos dejando más descendientes. Esta formulación permite incluir cualquier tipo de restricción de tipo fisiológico o de manejo y, por tanto, puede aplicarse en situaciones no regulares que los métodos anteriores no podían abordar.

Caballero y Toro (2000) caracterizaron las propiedades del sistema de contribuciones de mínimo parentesco demostrando que, dada la relación inversa entre parentesco y diversidad génica ($DG = 1 - f$), esta estrategia maximiza la cantidad de diversidad génica mantenida. Cuando se parte de poblaciones con individuos no relacionados las soluciones que se obtienen son las mismas que las que proporcionan los métodos basados en igualación de las contribuciones. Sin embargo, cuando las poblaciones de partida presentan relaciones de parentesco diferenciales, esta metodología es capaz de tenerlo en cuenta igualando las contribuciones históricas de todos los ancestros. Este efecto es en parte reflejo de la relación inversa que existe entre el parentesco y el número de genomas fundadores equivalentes (N_{ge}). Por definición de diversidad genética, el método más deseado de la elección de los padres o de los reproductores es la búsqueda del mínimo grado de parentesco medio en cada generación, maximizando el número de genomas equivalentes, es decir minimizando la varianza de la contribución de todas las generaciones anteriores a la actual e incrementando el tamaño efectivo de la población. Así, y con bastante probabilidad, una estrategia que utilice toda la información suministrada por los pedigríes puede preservar la variabilidad genética en una determinada población con más garantías que una estrategia basada en la maximización de N_e pero que ignora los antecesores de cada individuo (Caballero y Toro, 2000).

Recordando que la consanguinidad de los hijos es el parentesco de los padres, es fácil comprender que la estrategia de minimizar el parentesco también sea efectiva en el control de la consanguinidad. Es más, Fernández *et al.*, (2004) demostraron que este método de manejo también mantiene niveles máximos de diversidad alélica debido a su tendencia a igualar las frecuencias de todos los alelos de un *locus*.

Algunos autores han propuesto otros criterios de manejo basados en parámetros tales como la probabilidad de poseer alelos únicos (Ballou y Lacy, 1995). Este concepto está en cierta manera recogido en la definición de parentesco promedio y es más difícil de calcular que el coeficiente de parentesco, por lo que no parece una alternativa válida. Si conocemos el genotipo para un locus concreto con una importancia específica sí estaría justificado el favorecer la reproducción de individuos que llevan alelos raros para ese locus.

2.2.4. Esquemas de apareamiento

Desde el punto de vista de la diversidad genética mantenida, el esquema de apareamiento que se lleve a cabo en un programa en conservación no tiene *a priori* influencia (la probabilidad de transmitir tu información genética depende del número de hijos que dejes, no de con quién los tengas). Pero sí que puede tener una gran influencia sobre la consanguinidad que se genere. La consanguinidad aparece en una población vía el apareamiento de parientes. Es por ello que todos los métodos clásicos propuestos (Maximum Avoidance of Inbreeding, apareamiento circular; Frankham *et al.*, 2002) tienen como idea subyacente la de evitar el apareamiento entre individuos relacionados. Un método muy intuitivo y llevado a la práctica en muchos programas es el de evitar el apareamiento entre individuos que compartan un abuelo, un bisabuelo, etc. Una forma más sistemática de actuar es minimizar el parentesco promedio de las parejas que se deben formar utilizando una función objetivo que minimice la siguiente generación:

$$\sum_{i=1}^{N_m} \sum_{j=N_m+1}^N x_{ij} f_{ij}$$

donde x_{ij} es una variable que toma el valor 1 si el apareamiento entre el macho i y la hembra j se debe realizar y 0 en caso contrario.

Un tercer enfoque es el propuesto por Caballero *et al.*, (1996). Su método, denominado apareamiento compensatorio, consiste en ordenar machos y hembras por separado de acuerdo a su parentesco promedio con el resto de la población, apareando el macho más emparentado con la hembra menos emparentada y así sucesivamente.

De cualquier manera, se ha demostrado que, una vez que las contribuciones se han optimizado, el margen de mejora es reducido y que las estrategias propuestas producen resultados muy similares, aunque con una ligera ventaja del método de apareamiento de mínimo parentesco.

2.2.5. Gestión de metapoblaciones

El reducido censo de cada uno de los grupos en una población fragmentada exige la implementación de algún esquema de migración para evitar los problemas que conlleva el incremento de la consanguinidad. A pesar de que la migración actúa como fuerza homogeneizadora entre poblaciones, es la mayoría de las veces nuestro mejor aliado a la hora de recuperar una raza doméstica o una especie salvaje. Como hemos visto las poblaciones en peligro de extinción suelen estar constituidas por subpoblaciones muy pequeñas y aisladas, en las que el efecto de la migración de un número muy escaso de

animales determina un gran incremento del N_e global de la población. Así, en los estudios del flujo genético entre poblaciones se ha definido el término Nem como el tamaño efectivo multiplicado por la tasa de migración

A partir de los estudios clásicos sobre el efecto de la migración se estableció la regla de Un Migrante Por Generación (OMPG en inglés), que indica que el hecho de mover un solo individuo de cada subpoblación en cada generación a otra subpoblación al azar (lo que se conoce como modelo isla) es suficiente para mantener niveles aceptables de consanguinidad en cada grupo, a la vez que se mantiene una diferenciación adecuada entre los mismos (Mills y Allendorf, 1996). Además de los problemas generados por las desviaciones del modelo en la vida real, que hacen diferente el censo poblacional del censo efectivo y pueden requerir más o menos de un migrante por generación para mantener el equilibrio diferenciación-consanguinidad (Wang 2004), una debilidad de este método es que asume una tasa de migración constante y movimientos de individuos entre poblaciones aleatorios, sin tener en cuenta la estructura genética de la población.

Sin embargo, se puede desarrollar una estrategia dinámica (Fernández *et al.*, 2007). Si partimos de la formulación óptima para mantener diversidad en una población única (contribuciones de mínimo parentesco global), podemos separar la contribución de cada individuo en las contribuciones particulares de ese individuo a todas las subpoblaciones. Reorganizando podemos llegar a la siguiente función objetivo a minimizar:

$$\sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^N \sum_{\mu=1}^N f_{ij} c_{ik} c_{jl} + \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^N f_{ij} c_{ik} c_{jk}$$

donde c_{ik} es el número de hijos del individuo i que se llevarán a la población k , n es el número de subpoblaciones y N el número total de individuos.

El primer término de la expresión corresponde a la diversidad esperada entre poblaciones, mientras que el segundo término está relacionado con la diversidad intrapoblacional y, consecuentemente, con la consanguinidad de cada grupo. Dependiendo de cuál es la prioridad en nuestro programa (diferenciación o control de la consanguinidad) se puede dar un peso diferente a cada término y el sistema es capaz de mover el equilibrio en la dirección adecuada, todo ello sin olvidar el objetivo principal de mantener la diversidad genética global. La estrategia tiene en cuenta la estructura de la población y es capaz de detectar cualquier desequilibrio favoreciendo determinados flujos y evitando otros. Además, esta formulación permite controlar el número real de migrantes que se realiza cada generación (sobre todo cuando es un factor limitante por problemas económicos o prácticos).

2.3. Técnicas reproductivas: Inseminación Artificial y Núcleos MOET

En apartados anteriores señalá-bamos que los condicionantes fisiológicos y de comportamiento característicos de la especie podían limitar los esquemas de gestión aplicables en un programa de conservación. El desarrollo de técnicas reproductivas permite romper esas barreras y, usadas adecuadamente, pueden suponer una herramienta útil en conservación.

Las dos técnicas más importantes son la Inseminación Artificial y la Ovulación Múltiple y Transferencia de Embriones (MOET en sus siglas inglesas). Básicamente lo que permiten ambas técnicas es un uso más exhaustivo de los animales, especialmente de las hembras que no tienen que estar sometidas a las limitaciones de un periodo de gestación más o menos largo antes de poder participar otra vez como reproductoras. La utilización del semen también puede jugar un papel esencial para eliminar las barreras sanitarias que fragmentan las subpoblaciones de muchas de las razas en peligro de extinción. Esta característica es a la vez su potencialidad y su peligro, porque el uso desproporcionado de un individuo puede llevar a una pérdida de variabilidad y al aumento de la consanguinidad. Sin embargo, su implementación controlada permite que se amplíe el espacio de soluciones factibles (por ejemplo, permitiendo diseños de apareamiento factoriales que serían imposibles con monta natural) y, por tanto, los programas de conservación puedan ser más efectivos (Meuwissen, 2007). Ambas técnicas serán descritas en profundidad en otros capítulos de esta obra.

MEDIDAS PARA MINIMIZAR LA PÉRDIDA DE VARIABILIDAD EN LAS POBLACIONES DE CENSO MUY REDUCIDO

- Introducir animales no emparentados
- Diseñar apareamientos que minimicen el parentesco:
 - Sistemas rotatorios de apareamientos
 - Sistema de apareamiento dirigido con algoritmos de cálculo de la contribución
 - Apareamiento compensatorio
- Disminuir las variaciones ambientales y optimizar el medio.
- Establecer varios núcleos de tamaño adecuado y favorecer el flujo genético.
- Introducción de otras razas emparentadas y posterior reabsorción.
- Si hay germoplasma utilizarlo.
- Obtención de embriones y utilización de otras razas para la absorción.

3. GESTIÓN DE POBLACIONES PEQUEÑAS: DESARROLLO DE NUEVAS ESTRATEGIAS PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS ANIMALES

El principal objetivo que se persigue en un programa de conservación de animales vivos es el mantenimiento de la máxima cantidad de diversidad genética con el mínimo incremento posible de consanguinidad por generación. Por lo tanto, desde el punto de vista genético los métodos de conservación genética presenta como objetivo global el mantenimiento de la variabilidad genética mediante la retención máxima de la variabilidad de la población fundadora (evitando los cuellos de botella), manteniendo el tamaño efectivo, optimizando el sistema de apareamientos y favoreciendo el flujo genético evi-

El principal objetivo que se persigue en un programa de conservación de animales vivos es el **mantenimiento de la máxima cantidad de diversidad genética** (mediante la retención máxima de la variabilidad de la población fundadora y evitando los cuellos de botella) con el **mínimo incremento posible de consanguinidad por generación** (manteniendo el tamaño efectivo, optimizando el sistema de apareamientos y favoreciendo el flujo genético evitando el aislamiento en núcleos de tamaño inviable).

tando el aislamiento en núcleos de tamaño inviable. Pero si queremos que la población sea capaz de desenvolverse a largo plazo, es necesario, fuera de acciones más o menos circunstanciales de preservación, que cesen las circunstancias que la han llevado a la situación actual (cambios en la demanda de alimentos y transformación de la cadena productiva, abandono de determinadas prácticas ganaderas, abandono de los hábitat tradicionales, presión del mercado etc.). Esto es generalmente muy complicado (habitualmente imposible), por lo que es necesario un cambio en la orientación de su explotación que genere un incremento de la competitividad de su explotación (elaboración de productos genuinos de alta calidad con un valor añadido ligado a la agricultura ecológica, los sistemas de producción tradicionales ...).

Esto exige compatibilizar el mantenimiento de la variabilidad genética con la selección genética hacia los nuevos objetivos de mejora.

3.1. Conservación asociada a programas de mejora genética

Dentro de las razones que existen para establecer un programa de conservación pueden encontrarse casos en los que la población concreta presente una expresión específica para algún carácter. Se englobarían aquí aquellas razas asociadas a productos alimenticios de calidad debido a sus características especiales, o aquellas razas con una demostrada resistencia genética para un patógeno habitual en la zona de explotación (pe. la raza ovina Churra Lebrijana resiste al pedero frecuente en las razas explotadas en el entorno de las marismas). En estas situaciones la pervivencia de la población está supeditada a que el carácter siga manteniéndose o que aumente su expresión. La gestión que realicemos tiene que buscar ahora un equilibrio entre la mejora para el carácter y el mantenimiento de la diversidad genética. Incluso en programas de mejora clásicos se debe buscar este equilibrio porque la pérdida de variabilidad en los mismos puede llevar al fracaso debido a la falta de respuesta por falta de variabilidad y por los problemas de depresión consanguínea.

La supervivencia de muchas de nuestras razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción pasa por la potenciación de aquellas características asociadas a productos alimenticios de calidad que permitan una revalorización de su explotación. Pero para ello hay que hacer compatible su conservación y la mejora genética para estos nuevos objetivos de selección. Un ejemplo lo tenemos en la raza Merina de grazalema, que a pesar de estar en situación de riesgo ha iniciado un esquema de selección para el mantenimiento y mejora de las excelentes calidades queseras que presenta.

En estas circunstancias la mejor estrategia es maximizar una función objetivo compuesta con un término dependiente de los valores mejorantes de los individuos que actuarán como reproductores y otro término (con signo negativo) que no es otra cosa que el parentesco promedio global que se explicó anteriormente (ver, por ejemplo, Meuwissen, 1997, Grundy *et al.*, 1998, Fernández y Toro, 1999).

3.2. Mejora para eficacia o adaptación

Incluso cuando no existe un carácter de interés a mejorar/mantener en la población, parece lógico que, si tenemos alguna medida de eficacia biológica de los individuos de la población, los criterios de manejo deban incluir esta medida. Fernández y Caballero (2001) realizaron estudios preliminares mediante simulación por ordenador demostrando que se podía mantener niveles de variabilidad genética similares y viabilidades más altas si se incluía el carácter eficacia en el criterio de manejo. La idea es que si existen soluciones alternativas que mantienen el mismo nivel de variabilidad elegir aquellas en las que están involucrados individuos con valores más altos de eficacia.

3.3. Erradicación de enfermedades o defectos genéticos

Un caso especial lo constituyen las enfermedades determinadas genéticamente. Obviamente, cualquier gestor tiene que intentar eliminar de los individuos de su población el alelo (o alelos) deletéreo, realizando selección artificial. Una estrategia demasiado drástica en la que los individuos portadores de dichos alelos no se utilicen como reproductores, supone producir un cuello de botella severo, con la consiguiente reducción en diversidad genética que puede tener consecuencias mucho más deletéreas que la propia enfermedad en sí. En esta situación es especialmente útil la formulación del apartado anterior que busca el balance entre respuesta y diversidad, como demostraron Sonesson *et al.*, (2003). Esta misma estrategia se puede utilizar para la recuperación de aquellas razas de censo muy reducido en relación a características relacionadas con el patrón racial.

Un ejemplo patente de esta problemática lo supone la Encefalopatía Espongiforme ovina (conocida como “scrapie”). En el locus que codifica para la proteína priónica (PrP) se han descrito hasta cinco alelos (realmente haplotipos) que parecen conferir diferentes grados de resistencia a desarrollar la enfermedad, siendo el ARR el más resistente. Por lo que se han establecido programas de erradicación. Con diferentes grados de exigencia, todos los planes buscan eliminar de las poblaciones de ovejas todos los alelos excepto el ARR. Si directamente elimináramos a los individuos portadores de alelos no-ARR produciríamos una disminución drástica del censo de las poblaciones. En el caso de razas autóctonas en peligro, donde el censo es de por sí muy reducido, esta estrategia es especialmente contraindicada. Además, dependiendo de la raza, puede que las frecuencias del alelo resistente sean muy bajas, con lo que el número de individuos disponibles para continuar la población sea todavía mucho menor (Molina, *et al.*, 2006).

BIBLIOGRAFÍA

- Allendorf FW, Luikart G (2006): Conservation and the Genetics of Populations. Blackwell Publishing, Malden, MA.
- Ballou JD (1997): Ancestral inbreeding only minimally affects inbreeding depression in mammalian populations. *J Hered* 88:169–178.
- Ballou JD, Lacy RC (1995): Identifying genetically important individuals for management of genetic variation in pedigreed populations. In: *Population Management for Survival and Recovery*, pp. 76-111. (J. D. Ballou, M. Gilpin, T. J. Foose, Eds.). Columbia University Press, New York.
- Caballero A, Santiago E, Toro MA (1996): Systems of mating to reduce inbreeding in selected populations. *Animal Science*, 62: 431-442.
- Caballero A, Toro MA (2000): Interrelations between effective population size and other pedigree tools for the management of conserved populations. *Genet Res Camb* 75: 331- 343.
- Chevalet C (1992): Utilisation de marqueurs pour la sauvegarde de la variabilité génétique des populations, hors série « Éléments de génétique quantitative et applications aux populations animales », INRA Prod. Anim. pp. 295–297.
- England PR, Osler GH, Woodworth LM, Montgomery ME, Briscoe DA, Frankham R (2003): Effects of intense versus diffuse population bottlenecks on microsatellite genetic diversity and evolutionary potential. *Conser. Genet.* 4: 595–604.
- Falconer DS, Mackay TF (1996): *Introduction to quantitative genetics*. 4th edn. Longman, New York, 464 pp.
- Fernández J, Caballero A (2001): A comparison of management strategies for conservation with regard to population fitness. *Conservation Genetics* 2: 121-131.
- Fernández J, Toro MA (1999): The use of mathematical programming to control inbreeding in selection schemes. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 116: 447-466.
- Fernández J, Toro MA Caballero A (2007): Management of subdivided populations: development of a novel dynamic system. *Genetics (sometido)*.
- Fernández J, Toro MA, Caballero A (2003a): Fixed contributions designs versus minimization of global coancestry to control inbreeding in small populations. *Genetics* 165: 885-894.

- Fernández J, Toro MA, Caballero A (2004): Managing individuals' contributions to maximize the allelic diversity maintained in small, conserved populations. *Conservation Biology* 18: 1358-1367.
- Fernández N, Delibes M, Palomares F, Mladenoff J (2003b): Identifying breeding habitat for the Iberian lynx: inferences from a fine-scale spatial analysis. *Ecol. Appl.*, 13: 1310-1324.
- Ferreras P, Gaona P, Palomares F, Delibes M (2001): Restore habitat or reduce mortality? Implications from a population viability analysis of the Iberian lynx. *Anim. Conserv.*, 4: 265-274.
- Fontdevila A, Moya A (1999): *Introducción a la genética de poblaciones*. Editorial Síntesis, Madrid
- Frankel O, Soule M (1981): *Conservation and evolution*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Frankham R, Ballou JD, Briscoe DA (2002): *Introduction to Conservation Genetics*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Gandinni G, Leonarduzzi R, Bagnato A (1994): Allele survival in storage of gamete and embryos for conservation. *Proceeding of the World Congress on Genetics. Applied to Livestock Production, Guelph*, 397-400.
- Gaona P, Ferreras P, Delibes M (1998): Dynamics and Viability of a Metapopulation of the Endangered Iberian Lynx (*Lynx pardinus*). *Ecological Monographs*, 68(3): 349-370.
- Gowe R, Robertson A, Latter B (1959): Environment and poultry breeding problems. The desingn of poultry control strains. *Poult. Sci.* 38:462-471.
- Griffiths AJ, Gelbart WM, Miller JH, Lewontin RC (2002): *Genética Moderna*. 1ª Edición en español. McGraw-Hill/Interamericana.
- Grundy B, Villanueva B, Woolliams JA (1998): Dynamic selection procedures for constrained inbreeding and their consequences for pedigree development. *Genetical Research* 72:159-168.
- Gurrutxaga M (2004): *Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: Nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial*. Informe Técnico N.º 103. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco.
- Hanski I (1999): *Metapopulation ecology*. Oxford University Press, Oxford, UK.

- Hanski IA, Gilpin ME (1997): Metapopulation biology: ecology, genetics. Academic Press, San Diego.
- Johnson WE, Godoy JA, Palomares F, Delibes M, Fernandes M, Revilla E, O'Brien SJ (2004): Phylogenetic and phylogeographic analysis of Iberian lynx populations. *J. Hered.*, 95: 19-28.
- Levins R (1969): Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the Entomological Society of America* 15: 237-240.?
- Luque A (2003): Plan de recuperación y mejora de la raza bovina Pajuna: análisis poblacional, caracterización del sistema productivo y de sus objetivos de selección. Tesis Doctoral de la Universidad de Córdoba.
- Maccluer J, Vandeberg J, Read B, Ryder O (1986): Pedigree analysis by computer simulation. *Zoo Biology* 5: 147-160.
- Meuwissen TH (1997): Maximizing the response of selection with a predefined rate of inbreeding. *J. Anim. Sci.* 75: 934-940.
- Meuwissen TH (2007): Operation of conservation schemes. Pp. 167-193 en Utilization and conservation of faro animal genetic resources, K. Oldenbroek (ed). Wageningen Academic Publishers, The Netherlands
- Mills LS, Allendorf FW (1996): The one-migrant-per-generation rule in conservation and management. *Conservation Biology* 10: 1509-1518.
- Molina A, Juárez M, Rodero A (2006): Merino Sheep Breed's Genetic Resistance to Scrapie: Genetic Structure and Comparison of Five Eradication Strategies. *Preventive Veterinary Medicine* . 75 (3-4): 239-250.
- Molina A, Luque A, Valera M, Azor JP, Rodero E, Goyache F (2003): Socioeconomic aspects of the Andalusian mountainous areas bovine of the Pajuna breed. Symposium on Animal Production in the Mediterranean Mountain Areas. EAAP. Grecia.
- Molina A, Luque A, Valera M, Azor PJ, Crespo MC, Gómez MD (2004): Repercusión de los condicionantes sanitarios al movimiento pecuario sobre la supervivencia de las razas en peligro de extinción: simulación en la raza bovina Pajuna. 2ª Reunião da Sociedade Portuguesa de Recursos Genéticos Animais IV Congresso Ibérico sobre Recursos Genéticos Animais. Portugal.
- Murcia C (1995): Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. *Trends in Ecology and Evolution* 10: 58-62.
- Nei M (1973): Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceeding of the National Academy of Sciences, USA* 70: 3321-3323.

- Opdam P (1991): Metapopulation theory and habitat fragmentation: a review of holarctic breeding bird studies. *Landscape Ecology* 5: 93-106.
- Palomares F, Delibes M, Ferreras P, Aldama J, Revilla E, Calzada J, Fernández N (2003): Estructura de la metapoblación de linces de Doñana. Pp. 505-526. En: Pérez, J.M. (Ed.). In Memoriam al Prof. Dr. Isidoro Ruiz Martínez. Universidad de Jaén. Jaén.
- Palomares F, Delibes M, Ferreras P, Fedriani JM, Calzada J, Revilla E (2000): Iberian Lynx in a fragmented landscape: predispersal, dispersal, and postdispersal habitats. *Conservation Biology* 14: 809-818.
- Pulliam HR (1988): Sources, sinks, and population regulation. *The American Naturalist* 132: 652-661.
- Rochambeau H, Fournet-Hanocq F, Vu Tien Khang J (2000): Measuring and managing genetic variability in small populations. *Ann. Zootech.* 49:77-93.
- Rodríguez A (2004): Lince ibérico - *Lynx pardinus*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Carrascal, L. M., Salvador, A. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid.
- Rodríguez A, Delibes M (2004): Patterns and causes of non-natural mortality in the Iberian lynx during a 40 year period of range contraction. *Biol. Conserv.*, 118: 151-161.
- Sánchez-Rodríguez L, Bijma P, Woolliams JA (2003): Minimizing inbreeding by managing genetic contributions across generations. *Genetics* 164: 1589-1595.
- Sonesson AK, Janss LL, Meuwissen TH (2003): Selection against genetic defects in conservation schemes while controlling inbreeding. *Genetics Selection Evolution* 35: 353-368.
- Suwanlee S, Baumung R, Sölkner J, Curik I (2005): Evaluation of ancestral inbreeding coefficient: Ballou's formula versus gene dropping. Book of abstracts of the Second Congress of Croatian Geneticists. September 24-27, Bra?, Croatia, pp. 79.
- Suwanlee S, Curik I, Sölkner J, Baumung R (2006): Selection criteria to purge deleterious alleles. 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, 13-18.8.2006, Belo Horizonte, Brazil.
- Templeton AR, Read B (1984): Factors eliminating inbreeding depression in a captive herd of Speke's gazelle (*Gazelle spekei*). *Zoo Biology*, 3: 177-199.
- Toro M, Silio L, Rodriganes J, Rodriguez C, Fernandez J (1999): Optimal use of genetic markers in conservation programmes. *Genetics, Selection and Evolution* 31:255-261.

- Toro MA, Maki-Tanila (1999): Establishing a conservation schema. In: Oldenbrock (ed), 1999.
- Toro MA, Pérez-Enciso M (1990): Optimisation of selection response under restricted inbreeding. *Genetics, Selection and Evolution* 22: 93-107.
- Valera M, Luque A, Molina A, Azor PJ (2003): Diversidad genética de las subpoblaciones de ganado bovino Pajuno. VIII Jornadas Científicas de Veterinaria Militar. Madrid.

CAPÍTULO 5

TÉCNICAS REPRODUCTIVAS BÁSICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE RAZAS

Inmaculada Rodríguez Artiles

Dep. Medicina y Cirugía Animal, Campus Rabanales C6-1-N5, 14071 Córdoba

1. INTRODUCCIÓN

La medicina veterinaria y, en concreto, la reproducción animal dispone hoy en día de varias técnicas que pueden ser utilizadas con el fin de conservar razas que se encuentren en peligro de extinción o que por sus características tienen interés cultural o biológico. Entre ellas, destacamos la inseminación artificial (IA), la transferencia de embriones (TE) y las técnicas de fecundación “in vitro” (FIV) con sus diferentes modalidades. Por su difusión y extensión en todas las razas la IA es una técnica reproductiva básica que, entre otras indicaciones y, según de que especie se trate, facilita la reproducción y acorta los tiempos de selección y mejora genética. La posibilidad de conseguir que una hembra quede gestante, sin la intervención directa del macho, ha favorecido el desarrollo de los métodos de conservación de esperma y de las técnicas de control de la actividad ovárica, entre otros.

Hoy en día, es posible conservar el esperma con capacidad viable durante varias horas, hasta días, en todas las especies animales y esto, junto con la disponibilidad de transporte rápido, hace que se puedan inseminar hembras localizadas en zonas distantes de los machos. Asimismo, con la posibilidad actual de crear bancos de esperma congelado, podemos preservar en el tiempo el material genético para utilizarlo en condiciones “in vivo”, mediante inseminación artificial de hembras en celo sincronizado o natural, o “in vitro” mediante técnicas de FIV. En la actualidad, también es posible inseminar con esperma sexado, es decir, utilizar dosis en las que predominan los espermatozoides con el cromosoma X ó Y, induciendo así que el sexo del embrión/es esté predeterminado antes de su nacimiento. Este adelanto en la reproducción animal está aún en vías de desarrollo en la mayoría de las especies y su futura aplicación supondrá un importante cambio en el campo de la producción animal y en el de la reproducción en general.

Asimismo, la TE aunque se ha desarrollado más lentamente, en la actualidad se practica en casi todas las especies domésticas con mayor o menor éxito, y también se puede considerar una técnica reproductiva básica que permite incrementar la descendencia de una determinada hembra (donante) al conseguir que sus embriones se desarrollen y lleguen a término en el útero de otras hembras que hacen de receptoras. Una de las posibilidades actuales derivadas del desarrollo de las técnicas de TE es la congelación de embriones, que presenta todas las ventajas conocidas de los bancos de esperma congelado, aunque todavía necesite de más investigación para practicarla con éxito en todas las especies.

A diferencia de la IA, la investigación en el campo de la TE, continua desarrollando modalidades y variantes que quizá en el futuro tengan utilidad práctica, entre ellas, la posibilidad de crear bancos de oocitos congelados de donantes prepúberes e incluso gestantes (hasta los 3 meses en la vaca), recogidos por punción folicular guiada por ecografía, de donantes vivas y la producción de embriones “in vitro” por fecundación de oocitos (frescos o congelados), fecundados mediante técnicas de FIV.

Por último, en cuanto a las técnicas de FIV y sus diferentes modalidades, las posibilidades que presentan a nivel de conservación de razas son importantes, aunque la mayoría aún se encuentran en proceso de investigación, por lo cual no las vamos a referir en este capítulo.

2. INSEMINACION ARTIFICIAL (IA)

De entre las técnicas reproductivas que se emplean en medicina veterinaria la inseminación artificial es la que más difusión tiene en el mundo y se practica en todas las especies animales. Se define como una técnica reproductiva que consiste en depositar gametos masculinos en el aparato reproductor de la hembra. Entre sus variantes más empleadas se encuentran la inseminación vaginal, cervical, uterina y oviductal, denominadas así dependiendo de la parte del sistema reproductor de la hembra donde se depositen los gametos. Por otro lado, en cualquiera de ellas, se pueden utilizar gametos conservados (refrigerados o congelados) o no (fresco puro o diluido). En todas sus variantes y modalidades esta técnica pretende mejorar los índices de fertilidad.

La inseminación artificial, practicada correctamente, ofrece más ventajas que inconvenientes, aunque mal utilizada puede dar lugar a traumas y accidentes, por ejemplo, al emplear material inadecuado o ser practicada por personal no adiestrado, originando además descenso de la fertilidad. Se considera que para su correcta realización son necesarias instalaciones adecuadas, material y equipos específicos y ser aplicada por personal cualificado, adiestrado en el manejo de reproductores, y siempre bajo la supervisión de veterinarios especializados en este campo.

Ventajas de la IA:

- Incrementa la eficiencia reproductiva, porque por un lado, se emplea esperma que previamente ha sido valorado y seleccionado en base a su calidad microscópica y microscópica (seminograma) y, por otro, las dosis de esperma se emplean en el momento en el que la actividad ovárica de la hembra indica que se encuentra en la fase más fértil de su ciclo sexual, reduciéndose de este modo las inseminaciones e incrementándose las posibilidades de que sea fecundada.
- Conservación de esperma a corto plazo (fresco o refrigerado) y a largo plazo (congelado), favoreciendo la difusión del material genético y reduciendo los riesgos que conlleva el traslado de animales vivos; se reducen también los costos del transporte, y el estrés derivado de la cubrición; por otro lado, cuando se trata de esperma congelado las posibilidades de difusión se multiplican ya que permite disponer de una fuente de gametos constante en cualquier parte del mundo.
- Control de enfermedades, tanto de transmisión sexual o no, por no existir traslados de animales de una explotación a otra, porque los donantes están controlados sanitariamente y porque el esperma se maneja en condiciones de higiene y se preserva con diluyentes que llevan entre sus componentes antibióticos de amplio espectro.
- Facilita el desarrollo de programas de selección y mejora, al poder inseminar gran número de hembras en un corto periodo de tiempo.

2.1. Selección de reproductores y métodos de control de la actividad sexual

Cualquier programa de inseminación artificial conlleva varias fases que varían según la variante de la técnica que se trate. Un aspecto importante a considerar, ya que puede incidir en los resultados finales, es la selección de las hembras que van a ser inseminadas, basándose en sus antecedentes reproductivos si se dispone de datos, en el examen de su sistema reproductor para verificar que no existen anomalías congénitas o adquiridas y que, en el momento de la valoración, tienen actividad ovárica normal y cíclica. Existen muchas alteraciones del aparato reproductor de la hembra que pueden reducir su capacidad de ser fecundada, entre otros, por ejemplo, la calidad del “ambiente” uterino, que cuando es inadecuado condiciona la viabilidad del esperma al reducir o anular su capacidad fecundante; esto ocurre en hembras con degeneración quística endometrial o problemas de fibrosis (Figura 1) o en aquellas que padezcan alteraciones inflamatorias infecciosas en el útero (Figura 2).

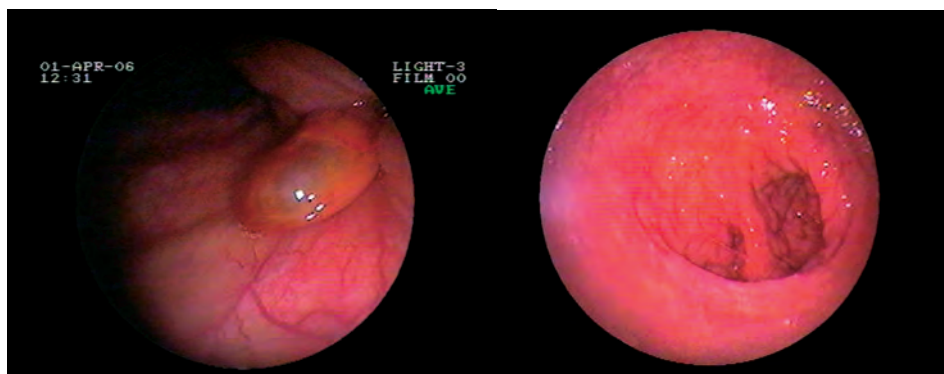


Figura 1. Aspecto endoscópico de un quiste endometrial (izquierda) y fibrosis uterina con presencia de adherencias y disminución del grado de dilatación de uno de los cuernos (derecha) en yegua.

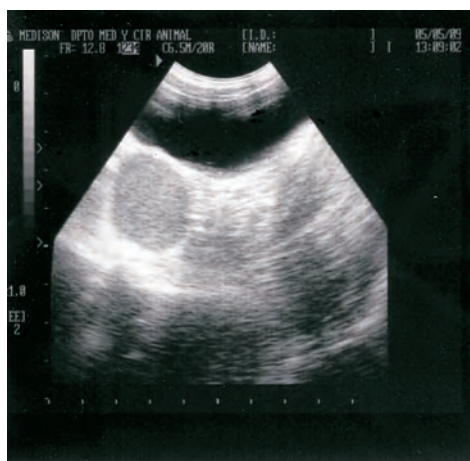


Figura 2. Aspecto ecográfico de una piometra en perra (izquierda) y endometritis uterina en yegua (derecha).

Por otro lado, las disfunciones ováricas que producen, entre otras, alteraciones de los ciclos sexuales con ausencia de celos (anestro), celos de mayor duración y más intensos (ninfomanía), ciclos anovulatorios, intervalos interestro cortos por insuficiencia de los cuerpos lúteos, también son causa de descenso de la fertilidad, ya que implican niveles hormonales anormales que pueden afectar a la capacidad fecundante de ambos gametos, al proceso de la fecundación o al desarrollo temprano del embrión (Figura 3).

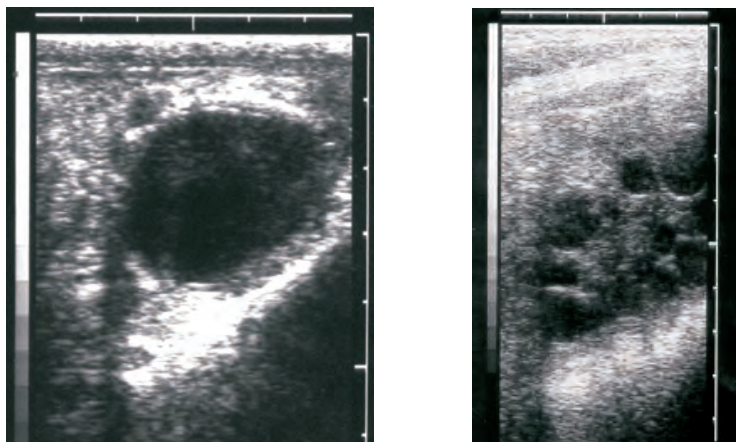


Figura 3. Aspecto ecográfico de ovarios quísticos en vaca (izquierda) y cerda (derecha).

En algunas especies animales para inseminar puede ser interesante y económicamente más rentable, sincronizar los celos de las hembras para agrupar las inseminaciones y, como consecuencia, los partos, con lo cual además, se facilita el manejo reproductivo en la explotación. Hoy en día se dispone de un importante y eficiente arsenal de tratamientos, hormonales y no hormonales, que permiten controlar la actividad ovárica de las hembras de las diferentes especies. En este sentido, los métodos de control no hormonales sólo son eficaces en las hembras cuya actividad ovárica está condicionada por el fotoperiodo, es decir, los équidos y los pequeños rumiantes, aunque es en la yegua donde tienen utilidad clínica práctica. Simular el fotoperiodo favorable en la especie equina consiste en incrementar el número de horas luz al día durante el otoño e invierno (estación no reproductiva), empleando para ello luz artificial, mientras que en pequeños rumiantes, imitar el fotoperiodo natural, supone incrementar las horas de oscuridad en primavera o verano (estación no reproductiva), lo que es más costoso, engorroso y poco viable en la mayoría de los sistemas de explotación de ovino y caprino.

En cuanto a los métodos de control de la actividad ovárica de tipo hormonal, casi todas las hembras responden al empleo de protocolos a base de progestágenos que impiden durante el tiempo que se administran (vía vaginal, oral, subcutánea o intramuscular) la eliminación de las gonadotropinas hipofisarias, que se continúan sintetizando pero se almacenan, descargándose solo en el momento que se deja de administrar el progestágeno, induciendo así un ciclo sexual fértil, que en algunas especies y con ciertos protocolos, permiten que se puedan realizar con buenos resultados inseminaciones a tiempo fijo, sin necesidad de detectar previamente si la hembra está o no en celo; algo muy de agradecer en especies de escaso manejo como son vacuno de carne y el toro de lidia.

Como se ve en la Figura 4 (derecha) el PRID (Progesterona Releasing Intravaginal Device) se aplica en la vagina de la vaca (12 días), pudiéndose realizar la IA doble a las 57 y 74 horas de la retirada del dispositivo.

Por otro lado, la combinación de progestágenos con otras hormonas permite controlar aún más el momento de la ovulación, induciendo una descarga de la hormona inductora de la rotura folicular (LH) en un margen de tiempo predeterminado, con lo que podemos reducir el número de inseminaciones. Entre las combinaciones de hormonas más utilizadas se encuentran la de un progestágeno y una prostaglandina (natural o de síntesis) que se administra al final del periodo de tratamiento con el progestágeno, asegurando así la descarga de gonadotropinas al eliminar el cuerpo lúteo presente en el ovario y, por tanto, cualquier posible fuente de progesterona endógena. Entre estos protocolos se encuentran los empleados en oveja y cabra a base de esponjas vaginales (Fig. nº 4, izquierda), impregnadas de FGA (acetato de fluorogestona), combinadas con una prostaglandina (cloprostenol) y hCG (gonadotropina corionica humana), administradas ambas 48 horas antes de la retirada de las esponjas. En la yegua y en la cerda es muy empleado el altrenogest, un progestágeno de síntesis de administración oral, que en équidos se puede combinar con luz artificial (hasta 16 horas luz/día durante dos meses) o con una dosis de prostaglandinas el último día que se administra el progestágeno, consiguiendo así que se sincronicen mejor los celos. En la cerda el altrenogest se combina con gonadotropinas (eCG a las 24 horas de la última dosis de altrenogest y hCG a las 78-80 horas de la eCG), ya que los cuerpos luteos son poco sensibles a las prostaglandinas.

El empleo de gonadotropinas está menos extendido para el control de la actividad ovárica, excepto en la cerda y en carnívoros domésticos. En la primera, por ejemplo son muy efectivas las combinaciones de gonadotropinas (eCG y hCG) para controlar los celos postdestete; y en los carnívoros representan junto con el empleo de los antiproláctínicos las únicas posibilidades de control de la actividad ovárica y, en ambos casos. Las respuestas son muy variables y pobres en la sincronización.



Figura 4. Dispositivos para aplicación vaginal impregnados de un progestágeno: esponja de FGA en cabra (izquierda) y PRID en vaca (derecha).

Asimismo, el acortamiento de la fase luteínica del ciclo sexual mediante el empleo de prostaglandinas, es muy eficaz para sincronizar celos fértiles, excepto en la cerda y en carnívoros. Por su acción el cuerpo lúteo maduro de la mayoría de las hembras, responde disminuyendo su actividad (síntesis de progesterona) hasta dejar de ser funcional, con lo que se descargan las gonadotropinas hipofisarias que son las que estimulan al ovario induciendo otro celo fértil. La limitación que tiene el empleo de las prostaglandinas como

método para sincronizar la ovocitación, es que el intervalo de salida a celo es amplio y esto hace difícil la inseminación sin detección de celo, o necesariamente se debe inseminar más de una vez, como ocurre cuando se emplea el progestageno solo (p.e. en la vaca tras dos dosis de una prostaglandina separadas 11 días se realiza la IA doble a 72 y 90 horas de la segunda dosis de prostaglandina). Para controlar mejor la ovocitación las prostaglandinas se deben combinar con otras hormonas como por ejemplo con la neurohormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), así, en el método denominado Ovsync para vacuno (GnRH+prostaglandina+GnRH), se puede realizar una única IA a las 24 horas de la segunda dosis de GnRH con buenos resultados. En la yegua, más que en otras hembras, frecuentemente se necesita controlar la ovocitación, sobre todo si se insemina con espermatozoides congelados; para ello, son muy útiles la gonadotropina coriónica humana (hCG) o el (GnRH), que aplicados en única dosis cuando está presente un folículo preovulatorio, se asegura la rotura folicular en el rango de las 24-48 horas, aproximadamente.

Con respecto al donante de espermatozoides, antes de iniciar cualquier programa de inseminación artificial, con espermatozoides refrigerados o congelados, es conveniente someter al macho a un examen de su sistema reproductivo y de la calidad de su eyaculado, para descartar individuos con anomalías congénitas o adquiridas, o que, por razones de edad, presenten ya síntomas de degeneración testicular que van a incidir negativamente en los resultados de fertilidad de cualquier programa de inseminación, reduciendo la capacidad de respuesta a la refrigeración o al proceso de congelación-descongelación (Figura 5).



Figura 5. Distintas alteraciones en el aparato reproductivo de un macho que pueden afectar su capacidad sexual y la calidad de su espermatozoides disminuyendo su fertilidad: orquitis en un perro (izquierda y centro) y lesión en pene en un burro (derecha).

Una vez seleccionados los individuos sin anomalías en su aparato reproductivo y con calidad espermática normal, para ser utilizados como donantes de espermatozoides para refrigerar, se diseñara un programa de recogida de espermatozoides semanal que no altere dicha capacidad para obtener eyaculados aptos y que una vez refrigerados se utilizaran en 24-48 horas. En el caso de que se desee elaborar un banco de espermatozoides congelados, el manejo reproductivo también será el más adecuado para cada especie y las dosis se irán guardando en tanques de nitrógeno líquido, para ser valoradas “in vitro” tras 24 horas de la congelación, y si son consideradas aptas para su uso, quedarán almacenadas en los tanques hasta su descongelación para inseminar alguna hembra.

A diferencia de la hembra, en el macho las posibilidades de controlar la actividad sexual y la calidad del esperma son muy reducidas hoy en día. La aplicación de hormonas para activar el deseo sexual o la producción espermática están contraindicadas en sementales donantes de esperma normales y fértiles, ya que aunque pudieran tener algún efecto inicialmente deseado, a la larga producen alteraciones y desequilibrios del eje neuroendocrino-gonadal, que afectarán su fertilidad disminuyéndola. En definitiva, la mejor manera de preservar la capacidad fecundante de un semental es a base de una buena alimentación, ejercicio y manejo reproductivo enfocado a evitar, “aburrimiento sexual” (que se puede manifestar por disminución del deseo sexual) y respetar el ritmo espermatogénico propio de la especie y del individuo, para evitar reducir las reservas epididimarias con la consecuente pérdida de fertilidad (menor volumen y concentración de espermatozoides) y no alterar el proceso de maduración espermática (transito epididimario) que, entre otras, incrementa el porcentaje de células inmaduras.

2.2. Detección de celo

Es importante conocer el momento más adecuado para depositar el esperma en el aparato reproductor de la hembra. Para ello, gracias al conocimiento actual de la actividad neuroendocrina propia de cada especie, se han ido desarrollando distintos métodos que permiten detectar si la hembra se encuentra en el momento de máxima actividad folicular. En todas las hembras el celo conlleva cambios en su comportamiento sexual que se expresan de diferentes maneras entre especies, y que van desde incremento del nerviosismo, deseo de cubrir a otras hembras, reflejo de inmovilidad positivo (cerda y perra), contracción del clítoris (yegua), orinar frecuente y levantamiento o lado de la cola (yegua y perra). A nivel local, el aparato reproductor sufre modificaciones que están relacionadas con el aumento del nivel de estradiol en sangre, como son mayor tamaño, peso y riego del aparato reproductor con enrojecimiento de mucosas, edema vulvar, presencia de hematías en secreciones (seudomenstruación en perra) y mayor cantidad y fluidez de las mismas.

Entre los métodos empleados para detectar el celo se encuentra la observación del comportamiento sexual de los animales en libertad con otras hembras; así en vacuno las que están en celo se reúnen constituyendo el grupo sexualmente activo (GSA) y se intentan montar entre ellas (Figura 6, izquierda), la vaca en celo olfatea, lame la vulva y apoya el mentón en la grupa de otras vacas, manifestando más actividad y movimiento sobre todo por la noche. Midiendo mediante podómetros, esta mayor actividad física se pueden detectar las vacas en celo (Figura 6, derecha).



Figura 6. Métodos de detección de celo en vacuno: Observación de comportamiento de celo en vaca (izquierda) detalle de un podómetro (derecha).

Otros métodos de detección del celo se fundamentan en observar el comportamiento sexual de la hembra en presencia de un macho sexualmente adulto y maduro (recela) (Figura 7, derecha). En pequeños ruminantes es frecuente el empleo de machos recelas preparados quirúrgicamente (desviación de pene o vasectomizados), castrados y tratados hormonalmente con andrógenos o, enteros colocándoles previamente un delantal que le impida la penetración (Figura 7, izquierda). En équidos también es muy utilizado el macho recela entero, que suele colocarse a un lado de una valla, permitiendo que pueda oler y ver a la hembra o grupo de hembras, de tal modo que la que está en celo es la que se acerca al semental y levanta la cola, orina y exterioriza el clítoris.



Figura 7. Métodos de detección de celo mediante el empleo de un recela (izquierda: macho cabrio con delantal; derecha: detección de celo en équidos antes de la monta dirigida).

El examen del aparato reproductor de la hembra permite también detectar el celo, ya que la presencia de uno o varios folículos preovulatorios, en uno o en ambos ovarios, es un indicador de esta fase del ciclo sexual (Rodríguez *et al.*, 2003a, 2003b). En carnívoros domésticos es útil el estudio citomorfológico vaginal (Figura 8), de fácil realización e interpretación y que mide de forma indirecta el nivel de estrógenos en sangre, de tal modo que cuando alcanza el máximo, determina un típico frotis “de celo” donde predominan las células superficiales anucleadas o escamas córneas (Figura 8, derecha).

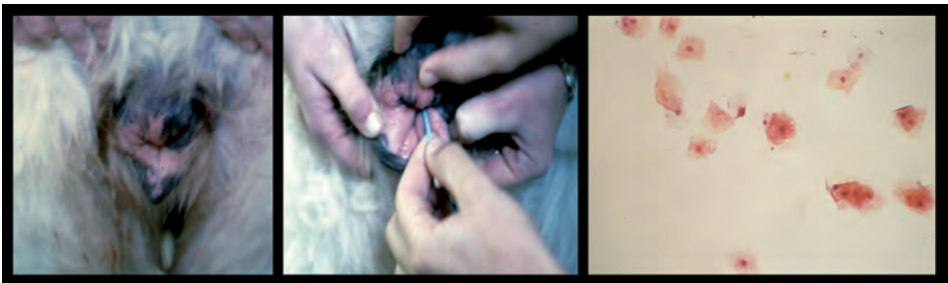


Figura 8. Aspecto de la vulva, toma de muestra e imagen citológica vaginal de una perra en celo cercana a la ovocitación. (Tinción Papanicolau).

2.3. Recogida y valoración del espermatozoides

El espermatozoides se puede recoger mediante vagina artificial, masturbación (cerdo y perro) (Figura 9, izquierda) o electroeyaculación (rumiantes y felinos). Los eyaculados más parecidos a los fisiológicos (parafisiológicos) se consiguen empleando la vagina artificial en casi todas las especies (Figura 9, centro y derecha), siempre que a los machos se les adiestre para ello y siguiendo un protocolo de manejo que evita alterar el instinto sexual natural del macho y nos permite obtener eyaculados de buena calidad. Para ello, en cada recogida conviene siempre respetar un período de excitación sexual previo al salto eyaculatorio y utilizar un estímulo sexual adecuado, por ejemplo una hembra en celo o estrogezada. Con el fin de reducir los accidentes al salto, siempre que sea posible, se recomienda adiestrar a los sementales haciendo que salten sobre un soporte fijo inerte (maniquí).

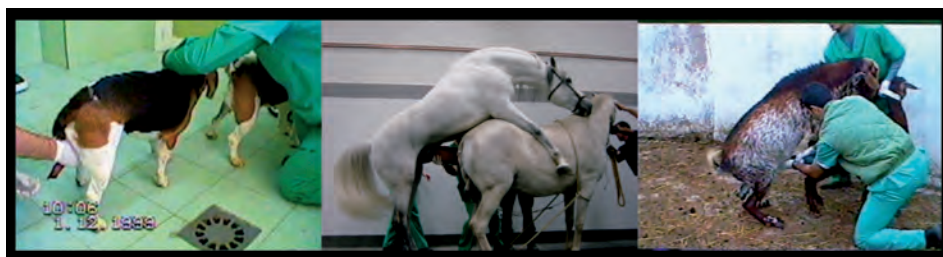


Figura 9. Método de recogida de espermatozoides por masturbación en perro (izquierda) y mediante vagina artificial en équidos (centro) y macho cabrío (derecha).

El método de recogida de espermatozoides mediante electroeyaculación se basa en dar estímulos eléctricos intermitentes de baja intensidad, mediante una sonda con electrodos bipolares que se sitúa en el recto, para estimular los centros de la erección y eyaculación a nivel sacro y lumbar (Figura 10, centro). Los eyaculados obtenidos así no son totalmente parafisiológicos, ya que tienen menor concentración y mayor volumen de lo normal, y en algunos casos están contaminados con orina alterando su calidad. Este método está indicado en animales en los que el manejo o las características de la especie hacen imposible o muy peligroso el adiestramiento para recoger espermatozoides en vagina artificial, por ejemplo en vacuno de carne, pequeños rumiantes, felinos y en toro bravo. En algunas especies la electroestimulación se realiza previa anestesia general y en otras es compatible con una buena inmovilización (Figura 10, izquierda) con o sin tranquilización. En el toro bravo no se observa efecto negativo de la tranquilización sobre la calidad del espermatozoides. Los eyaculados recogidos no son todos aptos para conservar, y está recomendada la centrifugación tanto para concentrar adecuadamente las dosis como para eliminar el plasma seminal que no es todo lo equilibrado que debería; fase que normalmente no se practica en los protocolos de refrigeración y congelación de espermatozoides de toro recogidos por vagina artificial. En general, la fertilidad obtenida cuando se refrigera es similar a la del espermatozoides refrigerado obtenido mediante la vagina artificial. Sin embargo, no ocurre lo mismo con el congelado que ve disminuida su fertilidad cuando se ha recogido mediante electroeyaculación.



Figura 10. Método de recogida de esperma por electroeyaculación en toro bravo: inmovilización en la manga (izquierda), electrodo colocado en el recto (centro) y detalle del colector durante la recogida (derecha).

Se considera que un eyaculado es de buena calidad si tiene suficientes espermatozoides fértiles, con capacidad fecundante. Para desarrollar esta función biológica tan compleja, el espermatozoide es una célula muy especializada que, entre otras cosas, debe ser morfológicamente normal, no presentar alteraciones que afecten a su movilidad y/o a su metabolismo (colas plegadas, dobladas, piezas intermedias deshilachadas, engrosadas, etc.), núcleo con cromatina intacta, su membrana plasmática debe ser funcional y tiene que disponer de un acrosoma íntegro. El método más exacto para valorar su calidad sería calcular la fertilidad “in vivo”, determinando el porcentaje de gestaciones, pero su valoración es costosa y requiere mucho tiempo. Por esta razón, la fertilidad de un donante o de un eyaculado se extrapola de los valores obtenidos a partir de la valoración de determinadas variables espermáticas que se sabe tienen mayor o menor correlación con la fertilidad “in vivo”. Existen múltiples pruebas de laboratorio diseñadas para valorar la capacidad fecundante del espermatozoide y aún no disponemos de una única que permita conocer realmente la fertilidad de la muestra. Por esta razón, se miden varios parámetros que valoran la integridad de la célula a nivel citomorfológico y funcional, los más utilizados son el volumen, pH, concentración y porcentaje de células normales, móviles y con acrosoma íntegro. Cuando los valores obtenidos de estos parámetros se encuentran dentro de los márgenes considerados normales para la especie, se podrá calificar como apto para refrigerar o congelar.

La valoración de la calidad del esperma antes de conservarlo es una de las fases previas en cualquier programa de inseminación, ya que la respuesta a los diferentes protocolos de conservación está condicionada por la calidad de la muestra antes de someterla a la refrigeración o congelación (Pickett *et al.*, 1993; Graham, 1996; Dorado *et al.*, 2005, 2006a, 2006b). Se calcularán las dosis de esperma que se van a obtener del eyaculado una vez conocido el número total de células viables de la muestra a partir de la determinación del volumen, la concentración y el porcentaje de células móviles.

Se sabe que el espermatozoide es una célula muy sensible a los factores ambientales, fundamentalmente a los cambios de temperatura, por esta razón la incorrecta manipulación del esperma en el laboratorio o si no se trabaja con material atemperado (portas, cubres, diluyentes, pipetas, etc.), puede acarrear que las variables relacionadas con el movimiento den valores falsos. Además de la temperatura pueden influir otros factores en los resultados de las valoraciones de la calidad del esperma, así el método de recogida, frecuencia de eyaculación, estación del año, edad del animal, tratamientos aplicados, técnica de valoración empleada y experiencia del técnico.

El volumen, color y olor son los parámetros espermáticos que clásicamente se denominan macroscópicos y forman parte del análisis de la calidad del espermatozoide o seminograma. El color y aspecto varían mucho entre las especies y puede ir desde un blanco transparente lechoso a crema amarillento (Figura 11). El volumen se valora en el colector de recogida y se expresa en ml; se trata de un parámetro muy variable entre especies e individuos (0,8 ml en pequeños rumiantes y hasta 100 ml en un caballo), y esta influido por la edad, actividad sexual y estación del año, sobre todo en pequeños rumiantes, donde durante la primavera y el verano los machos ven disminuido su rendimiento espermático, con reducción del perímetro testicular y de la calidad del espermatozoide (Karagiannidis A, 2000; Dorado, 2006b).



Figura 11. Aspecto y color del eyaculado de macho cabrio (izquierda) y de caballo (derecha) recogidos mediante vagina artificial.

Entre los denominados parámetros microscópicos, el pH valora de forma indirecta el metabolismo de la célula y en condiciones aeróbicas tiende a acidificarse a medida que pasa el tiempo desde la recogida, por lo que conviene determinarlo a los 5-10 minutos de ésta. También está influida por el intervalo recogida-valoración la determinación del movimiento espermático; es una variable que hasta la pasada década se media rutinariamente de forma subjetiva, mediante el conteo de las células en movimiento tras diluir la muestra para adecuarla a la capacidad visual del técnico utilizando microscopio con objetivo de 10 aumentos. Para su cálculo, preferiblemente se contarán los espermatozoides que cruzan el campo microscópico en línea recta (movimiento progresivo), ya que este porcentaje tiene más correlación con la fertilidad que el de movimiento total. Debido a la variabilidad en los resultados según el observador que realice el conteo, se han venido desarrollando otros sistemas que permiten objetivizar esta variable (Dorado *et al.*, 2005). En la actualidad existen varios equipos automáticos de análisis de espermatozoide en el mercado que no sólo valoran el movimiento sino su calidad, incluyendo el cálculo de la variable velocidad y otros parámetros asociados a ella; entre ellos, se sabe que tienen correlación con la fertilidad, el índice de linealidad (LIN) y las velocidades rectilínea (VSL) y curvilínea (VCL). Estos equipos trabajan con muestras previamente diluidas para ajustar la concentración alrededor de 50-75 millones de espermatozoides por mililitro, con el fin de reducir los errores en el cálculo debido a los choques entre las trayectorias de movimiento de los espermatozoides. Mediante un sistema de cámara digital adaptada al microscopio se capturan diferentes campos de una gota y el programa mide las imágenes individuales identificando las trayectorias de las cabezas de cada espermatozoide que brillan por contraste de fase negativo.

La concentración espermática se puede calcular de diferentes maneras, entre las que destacan el hemocitometro, empleando cámaras cuentaglobulos (por ejemplo la cámara de Thomas) (Figura 12, izquierda), o por espectrofotometría (Figura 12, derecha). A partir de este valor se calcula el total de células del eyaculado, multiplicando la concentración (millones de espermatozoides/ml) por el volumen eyaculado.

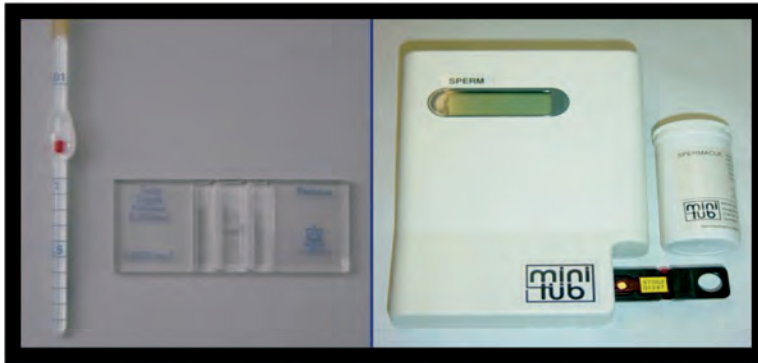


Figura 12. Cámara cuentaglobulos (izquierda) y espectrofotómetro (derecha).

La morfología espermática se ha venido evaluando mediante métodos subjetivos basados en la observación visual, a partir de muestras sin teñir, con microscopio de contraste de fase o teñidas con Giemsa, Diff-Quick (Figura 13, izquierda), Papanicolau o Eosina-nigrosina, por ejemplo. Las anomalías de los espermatozoides se agrupan según la influencia que se sabe tienen sobre la fertilidad, de tal modo que se denominan anomalías mayores, aquellas que pueden disminuirla y son debidas a alteraciones en la espermatogénesis, como por ejemplo las cabezas anormales (Figura 13, derecha) las piezas intermedias alteradas (deshilachadas, engrosadas, dobladas, ausentes, etc.) y las gotas citoplasmáticas proximales (excepto en el caballo y en el cerdo). En contraste, las anomalías menores son aquellas que se adquieren durante el trayecto de los espermatozoides por el sistema de conductos (testicular, epididimario) e influyen menos sobre la fertilidad, entre ellas se encuentran las anomalías de la cola y las gotas citoplasmáticas distales. También se consideran en este grupo un conjunto de anomalías debidas a la mala manipulación de la muestra (golpes, choque frío) como por ejemplo la cabeza suelta. En el cálculo de las dosis que se pueden obtener de un eyaculado, normalmente no se tienen en cuenta la variable porcentaje de formas normales, con lo cual es conveniente que la muestra que se quiere refrigerar o congelar, presente un porcentaje de formas normales suficiente para asegurar la fertilidad, valor que deberá estar entre los márgenes considerados normales en cada especie. Como norma genérica, cuando se observa un 40% de anomalías y más de la mitad son de tipo primario o mayores, sería conveniente repetir el análisis y/o la recogida de esperma y no utilizar esas dosis para conservar e inseminar con ellas.



Figura 13. Morfología espermática: espermatozoides normales (izquierda) y varias anomalías de la cabeza (derecha).

Los test de vitalidad espermática permiten diferenciar los espermatozoides vivos de los muertos, valorando la integridad de la membrana plasmática. Con este fin, una de las tinciones más empleadas es la eosina-nigrosina, que colorea la porción postacrosómica de un tono rosa en los espermatozoides muertos. Actualmente, se emplean métodos de valoración más precisos utilizando fluorocromos, entre ellos la combinación de PI (propidium iode) que tiñe específicamente el ADN (fluorescencia roja), y de SYBR-14 que en los espermatozoides con la membrana intacta, se hidroliza y da fluorescencia verde. De este modo, con esta combinación, se identifican los espermatozoides según el color de la fluorescencia, como vivos (verde), muertos (rojo) y moribundos (verde y rojo). Estas mismas tinciones se pueden cuantificar más objetivamente calculando mediante citometría de flujo la cantidad de cada fluorocromo en cada espermatozoide.

El acrosoma se puede valorar de forma subjetiva, observando en el microscopio extensiones teñidas con productos comerciales como el denominado Spermac (Minitüb), o tinciones como la denominada “Tinción Triple” basada en la utilización de tres colorantes: azul tripan (colorante vital), marrón de Bismarck (colorante postacrosómico) y rosa de Bengala (colorante acrosómico), que además permite identificar a los espermatozoides vivos de los muertos. Con estas tinciones se puede valorar de forma subjetiva si el acrosoma esta integro, cuando vemos que el borde apical de la cabeza espermática se encuentra teñido, o activado cuando hay pérdida de continuidad en dicho borde y no se tiñe. Existen otras posibilidades que disminuyen la subjetividad de estas tinciones, empleando fluorocromos específicos de las membranas acrosómicas como el FITC y PSA, que se pueden medir mediante observación visual a microscopio (fluorescencia) o valoración por citometría de flujo.

Últimamente, se estudian con métodos objetivos el tamaño y la forma de la cabeza de los espermatozoides y los resultados que se están obteniendo demuestran que tienen correlación con la fertilidad e incluso se ven afectados por el proceso de congelación-descongelación (Arruda *et al.*, 2002; Hidalgo *et al.*, 2005a, 2006b, 2006f). El análisis morfo-métrico permite evaluar de forma objetiva el tamaño y forma de la cabeza del espermatozoide, y detecta pequeñas diferencias que no se pueden cuantificar con el ojo humano. Actualmente se han aplicado al estudio del esperma de toro (Gravance *et al.*,

1996), caballo (Hidalgo *et al.*, 2005a) y macho cabrio (Hidalgo *et al.*, 2006a). Es necesario emplear equipos de análisis espermático con programas diseñados específicamente para poder capturar la sombra de la cabeza y parte de la pieza intermedia del espermatozoide. Para ello, además de disponer de dichos programas se debe seleccionar la tinción más adecuada para conseguir el contraste que permita al equipo detectar los contornos de la célula con exactitud (Figura 14) (Gravance *et al.*, 1996; Arruda *et al.*, 2002; Hidalgo *et al.*, 2004 y 2006d).



Figura 14. Ventana de captura del programa de valoración morfométrica del equipo Sperm Class Analyzer® (Microptic, Barcelona).

Los programas de análisis morfométrico de la cabeza del espermatozoide toman diversas medidas de las cabezas, que se refieren a la forma (elipticidad, elongación, rugosidad y regularidad) y al tamaño (longitud, anchura, área y perímetro). Para obtener valores que reflejen las medidas reales de manera objetiva, se deberá capturar un número de células estadísticamente significativo, así, se sabe que la caracterización morfométrica de una muestra se puede hacer midiendo cien espermatozoides, conclusión que hemos obtenido tanto trabajando con esperma de sementales de macho cabrio de la raza Florida como con caballos de Pura Raza Español (PRE) (Figura 15) (Hidalgo *et al.*, 2004, 2005b, 2006d).

Empleando el análisis morfométrico se están observando diferencias en las distintas poblaciones celulares entre especies animales, y dentro de algunas especies se observan diferentes poblaciones celulares en los eyaculados (Gravance *et al.*, 1996), por ejemplo, en el caballo PRE hemos identificado y clasificado 5 clases morfológicas para el tamaño de la cabeza y 6 clases morfológicas para la forma de la cabeza (Hidalgo *et al.*, 2006c y 2006e). Asimismo, se sabe que la congelación-descongelación del esperma reduce las cabezas de los espermatozoides, quizá porque altere la cromatina (Arruda *et al.*, 2002; Hidalgo *et al.*, 2006f) o porque se deba a que han sufrido la reacción acrosómica (Hidalgo *et al.*, 2006b); todo esto indica que en un futuro próximo este tipo de análisis deba incluirse en las valoraciones de rutina a las que se somete el esperma como indicador de su grado de “congelabilidad”, porque hemos observado que las muestras que menos se afectan morfométricamente por la congelación-descongelación son más fértiles (Hidalgo *et al.*, 2006b).

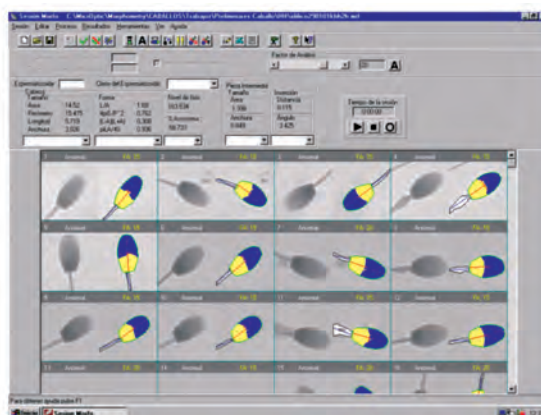


Figura 15. Diferentes espermatozoides capturados con el SCA.

2.4. Dilución y conservación del espermatozoide

Los diluyentes de espermatozoide tienen una composición básica, común a casi todos ellos, formada por una fuente de energía o sustrato metabólico, generalmente un azúcar, soluciones tampón que regulan los cambios de pH que derivan del metabolismo celular, antibióticos para controlar el crecimiento bacteriano y sustancias crioprotectoras que reducen los daños ocasionados por las técnicas de conservación.

Actualmente los métodos de conservación de espermatozoide se basan en disminuir el metabolismo del espermatozoide, descendiendo la temperatura.

Distinguimos dos tipos de espermatozoide conservado: el refrigerado y el congelado. El espermatozoide refrigerado es aquel que se mantiene a +5°C en todas las especies domésticas, excepto el del cerdo que se refrigera a +15°C. En estas condiciones el espermatozoide puede mantener su capacidad fecundante entre 12-24 horas, y en el cerdo hasta más de 48 horas. El espermatozoide congelado es aquel que se mantiene a -196°C en nitrógeno líquido (NL), ampliamente difundido en el mundo, aunque en algunos países se utilice aún la nieve carbónica. En estas condiciones se puede preservar la capacidad fecundante hasta el infinito. Hay importantes diferencias entre los protocolos de refrigeración y congelación que se refieren a los componentes de los diluyentes, tipo de envase, ritmo de descenso de la temperatura y almacenamiento de las dosis.

Como consecuencia del descenso de la temperatura se producen daños celulares irreversibles en los espermatozoides que afectan a su capacidad fecundante. Estos daños causados por el denominado “choque frío” se inician por debajo de los 20°C y consisten en un incremento del calcio intracitoplasmático, que induce la activación de la reacción

El espermatozoide es una célula biológicamente activa y con escasa reserva metabólica lo que hace que en su medio natural (plasma seminal) tenga reducida capacidad de supervivencia y, a medida que pasa el tiempo, disminuya su capacidad fecundante. Para preservar la vida de los espermatozoides debemos añadir sustancias que prolonguen y favorezcan su metabolismo.

acrosómica (Valcárcel *et al.*, 1994); aumento de la permeabilidad de la membrana plasmática; la función de las mitocondrias de la pieza intermedia es anormal y se produce menos energía (Thomas *et al.*, 1998); entre los -6 y -15 °C se induce la deshidratación de la célula; se altera la estabilidad de la cromatina espermática reduciendo su capacidad de recondensación (Royere *et al.*, 1988) y las cabezas de los espermatozoides se hacen más pequeñas (Arruda *et al.*, 2002; Hidalgo *et al.*, 2006b). Estas alteraciones hacen que aumente el número de células muertas, disminuya el porcentaje de espermatozoides móviles y su velocidad, así como su resistencia y supervivencia en el aparato reproductor; en definitiva disminuye el porcentaje de células con capacidad fecundante en la muestra.

Para disminuir los efectos del “choque frío” el esperma deberá diluirse en soluciones adecuadas que entre sus componentes incluyan algún tipo de crioprotector, para disminuir el fenómeno de la deshidratación celular, estabilizar la membrana plasmática y equilibrar los sistemas enzimáticos. Para ello, se dispone de una gama importante de diluyentes asequibles comercialmente para casi todas las especies animales, que además de aportar nutrientes, neutralizan las toxinas derivadas del metabolismo celular.

2.5. Refrigeración del esperma

La composición de los diluyentes utilizados para refrigerar el esperma incluye un sustrato metabólico para la célula, generalmente un azúcar (glucosa, lactosa, fructosa), sustancias amortiguadoras (fosfato, citrato, Tris) que evitan el descenso del pH que se produce como consecuencia del metabolismo celular, antibióticos para controlar el crecimiento bacteriano (penicilina, estreptomina, gentamicina) y un crioprotector, generalmente del tipo externo o no penetrante como la yema de huevo de gallina, pero algunos diluyentes sintéticos emplean un crioprotector penetrante a baja concentraciones (glicerina).

En general, los protocolos de refrigeración de esperma incluyen una primera fase de dilución a 1:1, valoración del esperma y, si es apto para conservar, se hacen los cálculos de las dosis que se pueden obtener del eyaculado, se añade el diluyente necesario para ajustarlas, y se inicia la refrigeración hasta los $+5$ °C excepto en cerdo que solo se descende la temperatura hasta $+15$ °C. Normalmente al esperma que se va a refrigerar no se le retira el plasma seminal, pero en algunos casos, más recomendable en unas especies que en otras, se elimina el plasma seminal del eyaculado, porque favorece la conservación ya que alarga el tiempo de supervivencia del espermatozoide con capacidad fecundante en el aparato reproductor de la hembra (ver apartado 2.6. Congelación del esperma).

La dilución del esperma se realiza inmediata a la recogida, tras retirar una pequeña cantidad que se emplea para la valoración microscópica del mismo (pH, movimiento, concentración, morfología y acrosoma), teniendo cuidado de que el diluyente se encuentre a temperatura orgánica ($35-37$ °C).

Para disminuir la temperatura existen sistemas diseñados para refrigerar el esperma a $+5$ °C que son fáciles de manejar y se pueden transportar y permiten mantener hasta 24 horas la muestra a $+5$ °C (Figura 16).

de leche y desde 1970 se extienden por el mundo, aunque actualmente en porcino y pequeños rumiantes es donde menos se ha extendido su empleo por la baja fertilidad que se obtiene.

A diferencia de la conservación líquida del espermatozoide, se utilizan diluyentes que llevan un crioprotector penetrante, normalmente la glicerina (p.e. toro: 7%; caballo: 4%; perro: 4-11%), además de la yema de huevo que crioprotege a la célula externamente (p.e. toro: 6%; caballo: 20%; perro: 10-20%). Existen diferencias en la composición de los diluyentes para congelar (Tris-ácido cítrico-glucosa, leche desnatada deshidratada-glucosa, lactosa-EDTA), y se ha observado en algunas especies (equino, caprino, porcino) que la composición del mismo puede influir en la respuesta de su espermatozoide a la congelación-descongelación (Pickett, 1993), aunque otros autores observan que este efecto es relativamente pequeño (Samper, 1994; Dorado, 2004). Entre los antibióticos, que se añaden a los diluyentes de congelación, se encuentran la gentamicina, penicilina, amikacina y estreptomycin solos o en combinación.

Las técnicas de congelación de espermatozoide varían poco entre especies y en casi todos los protocolos se incluyen las siguientes fases: recogida de espermatozoide, valoración macroscópica y microscópica, dilución, centrifugación, refrigeración normalmente junto con la equilibración, envasado, congelación propiamente dicha y almacenamiento en tanques de nitrógeno líquido.

En la mayoría de las especies la congelación conlleva, la eliminación del plasma seminal, por su reconocido carácter espermicida, mediante centrifugación o, en aquellas especies que lo permitan (caballo, cerdo y perro) realizando la recogida de la fracción rica en espermatozooides del eyaculado, por recogida mediante masturbación o empleando alguno de los modelos de vaginas artificiales abiertas. Para centrifugar el espermatozoide, es conveniente emplear una centrifuga que permita utilizar tubos de entre 15-45 ml para reducir el efecto detrimental de la centrifugación sobre la célula (Rodríguez *et al.*, 2005), y se aconseja protegerla del efecto mecánico de la centrifugación, diluyendo con el mismo diluyente de congelación sin los crioprotectores o con diluyentes específicos de centrifugación. Las velocidades de centrifugación varían entre especies y métodos de congelación entre 400-900xg durante 10-20 minutos. Por ejemplo, en el macho cabrío se recomienda centrifugar el espermatozoide, ya que éste lleva en el plasma seminal fosfolípidos que interactúan con la yema de huevo del diluyente, produciendo sustancias tóxicas para el espermatozoide (Ritar *et al.*, 1982). Con espermatozoide de macho cabrío de raza Florida hemos observado que, tras la centrifugación, se puede añadir concentraciones de 20% de yema de huevo y obtener tasas de gestación aceptables similares a las obtenidas con dosis congeladas sin centrifugación y baja concentración de glicerina (Dorado *et al.*, 2004; Hidalgo *et al.*, 2006b).

Las dosis se pueden envasar en pajuelas de 0,25, 0,5 o macrotubos de 5 ml con diferente concentración de células móviles según la especie de que se trate, empleando para ello máquinas impresoras y envasadoras-selladoras automáticas que aseguran la higiene necesaria en la manipulación de las muestras y permiten identificar cada pajuela con los códigos del donante, fecha de la recogida, y los datos identificativos del centro donde se han procesado las muestras (Figura 18).

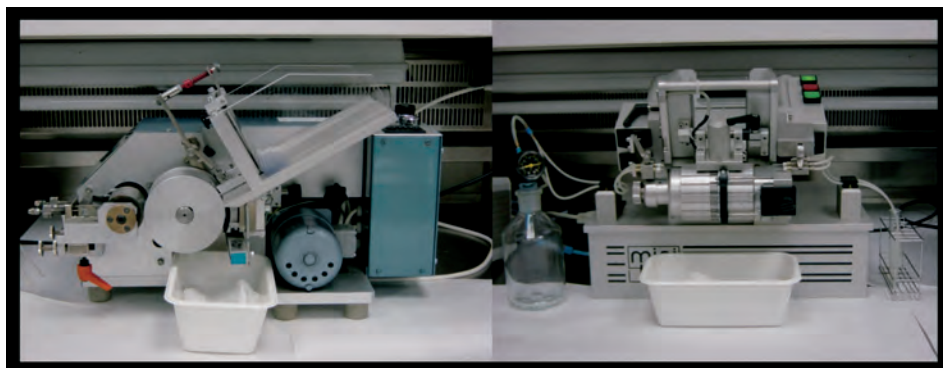


Figura 18. Equipo de impresión y llenado para pajuelas de 0,25 y 0,5 ml.

También se observan diferencias entre las técnicas de congelación, en cuanto a la duración de los periodos de equilibración, que varían según la especie que se trate entre 15 minutos-dos horas en el caballo, cuatro-seis horas para el toro, 2-3 horas en perro, y en cuanto a la temperatura a la que se realizan (temperatura de laboratorio o a 5 °C). Con respecto a la pauta de descenso de la temperatura existen diferencias entre los métodos de congelación lentos, que requieren la refrigeración previa del esperma descendiendo desde la temperatura de laboratorio a +5 °C, a un ritmo de 0,03 °C, antes de congelar; y los rápidos en los que no se refrigera el esperma y tras 10-15 minutos de adaptación al diluyente de congelación a temperatura de laboratorio se desciende a -196 °C. La congelación se realiza empleando vapores de nitrógeno líquido (10-20 minutos) o un programador de descenso de temperatura (Figura 19) con el que se diseñan las rampas de descenso, como, por ejemplo, una que baja hasta -15 °C a un ritmo de 10 °C/mi, y una segunda rampa que baja desde -15 °C hasta -150 °C a un ritmo de 25, 30, 40, 60 o más de 60 °C/mi. Entre otros, el ritmo de descenso de la temperatura es una de las variables que influye en las respuestas a la congelación-descongelación (Graham, 1996; Dorado *et al.*, 2004 y 2005; Rodríguez *et al.*, 1999 y 2001), siendo en general los protocolos de congelación lentos los que menos dañan a la célula mejorando los índices de fertilidad obtenidos (Rodríguez *et al.*, 2006).

Las dosis una vez congeladas se almacenan en tanques de nitrógeno líquido (NL) hasta su uso. Existe una enorme variedad de contenedores de NL que van desde pequeños de transporte hasta grandes con sistemas automático del control del nivel del nitrógeno líquido. Las dosis deben ser descongeladas antes de ser utilizadas para lo cual se usan termos o baños de agua a determinadas temperaturas y durante un tiempo fijo, según el tipo de envase (Figura 20).

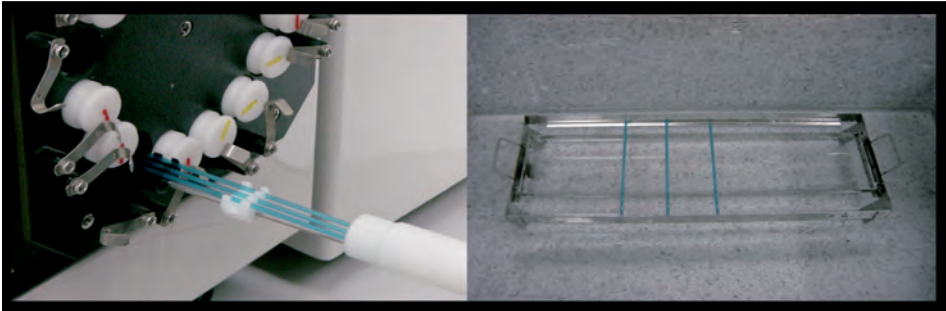


Figura 19. Técnicas de congelación: vapores de nitrógeno líquido (derecha) y programador de descenso de temperatura (izquierda).



Figura 20. Contenedores de nitrógeno líquido (izquierda), detalle de canastera con pajuelas congeladas (centro) y descongelación en agua a temperatura ambiente (derecha).

En todas las especies la fertilidad del esperma congelado es inferior a la obtenida con esperma fresco o refrigerado, porque disminuye el porcentaje de espermatozoides “fértil” a la descongelación, ya que el proceso afecta al movimiento de los espermatozoides, reduciendo los porcentajes de móviles totales y con movimiento progresivo, asimismo incrementa el porcentaje de células con acrosoma activado, y disminuye el tamaño de la cabeza del espermatozoide a la descongelación, aunque lo hace poco o nada en aquellas muestras que dan mejor fertilidad “in vivo” (Hidalgo *et al.*, 2006a, 2006b y 2006f). Asimismo, la calidad del esperma antes de congelar puede condicionar la respuesta a la congelación-descongelación por lo que es conveniente seleccionar los eyaculados que se van a congelar (Dorado *et al.*, 2006a).

Actualmente, en algunas especies domésticas (caninos y equinos) la combinación de la limitada fertilidad del esperma congelado junto con la normativa que controla el reconocimiento de la descendencia obtenida por inseminación con esperma congelado, hace que su difusión sea limitada. En el caso de la especie equina, solo un 25-30% de los sementales producen esperma que tiene a la descongelación una aceptable capacidad fecundante y en el resto se pueden diferenciar los que tienen “congelabilidad” moderada y mala. La fertilidad del esperma equino congelado depende, entre otros factores, de la ca-

pacidad de los espermatozoides de un determinado donante para sobrevivir al proceso de la congelación-descongelación, e incluso difiere enormemente entre eyaculados del mismo semental, y se cree son debidas a la diferencia en la composición del plasma seminal, que está influida por ejemplo por la estación, de la fertilidad de las hembras y de la técnicas empleada para inseminar (Rodríguez *et al.*, 1999 y 2001).

Entre los parámetros utilizados para predecir la fertilidad del espermatozoide congelado, el movimiento espermático a la descongelación es el más empleado (alrededor o superior al 30% de movimiento progresivo), pero este parámetro está sujeto a debate, ya que la correlación entre dicho porcentaje y gestación es muy bajo, hecho que indica que un 65% de los caballos que cumplan este requisito pueden dejar vacías a las yeguas (Graham, 1996), y, a la inversa, entre un 1-10% de los caballos que congelan mal pueden producir descendencia, aunque se acepta de forma general que la fertilidad desciende enormemente cuando la dosis tiene menos de un 25% de espermatozoides con movimiento a la descongelación. En toro la fertilidad media que se obtiene con el espermatozoide congelado es muy constante, no depende tanto del donante, y alcanza valores que superan el 50%.

2.7. Técnicas de inseminación artificial (IA)

En el resultado de un programa de inseminación artificial influirán la hembra, el momento de realización y el tipo de espermatozoide, entre otros. Por eso se recomienda seleccionar a la hembra/as que van a ser inseminadas y determinar el momento del ciclo más fértil para hacerlo. Para ello, se deberán someter a una exploración lo más completa posible de su aparato reproductor, que en algunas especies queda reducida a una selección por lotes de animales según las características del último parto y el intervalo parto-desfete, y en otras especies puede incluir la exploración ecográfica del aparato reproductor, citología endometrial y/o la toma de muestras de útero para estudio bacteriológico.

En general, y siempre que sea posible conviene dejar la dosis en el útero, y sobre todo cuando se trata de espermatozoides congelados. La inseminación en fondo vaginal solo está recomendada en la perra cuando se emplea espermatozoides diluidos y/o conservados a temperatura ambiente o refrigerados, gracias a que el espermatozoide del perro es muy fértil en estas condiciones de conservación y no es necesario depositarlo en el útero, cuando además resulta complicada la cateterización del cuello del útero. Con espermatozoides congelados de perro los porcentajes de gestación son menores cuando se deposita en el fondo vaginal, que si se hace cervical o intrauterina. Para ello, se han desarrollado varios métodos que combinan el empleo de sondas específicas y la manipulación vía abdominal del catéter para guiarlo a través del cervix o el uso del endoscopio para intentar mediante su observación guiarlo a través de él (Wilson, 1993). La inseminación uterina mediante métodos traumáticos (laparotomía y laparoscopia) consigue resultados superiores pero hay que tener en cuenta los riesgos que puede conllevar, tanto la técnica como la anestesia, y en el caso de la inseminación quirúrgica puede tener consideraciones éticas.

El lugar de depósito de la dosis en el aparato reproductor de la hembra es otra variable que puede condicionar el resultado de un programa de inseminación.

El espermio diluido y conservado a temperatura ambiente o refrigerado, en pequeños rumiantes es conveniente dejarlo en las partes más profundas en el aparato reproductor, empleando para ello catéteres que faciliten el paso por el cervix, aunque atravesar el canal cervical sobre todo en la oveja es muy difícil por lo anfractuoso que es; por esto, lo que normalmente se realiza es un depósito cervical, pasando el primer pliegue y como mucho el segundo. Sin embargo, en la cabra, empleando el mismo tipo de catéteres y la misma técnica de inseminación, se consigue hasta en un 10% inseminaciones intrauterinas. (Figura 21),



Figura 21. Inseminación artificial en pequeños rumiantes: depósito en cervix con la ayuda de espéculo y catéter de inseminación.

En la vaca el catéter de inseminación se introduce por la vagina con la ayuda de un brazo enguantado y lubricado, para fijarlo en el orificio cervical externo, y se continúa introduciendo con la ayuda del otro brazo enguantado desde el recto y así se guía por el anfractuoso canal que en la mayoría de las hembras tiene el mismo patrón de distribución, lo que hace que se pueda adiestrar a una persona para hacerlo con buen resultado y sin esperar que dañe el cuello ni perfora el útero con la pistola de inseminación. La dosis se distribuye entre ambos cuernos uterinos.

En la cerda la inseminación es normalmente de tipo cervical empleando catéteres que se fijan al cuello del útero gracias al diseño helicoidal de su extremo distal que imita el glande del macho. Actualmente es posible depositar el espermio en las partes más distales de los cuernos uterinos utilizando un sistema combinado de dos catéteres, el cervical rígido y uno flexible; el primero se fija al cuello y el segundo se pasa a través del primero asegurando así la entrada en el útero, y desde el exterior se hace progresar a través de la luz uterina. Este sistema de cateterización ha demostrado su eficacia en programas de inseminación con espermio sexado y congelado (Martínez *et al.*, 2001), así como, en la transferencia de embriones (Cuello *et al.*, 2005).

En la yegua la inseminación artificial es intrauterina, y a diferencia de la vaca normalmente no se suele emplear la técnica rectovaginal. El esperma se depositará en el cuerpo uterino empleando un catéter semirígido de un solo uso que se guía con una mano enguantada vía vaginal a través del cervix abierto y relajado de una yegua en celo, al que se conecta una jeringa con la dosis (Figura 22, izquierda y centro). La inseminación intrauterina profunda de la yegua, al igual que en la cerda, esta permitiendo obtener tasas de fertilidad superiores, y esta recomendada para el esperma congelado que sabemos tiene menos capacidad fecundante que el refrigerado (Figura 22, derecha). En este caso se pueden emplear catéteres largos semirígidos de pequeño volumen (Figura 22, izquierda) o se puede hacer con un endoscopio flexible adaptado que permite “regar” la papila tubárica con la dosis (Lindsey *et al.*, 2002). Evidentemente la inseminación con el endoscopio es más exacta pero también más cara, y es por eso que se utiliza en más ocasiones el catéter para inseminación con pequeño volumen, que se lleva hasta la parte distal del cuerno uterino, correspondiente al ovario que tienen el folículo preovulatorio, vía vaginal ayudados de una mano introducida en el recto (método rectovaginal).



Figura 22. Catéteres de inseminación equina de diferente tamaño para pequeño y gran volumen (izquierda). Lugar de depósito de la dosis en el cuerpo del útero (centro) o en la porción distal del cuerno uterino (derecha).

En cuanto al momento para realizar la inseminación artificial dependerá del tipo de esperma (fresco, refrigerado o congelado) y de la especie que se trate. En la vaca se recomienda inseminar a las 12-24 horas de salir a celo, tanto sea el esperma refrigerado o congelado, para ello se estableció la regla AM/PM, de tal modo que si la vaca se detecta en celo por la mañana, se insemina por la tarde y si se detecta en celo por la tarde, se insemina por la mañana, repitiéndose la inseminación si vuelve a ser detectada en celo a las 12 horas de la primera, aunque no se han observado diferencias en la tasa de fertilidad cuando se insemina una sola vez (69,4%) o cuando se hace dos veces (67,8%). En el caso de celos sincronizados se puede inseminar a tiempo fijo con buenos resultados, por ejemplo doble inseminación a las 72 y 96 h de aplicar prostaglandinas o a 56 y 74 h empleando progestágenos o única inseminación a las 24 h de aplicar el GnRH en el método Ovsynch.

En pequeños rumiantes las inseminaciones se realizan a tiempo fijo, normalmente sin detección de celo y empleando tratamientos de sincronización, por ejemplo con las esponjas vaginales impregnadas de un progestágeno (Dorado *et al.*, 2002; Hidalgo *et al.*, 2006b). Las ovejas se inseminan a 55 h o 50-54 h de la retira de las esponjas, según que la inseminación sea cervical o intrauterina laparoscópica, respectivamente. Los índices de

fertilidad varían según que trate de esperma fresco o congelado y, en ambos casos, si se realiza vía laparoscópica se incrementan pudiéndose alcanzar hasta el 60% con fresco y el 90% con congelado. Sin embargo, vía cervical con esperma congelado los resultados son bajos, lo que hace que su difusión comercial en esta especie sea reducida. En la cabra se pueden obtener mejores resultados con esperma congelado vía cervical que en ovino, así trabajando en cabra de raza Florida hemos obtenido un 45 y un 50% en dos protocolos empleando diferentes diluyentes de congelación (Hidalgo *et al.*, 2006b).

En la perra la inseminación con esperma fresco (sin refrigerar o refrigerado) se inicia una vez que la recela es positiva y se repite cada 48 horas. En esta especie no se pueden realizar inseminaciones a tiempo fijo tras un tratamiento conceptivo, ya que tienen poco éxito en la sincronización de la ovulación. Si existen limitaciones de dosis de esperma, seminal o porque el esperma sea congelado, deberíamos acercarnos al momento más fértil del ciclo. Para predecirlo podemos emplear la citología vaginal cada 24 horas (medir el porcentaje de escamas córneas) y la determinación del nivel de progesterona plasmática, así, con la ayuda de ambos parámetros, se puede llegar a inseminar con éxito una sola vez en el ciclo, y si se tratara de esperma congelado se incrementarían los porcentajes de gestación al acercarnos al momento de la ovulación (Concannon, 1991).

En la cerda la inseminación con esperma refrigerado se realizará el primer día que se detecta en celo (reflejo de inmovilidad positivo) y se repetirá a las 24 horas; se puede inseminar a tiempo fijo sin detección de celos si aplicamos un tratamiento hormonal a base de un progestágeno (altrenogest) y gonadotropinas, haciendo la primera a las 24 h de haber aplicado la gonadotropina corionica (hCG) obteniéndose buenos resultados de fertilidad. En cuanto al esperma congelado, los resultados son peores y varían mucho según el grado de congelabilidad de los donantes (Roca *et al.*, 2006).

En la yegua la inseminación con esperma refrigerado se realiza normalmente previa detección de celo (recela) o sin ella, por exploración rectal ecográfica de su aparato reproductor para identificar en un ovario la presencia de un folículo preovulatorio (FP), de tal manera que si está en celo y/o tiene un FP se insemina por primera vez y se repite a las 24 horas hasta que termine el celo o se observe la ovocitación (Figura 23, derecha). La inseminación es intrauterina vía cervical dejando la dosis en el cuerpo del útero, obteniéndose porcentajes de fertilidad del 60% o superiores. Sin embargo, cuando se quiere inseminar con esperma congelado conviene que se deposite en el útero en las 12 horas anteriores a la ovocitación; para lo cual es imprescindible el examen ecográfico seriado del ovario activo y poder predecir el momento de la ovocitación. El aspecto ecográfico del folículo preovulatorio se determina mediante valoración del tamaño y forma, grosor de sus paredes y ecogenicidad del sedimento del líquido folicular (Figura 23, izquierda y centro). A las 24 horas de la ovocitación en el 75% de las yeguas el folículo cambia de forma a medida que desaparece el edema uterino (Rodríguez *et al.*, 2003a). La fertilidad del congelado varía mucho entre donantes y está influido por la hembra y la técnica de inseminación, pudiendo estar entre un 20% y un 100%.

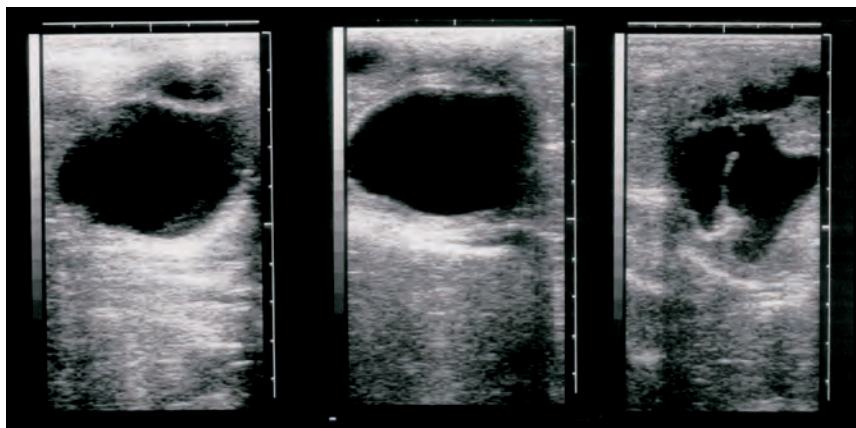


Figura 23. Aspecto ecográfico del folículo preovulatorio de la yegua: a 24 horas de la ovulación (izquierda y centro) y ovulando (derecha).

3. TRANSFERENCIA DE EMBRIONES (TE)

Entre los antecedentes de la TE se encuentran las primeras experiencias realizadas en conejo en 1891 por Heape, aunque no fue hasta 1951 (Willett *et al.*, 1953) cuando nació el primer ternero por transferencia, y tuvieron que pasar algunos años más hasta su difusión clínica en vacuno. En la especie equina se desarrolla y extiende con más lentitud debido, entre otros, a problemas técnicos, siendo la Asociación Americana de caballos “Cuarto de Milla” la primera que acepta el uso de la transferencia de embriones solo en yeguas viejas, difundándose una década más tarde en otros países y razas.

Esta técnica reproductiva consiste en traspasar el embrión de una hembra donante al útero de una receptora que previamente ha sido sincronizada para conseguir que el ambiente uterino permita la continuación del desarrollo gestacional.

Actualmente se utiliza en varias especies (vacuno, equino, pequeños rumiantes) con fines productivos y también como método para resolver algunas infertilidades, como las adquiridas por la edad, que inducen endometriosis con insuficiente capacidad de gestar (Ball *et al.*, 1989); sin embargo, en porcino y sobre todo en carnívoros está aún en fase de investigación, entre otras razones porque las técnicas de recogida de embriones siguen siendo quirúrgicas debido a las dificultades que conlleva el lavado uterino vía vaginal. Además, en carnívoros, los tratamientos de sincronización entre donante y receptora tienen muchas limitaciones en la actualidad, lo que hace que se reduzcan los porcentajes de fertilidad. En vacuno, gracias al desarrollo de las técnicas no quirúrgicas, la TE ha tenido una enorme difusión, y es la especie donde ha demostrado su eficacia para aumentar la producción tanto en razas de leche como de carne. En la especie equina la difusión del método no quirúrgico también está contrastada, pero no es una técnica tan demandada como en la especie bovina, ya que el criador de caballos tiene un interés más personal, e incluso emotivo, que productivo por sus caballos; por otro lado, influye el que

algunas asociaciones controlan el número de registros de la descendencia por reproductora.

En vacuno, el resultado de un programa de transferencia de embriones, está influido por varios factores, entre los que se encuentran, la repuesta de la donante a los tratamientos de superovulación, la actividad ovárica en el momento de aplicarlo, antecedentes reproductivos, frecuencia de aplicación de los tratamientos, edad, raza, estado de carnes y estación del año. Entre las fases que forman la TE de la vaca tenemos que considerar la utilización de las técnicas de superovulación ovárica que permiten obtener múltiples embriones de la donante, reduciéndose así el coste total del programa. Aunque se pueden utilizar donantes sin superovular hay que considerar la ventaja que supone aplicar protocolos de estimulación ovárica capaces de conseguir que el porcentaje de ovulación sea superior a 10 (Hasler *et al.*, 1983).

El estado reproductivo de la yegua influye de forma marcada en los resultados de un programa de TE (McKinnon *et al.*, 1988; Squires *et al.*, 1982; Vogelsang *et al.*, 1989), siendo muy bajo el porcentaje de embriones recogidos de yeguas viejas quizá, entre otros, debido a que sus oocitos son más defectuosos (Ball *et al.*, 1989). A diferencia del vacuno en la TE equina la calidad del esperma empleado para inseminar a la yegua donante influye también en el porcentaje de embriones recogidos, de tal modo que es mayor cuando se emplea esperma fresco que cuando se emplea esperma congelado-descongelado.

3.1. Métodos de superovulación

Las hembras donantes se seleccionan en base a su calidad genética, estado de salud general (no muy engrasada), actividad ovárica cíclica (dos meses postparto) y por sus antecedentes de fertilidad. De este modo, pretendemos asegurar que son capaces de producir embriones viables. Interesa controlar un ciclo estral antes del inicio del programa para conocer y adaptar si fuera necesario el manejo de los animales ya que es importante reducir en la medida de lo posible el estrés.

La vaca responde a los protocolos hormonales de superovulación cuando se aplican en fase lútea, coincidiendo con la segunda oleada folicular (días 9-14 del ciclo), momento en el que se aplica una prostaglandina (48-72 horas) para controlar la vida del cuerpo lúteo, induciendo su regresión y estimulando el inicio de un celo aproximadamente a las 40-56 horas. Entre las hormonas más empleadas se encuentran las gonadotropinas, tanto la equina, no hipofisaria (eCG), como la hipofisaria (FSH bovina, ovina o porcina). Las diferencias entre los protocolos de ambas gonadotropinas se refieren tanto a los resultados, como al precio, efectividad en la respuesta y manejo necesario para su aplicación, ya que la eCG es capaz de inducir respuesta superovulatoria en la vaca a partir de una sola dosis aplicada entre el día 8-14 del ciclo, mientras que la FSH requiere de dos dosis diarias durante 4-5 días aplicadas también en fase lútea (9-13 días del ciclo), pero esta última da mejores resultados y embriones de más calidad, aunque requiere que las donantes sean animales con suficiente manejo para tratarlas varias veces al día sin que les cause mucho estrés (Merton *et al.*, 2003).

Entre las hormonas probadas se encuentran el extracto de hipófisis equina (EPE: Equine Pituitary Extract) (Squires *et al.*, 1986; Woods *et al.*, 1983), con el que se puede conseguir en un 75% de las yeguas una media de dos embriones, pero que al no estar permitido su uso clínico no se puede conseguir comercialmente; diferentes tipos de FSH (ovina, porcina) que también pueden incrementar el porcentaje de embriones pero utilizando dosis muy elevadas que encarecen los protocolos (Fortune *et al.*, 1993; Squires *et al.*, 1986) y el empleo de inmunización activa y pasiva contra la inhibina que puede originar, además de abscesos, en el lugar de administración choques anafilácticos (McCue *et al.*, 1993).

A diferencia de la vaca, en la yegua no existen protocolos hormonales capaces de inducir respuesta superovulatoria, por lo que la mayoría de los embriones se recogen de ovulaciones simples.

En la cerda los protocolos de superovulación más empleados son la aplicación de una dosis de ECG el día 15-16 del ciclo ó la aplicación de un tratamiento de 18 días de altrenogest (20 mg) 1000 UI de ECG el día 19 y a las 72 horas 500 UI hCG, consiguiéndose en ambos buena respuesta superovulatoria en hembras cíclicas (Martínez *et al.*, 2001; Cuello *et al.*, 2005).

La detección de los celos de las donantes es una fase fundamental para sincronizar la edad del embrión y el ambiente uterino de la receptora (ver pag. 142), para ello en la vaca, por la corta duración que tienen los celos, es conveniente incrementar las observaciones del comportamiento sexual a 3-5 veces al día por periodos no inferiores a media hora. En la vaca la sincronía con respecto a la donante deberá ser de más o menos 24 horas, en la cerda de +1 ó +2 ó -1 días y se transfieren muy precoces, en estado de 4 a 8 células, y en la yegua de +1 ó -3 días.

3.2. Métodos de recogida de embriones

La actual técnica de lavado uterino vía vaginal en la vaca ha facilitado el desarrollo de la TE y la difusión que actualmente tiene en esta especie. La técnica consiste en introducir el líquido de lavado a través de un catéter de tres o dos vías (tipo Cassou), previa dilatación cervical o sin ella, que se fija con el balón de aire en la base de un cuerno uterino, lavándose independientemente cada cuerno uterino hasta 3 veces, mediante un sistema de circuito cerrado (flujo continuo o discontinuo) o abierto (Massip *et al.*, 1986; Agca *et al.*, 1998; Merton *et al.*, 2003). En la yegua la técnica no ha cambiado en los últimos años y ha sido descrita por varios autores (Imel *et al.*, 1981; McKinnon *et al.*, 1988; Vogelsang *et al.*, 1985) consistiendo en la colocación de un catéter vía vaginal en el cuerpo uterino, atravesando el cuello uterino, y fijándolo con un balón de aire (Figura 24), para realizar varios lavados con solución fosfatada-tamponada de Dulbecco (DPBS) con un 1% de suero fetal bovino.



Figura 24. Catéter de lavado uterino fijado en el útero de la donante.

Los embriones se buscan en el filtro empleado para recogerlos (Figura 25). En la yegua el día de recogida del embrión influye en el porcentaje de recogida; de tal manera que es inferior a medida que disminuye la edad del embrión. A los 6 días postovulación se recogen menos embriones que a los 7-8 días (Vogelsang *et al.*, 1989), aunque al ser más pequeños responden mejor a la congelación-descongelación (Slade *et al.*, 1985). Se acepta que el porcentaje medio de recogida es del 50% en ciclos de ovulación simple, esto hace que se necesite bastante tiempo y dinero para conseguir una gestación de una donante determinada.

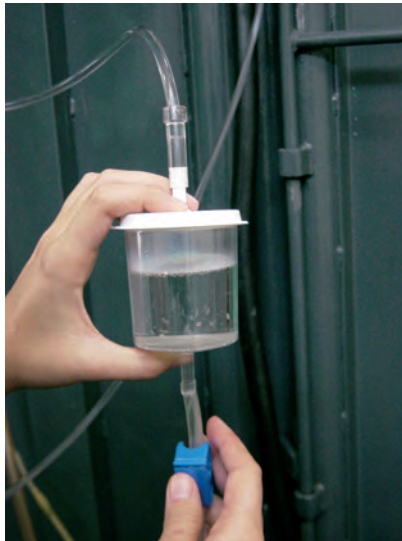


Figura 25. Filtro donde quedan retenidos los embriones.

En la cerda la recogida de embriones es quirúrgica, requiere realizar una laparotomía medio-ventral con anestesia general, para realizar lavados de oviductos con 20-30 ml de medio de lavado. En la perra las técnicas de recogida de embriones en útero son complicadas por las características del sistema reproductor y para ello se requieren métodos quirúrgicos de lavado uterino (entre el día 9 y 11 postovulación), aunque también se emplean los lavados oviductales, ya que a diferencia de otras hembras los embriones permanecen durante mucho tiempo en las trompas, no bajando al útero hasta el noveno día postovulación en fase de mórula temprana (Toshihiko *et al.*, 2006). La recogida uterina tiene poco éxito aún, obteniéndose alrededor de un 42,5% mientras que el lavado uterino postmortem alcanza hasta un 97,1% (Tsutsui *et al.*, 2001).

3.3. Calidad de los embriones

Actualmente se siguen empleando criterios de valoración morfológicos y morfométricos, medidos subjetivamente por la observación microscópica de la integridad de las estructuras que forman un embrión temprano (blastocisto). En la vaca en la fase de blastocisto aparece el blastocelo (cavidad entre las células o blastómeros) como consecuencia de la actividad metabólica de los blastómeros. Entre los blastocistos se distinguen tres tipos: el temprano, con menos de 100 células (día 7-8 postcelo); el expandido, con 120 blastómeros y una zona pelúcida mucho más delgada aunque íntegra (día 8-10 postcelo); y el eclosionado, que tiene alrededor de 160 células y ya ha perdido la zona pelúcida (día 9-11 postcelo).

Las clasificaciones actuales de los embriones distinguen varias categorías que se correlacionan con un determinado porcentaje de gestación en la receptora si se transfiere respetando los márgenes de sincronía entre edad de embrión y ambiente uterino de la misma; así:

- El embrión de grado 1 ó categoría excelente, es aquel que es perfectamente simétrico, presenta granulación uniforme, coincide su estado de desarrollo con la edad y el espacio perivitelino es uniforme, pudiendo dar en la vaca un 50-70% de gestaciones si se transfiere en fresco.
- El grado 2 ó de categoría buena, presenta ligeras asimetrías (p.e. zona relucida oval), y aunque sigue teniendo granulación uniforme y coincide su estado de desarrollo con la edad, sin embargo, se observa que el espacio perivitelino no es totalmente uniforme, y transferidos en fresco pueden dar entre un 40% y un 50% de gestaciones.
- El grado 3 ó regular, tiene signos de degeneración en algunos blastómeros, el blastocelo está colapsado, no es simétrico y es de menor tamaño que el que le corresponde por su desarrollo, dando si se transfieren en fresco alrededor del 30-40% de gestaciones.
- El grado 4, es de pobre calidad, normalmente no se transfiere ya que el porcentaje de gestaciones esperable es bajo (12-20%), no es simétrico, la granulación no es uni-

forme, tiene blastómeros vesiculados, hay ausencia de compactación en los blastómeros y son de menor tamaño.

Por último, aquel que tiene signos de degeneración pronunciada y que es difícil o imposible determinar su edad se cataloga como grado 5 o degenerado y no se transfiere (Merton *et al.*, 2003).

- Los embriones equinos de categoría 3 o superior tienen menos probabilidades de llegar a término que los tipo 1 y 2; de tal modo que los tipo 1 se acepta que producen un 65% de gestaciones a los 50 días (Squires *et al.*, 1992).

3.4. Métodos de transferencia de embriones

Las hembras receptoras serán elegidas en base a su estado de salud y de carnes, deberán ser cíclicas y manejables, y en el momento de transferir el embrión, es importante seleccionar a la receptora según la sincronía que tenga su actividad ovárica con respecto a la de la donante o a la edad del embrión. En la vaca esta asincronía no deberá ser superior a las 24 horas. En la vaca el desarrollo del método de TE no quirúrgico ha contribuido a la implantación comercial de la técnica. Esta modalidad requiere destreza, experiencia y cuidado para manipular el catéter en el útero de la receptora, que se encuentra en fase lútea, empleando para ello el método rectovaginal para guiarlo por el cervix cerrado.

En la yegua existen dos posibilidades de transferir los embriones: quirúrgica y no quirúrgica. Existen defensores de la transferencia quirúrgica, mediante incisión en el flanco (Imel *et al.*, 1981), frente a la transferencia vía vaginal, ya que da resultados más consistentes (65-75%) que la primera, donde varían entre un 50-75% (McKinnon *et al.*, 1988; Riera *et al.*, 1993; Vogelsang *et al.*, 1985). La técnica quirúrgica solo requiere tranquilización y anestesia local en el flanco para poder exteriorizar la parte distal del cuerno uterino donde se deposita el embrión pero, como toda técnica quirúrgica, conlleva un riesgo. En la transferencia no quirúrgica se introduce el embrión en el cuerpo uterino con la ayuda de un catéter de inseminación que lleva la dosis con el embrión, siguiendo un método similar al utilizado en la TE de la vaca.

En la yegua el grado de sincronía entre el ambiente uterino de la receptora y la edad del embrión es un factor que influye en los resultados, por lo que la selección de la receptora es uno de los puntos más críticos del programa.

Se consigue mediante seguimiento ecográfico seriado de la actividad folicular, empleo de prostaglandinas y de GnRH o hCG, para el control de la ovulación, considerándose aptas aquellas que a los 4-5 días postovulación presentan en uno de los ovarios un cuerpo lúteo, no tienen ningún tipo de contenido en el útero y el tono uterino y cervical son adecuados para esta fase. Los porcentajes de gestación no parece que varíen cuando la receptora ha ovulado un día antes o hasta tres días después que la donante (McKinnon *et al.*, 1988). Emplear yeguas ovariectomizadas tratadas con progesterona como receptoras ha dado resultados similares, pero implica que la administración del esteroide se tiene que prolongar durante alrededor de 120 días (McKinnon *et al.*, 1988).

En la cerda una diferencia de uno ó dos días antes de la receptora ó un día después no influye en la tasa de gestación. El embrión que se transfiere es más joven que en la vaca y yegua ya que la recogida es oviductal (fase de 4-8 células) y se realiza mediante laparotomía o laparoscopia para dejarlos en útero, ya que la transferencia cervical no quirúrgica tiene muy bajo éxito (10%). Normalmente se transfieren 16 blastocitos por receptora siendo necesario transferir un mínimo de 4 para mantener una gestación. El grado de supervivencia es de 60-65% (Polge, 1982). Recientemente se están experimentando métodos de transferencia vía vaginal con resultados alentadores mediante el empleo de un catéter flexible que es guiado al útero a través de un catéter cervical (Cuello *et al.*, 2005).

En la perra donde la TE es aún experimental, según el conocimiento actual y la experiencia de que se dispone, la sincronía aconsejada entre receptora y donante es de -1 a +2 días de diferencia. La dificultad estriba en conseguir mediante métodos de control de la actividad ovárica este grado de sincronía, ya que la respuesta a los tratamientos hormonales de control de la actividad ovárica sigue siendo muy variable. Por otro lado, la transferencia es quirúrgica, uterina o intraoviductal, lo que limita su difusión entre los criadores porque siempre representa un riesgo (Tsutsui *et al.*, 2001).

3.5. Métodos de conservación de embriones

Las ventajas de la conservación de embriones incluyen la posibilidad del comercio nacional e internacional, crear bancos de material genético de hembras de mucho valor y, en general, disminuye el costo de los programas de transferencia de embriones ya que el embrión se descongela y transfiere sólo cuando la receptora elegida esta preparada para ello.

Los métodos de conservación de embriones abarcan la refrigeración, congelación y vitrificación. Los embriones refrigerados (4-5 °C) de vacuno mantienen su viabilidad entre 24-72 horas con porcentajes de gestaciones entre 44-50%. Asimismo, las técnicas de refrigeración de embriones equinos (Carney *et al.*, 1991) han permitido poder transportarlos a largas distancias, e incluso, en algunos países, se centraliza su transferencia en centros específicos donde se venden yeguas receptoras sincronizadas, pudiéndose obtener buenos porcentajes (50-64%) de gestación, hasta con 30 horas de almacenamiento y sin que se incrementen significativamente los porcentajes de pérdidas embrionarias hasta el día 50 de gestación (12-15%) comparando con embriones frescos (Carney *et al.*, 1991). En ambas especies los embriones se lavan varias veces antes de refrigerarlos con solución fosfato (DPBS) con 10% de suero fetal bovino y después se envasan en medio de mantenimiento (pajuelas 0,25 ó 0,5 ml) para su refrigeración en tanques del tipo de los que se emplean para refrigerar esperma (Figura 16, pag.17).

La congelación de embriones reduce su viabilidad y el fundamento de la técnica se basa en exponerlos a concentraciones progresivas de crioprotector (normalmente en dos fases: 5% y 10%), descender lentamente la temperatura (4°C/minuto) para que la deshidratación sea apropiada, e inducir la “cristalización” controlada (seeding) manteniendo durante 15 minutos a -7 °C, seguir descendiendo a un ritmo de entre 0,3-0,6 °C/minuto hasta -30 ó -35 °C, y tras unos minutos se pueden pasar a nitrógeno líquido. En los pro-

tolocol de congelación de embriones se hace necesario emplear equipos que permiten elaborar rampas de descenso de temperatura (Figura 19-izquierda, pag. 19). Antes de transferir los embriones tras la descongelación también es necesario eliminar el crioprotector (Slade *et al.*, 1985).

El primer potro nacido de la transferencia de un embrión congelado lo fue con 6 días de edad y es que tras las experiencias de varios autores (Meira *et al.*, 1993; Pfaff *et al.*, 1993; Young *et al.*, 1997) se ha llegado a considerar que los embriones equinos de más de 6 días (blastocistos) no toleran la congelación (Slade *et al.*, 1985; Carney *et al.*, 1991), de tal modo que es más importante la edad del embrión que el crioprotector empleado, siendo los más jóvenes (6 días) más resistentes a los protocolos de congelación-descongelación. Sin embargo el embrión porcino en estado de mórula es muy sensible a temperaturas por debajo de los 15°C, mientras que el blastocisto expandido lo es menos aunque solo el 6% de los transferidos llegan a término.

Para ello se necesita emplear varios crioprotectores a altas concentraciones (p.e. glicerol, propanodiol, etilenglicol) y rampas rápidas de descenso de temperatura de hasta 3000 °C/minuto (Fahy *et al.*, 1984; Cuello *et al.*, 2005; Hudson *et al.*, 2006). Hasta la fecha se han conseguido nacidos vivos de embriones vitrificados de casi todas las especies domesticas (Massip *et al.*, 1986; Ali *et al.*, 1993; Tachikawa *et al.*, 1993; Hocht *et al.*, 1994; Szell *et al.*, 1994; Agca *et al.*, 1998; Cuello *et al.*, 2005). Este método es más rápido que el clásico de la congelación en nitrógeno líquido y no requiere equipo especial. En la yegua no todos los embriones se pueden vitrificar con éxito, recomendándose recoger el día 6,5 postovulación para que tengan un tamaño igual o menor a 300 micrómetros (Hudson *et al.*, 2006) ya que en el blastocisto la capsula externa impide la entrada de los crioprotectores en cantidad suficiente para que queden protegidos del daño que origina el proceso de vitrificación. Aunque la técnica se encuentra en fase de desarrollo, los resultados de viabilidad de embriones equinos vitrificados son similares a los congelados (60-70%) (Squires *et al.*, 1989; Hudson *et al.*, 2006); en la vaca la viabilidad de los embriones comparados con embriones congelados y frescos es bastante similar (Agca *et al.*, 1998), sin embargo en pequeños rumiantes se obtienen resultados más variables (Guignot *et al.*, 2006).

La vitrificación de embriones es una técnica de conservación que induce el paso a estado sólido por incremento de la viscosidad durante el enfriamiento pero sin cristalización.

BIBLIOGRAFÍA

- Agca Y, Monson RL, Northey DL, Abas Mazni O, Schaefer DM, Rutledge JJ (1998): Transfer of fresh and cryopreserved IVP bovine embryos: Normal calving, birth weight and gestation lengths. *Theriogenology*, Volume 50, Issue 1, 1 July 1998, Pages 147-162.
- Ali J, Shelton JN (1993): Design of vitrification solutions for the cryopreservation of embryos, *J Reprod Fertil* 99:471-477.
- Arruda RP, Ball BA, Gravance CG, Garcia AR, Liu IKM (2002): Effects of extenders and cryoprotectants on stallion sperm head morphometry. *Theriogenology* 58:253-256.
- Ball BA, Little TV, Weber JA, Wood GJ (1989): Survival of day-4 embryos from young, normal and aged, subfertile mares after transfer to normal recipient mares. *J Reprod Fertil* 85:187-209.
- Barker CAV and Gandier JCC (1957). Pregnancy in the mare resulted from frozen epididymal spermatozoa. *Can. J Comp. Med. Vet. Sci.*;21:47-50.
- Carney NJ, Squires EL, Cook VM, Seidel GE Jr, Jasko DJ (1991): Comparison of pregnancy rates from transfer of fresh vs cooled transported equine embryos. *Theriogenology* 36:23-32.
- Concannon PW (1991): Frozen semen artificial insemination in dogs. *Proceedings, Society for Theriogenology, San Diego* p: 247.
- Cuello C, Berthelot F, Martinat-Botté F, Venturi E, Guillouet P, Vazquez JM, Roca J, Martínez EA (2005): Piglets born after non-surgical deep intrauterine transfer of vitrified blastocysts in gilts. *Animal Reproduction Science* 85 (3-4):275-286.
- Dorado J, Rodríguez I, Perez C, Hidalgo M, Sanz J, Santiago J, Sánchez M (2002): Respuesta de la cabra de raza Florida al tratamiento de once días con esponjas vaginales. XXVII Jornadas Científicas y VI Jornadas Internacionales de la Sociedad Española de Ovinotecnia y Caprinotecnia. pp:1022-1027.
- Dorado J, Rodríguez I, Hidalgo M, Perez C (2004): Effect of two extenders on frozen thawed back spermatozoa. *Reproduction in Domestic Animals* 39: 271-271.
- Dorado J, Rodríguez I, Hidalgo M, Sanz J (2005): Computer-assisted análisis of goat sperm motility and velocity before and after cryopreservation. *Reproduction in Domestic Animals* 40: 401-402.
- Dorado J, Hidalgo M, Rodríguez I (2006a): Effect of sperm quality selection on buck spermatozoa cryosurvival. *Reproduction in Domestic Animals* 41: 108-108.

- Dorado J, Hidalgo M, Rodriguez I (2006b): Variations in buck semen motility assessed by CASA system: correlations with environmental temperature. *Reproduction in Domestic Animals* 41: 328-328.
- Fahy GM, MacFarlane DR, Angell CA, Meryman HT (1984): Vitrification as an approach to cryopreservation, *Cryobiology* 21: 407-426
- Fortune JE, Kimmich TL (1993): Purified pig FSH increases the rate of double ovulation in mares. *Equine Vet J* 15 (Suppl):95-98.
- Graham JK (1996). Cryopreservation of stallion spermatozoa. *Vet. Clinics of North Am: Eq Pract* pp:131-147.
- Gravance CG, Liu IKM, Davis RO, Hughes JP, Casey PJ (1996): Quantification of normal head morphometry of stallion spermatozoa. *J Reprod Fertil* 108:41-46.
- Guignot F, Bouttier A, Baril G, Salvetti P, Pignon P, Beckers JF, Touzé JL, Cognié J, Traldi AS, Cognié Y, Mermillod P (2006): Improved vitrification method allowing direct transfer of goat embryos. *Theriogenology* 66(4):1004-1011.
- Hasler JF, McCauley AD, Schermerhorn EC, Foote RH (1983): Superovulatory responses of Holstein cows, *Theriogenology* 19: 83-99.
- Heape W (1890): Preliminary note on the transplantation and growth of mammalian ova within a uterine foster mother. In: (68th ed.), *Proc. R. Soc. London* 48: 457-457.
- Hidalgo M, Rodriguez I, Dorado J, Perez C, Sanz J (2004): Comparison of three staining procedures used for computer-assisted buck sperm head morphometry analysis. *Reproduction in Domestic Animals* 39: 271-271.
- Hidalgo M, Rodriguez I, Dorado J, Sanz J (2005a): Influence of environmental temperature on sperm head morphometry in Florida buck. *Reproduction in Domestic Animals* 40: 363-363.
- Hidalgo M, Rodriguez I, Dorado J, Sanz J (2005b): Effect of simple size and staining methods on stallion sperm morphometry by the Sperm Class Analyzer. *Veterinarni Medicina II Veterinary Medicine-Czech* 50: 24-32.
- Hidalgo M, Dorado J, Rodriguez I (2006a): Principal components analysed within the morphometric parameters of goat sperm head. *Reproduction in Domestic Animals* 41: 111-111.
- Hidalgo M, Rodriguez I, Dorado J (2006b): The effect of cryopreservation on sperm head morphometry in Florida male goat related to sperm freezability. *Animal Reproduction Science*, pp 335-337.
- Hidalgo M, Rodriguez I, Dorado J (2006c): Análisis of the principal components within the morphometrics parameters of stallion spermatozoa. *Reproduction in Domestic Animals* 41: 318-318.

- Hidalgo M, Rodriguez I, Dorado J (2006d): Influence of staining and sampling procedures on goat sperm morphometry using the Sperm Class Analyzer. *Theriogenology* 66: 996-1003.
- Hidalgo M, Rodriguez I, Dorado J, Soler C (2006e): Morphometric Classification of Spanish Throughbred stallion semen according to sperm head size measurements. *Animal Reproduction Science* 94: 26-28.
- Hidalgo M, Rodriguez I, Dorado J, Sanz J (2006f): Morphometric sperm head dimensions of goat spermatozoa are affected by cryopreservation. *Reproductions in Domestic Animals* 40:362-362.
- Hochi S, Fujimoto T, Braun J, Oguri N (1994): Pregnancies following transfer of equine embryos cryopreserved by vitrification, *Theriogenology* 42:483-488.
- Hudson J, McCue PM, Carnevale EM, Welch S, Squires EL (2006): The effects of cooling and vitrification of embryos from mares treated with equine follicle-stimulating hormone on pregnancy rates after nonsurgical transfer. *J Equine Vet Science* 26 (2):51-54.
- Imel KJ, Squires EL, Elsdon RP, Shideler RK (1981): Collection and transfer of equine embryos. *Am Vet Med Assoc* 179: 987-991.
- Karagiannidis A, Varsakeli S, and Karatzas G. 2000: Characteristics and seasonal variations in the semen of Alpine, Saanen and Damascus goat bucks born and raised in Greece. *Theriogenology*, 53:1285-1293.
- Lindsey AC, Schenk JL, Graham JK, Bruemmer JL, Squires EL (2002): Hysteroscopic insemination of low numbers of flow and frozen/thawed stallion spermatozoa. *Equine Vet J* 34:121-127.
- Martinez EA, Vázquez JM, Roca J, Lucas X, Gil MA, Vázquez JL (2001): Deep intrauterine insemination and embryo transfer in pigs. In: Geisert, R.D., Niemann, H., Doberska, C. (Eds.), *Control of Pig Reproduction, Reproduction Supplement*, 58. Cambridge University Press, London, pp. 301-311.
- Massip A, Van Der Zwalmen B, Scheffen B, Ectors F (1986): Pregnancies following transfer of cattle embryos preserved by vitrification, *Cryo-Lett* 7: 270-273.
- McCue PM, Hughes JP, Lashley BL (1993): Effect on ovulation rate of passive immunization of mares against inhibin. *Equine Vet J* 15 (Suppl):103-106.
- McKinnon AO, Squires EL, Carnevale EM, Hermetet MJ (1988): Ovariectomized, steroid-treated mares as embryo transfer recipients and as model to study the role of progestins in pregnancy maintenance. *Theriogenology* 29:1055-1063.

- Meira C, Alvarenga MA, Pappa OF, Abba E, Landon E, Alvarenga FC (1993): Cryopreservation of equine embryos using glycerol and 1,2 propanediol as cryoprotectants. *Equine Vet J* 15(Suppl):64-66.
- Merton JS, Roos APW, Mullaart E, Ruigh L, Kaal L, Vos PLAM, Dieleman SJ (2003): Factors affecting oocyte quality and quantity in commercial application of embryo technologies in the cattle breeding industry. *Theriogenology* 59(2):51-674.
- Pfaff R, Seidel GE Jr, Squires EL, Jasko DJ (1993): Permeability of equine blastocyst to ethylene glycol and glycerol. *Theriogenology* 39: 284 abstr.
- Pickett BW and Amann RP (1993). Cryopreservation of semen. In: McKinnon, A.O.; Voss, J.L. (eds). *Equine Reproduction*. Philadelphia, Lea and Febiger; 769-785.
- Polge C (1982): Embryo transplantation and preservation. In: Cole DJA, Foxcroft GR (Eds.), *Control of Pig Reproduction*. Butterworth Scientific, London.
- Riera FL, McDonough J (1993): Commercial embryo transfer in polo ponies in Argentina. *Equine Vet J* 15(Suppl):116-119.
- Ritar AJ, Salamon S, 1982: Effects of seminal plasma and its removal and of egg yolk in the diluent on the survival of fresh and frozen-thawed spermatozoa of the Angora goat. *Aust J Biol Sci* 35: 305-312.
- Roca J, Hernandez M, Carvajal G, Vazquez JM, Martinez EA (2006): Factors influencing boar sperm cryosurvival. *J Anim Sci* 84(10): 2692-9.
- Rodriguez I, Sanz J, Acosta M, Pérez C, Mota J (1999): Situación actual de la congelación del esperma equino. II Congreso Iberico de Reproducción Animal (Lugo, España). pp: 175-179.
- Rodriguez I, Sanz J, Pérez C, Felipe M, Dorado J, Hidalgo M (2001): Fertilidad in vivo del esperma equino congelado-descongelado. I Jornadas de Investigación en Veterinaria (Córdoba, España). pp: 317-321.
- Rodriguez I, Hidalgo M, Pérez C, Dorado J, Sanz J (2003a): Diámetro del folículo preovulatorio, cohorte folicular y fertilidad en la yegua de Pura Raza Española. IV Congreso Iberico de Reproducción Animal (Las Palmas de Gran Canaria, España) pp:83-83.
- Rodriguez I, Perez C, Dorado J, Hidalgo M, Sanz J (2003b): Estudio ecografico de los folículos preovulatorios en vacas repetidoras de aptitud láctea. IV Congreso Iberico de Reproducción Animal (Las Palmas de Gran Canaria, España) pp:119-119.
- Rodriguez I, Hidalgo M, Dorado J, Sanz J (2005): Effect of centrifugation on motility of Spanish Thoroughbred stallion semen cooled for up to 72 h. *Reproduction in Domestic Animals* 40:362-363.

- Rodríguez I, Hidalgo M, Dorado J, Bottrel M (2006): Comparison of two procedures for sperm cryopreservation in the stallion. 8º Congreso de la Asociación Española de Reproducción Animal (Murcia, España).
- Royere D, Hamamah S, Nicolle JC, Barthelemy C, Lansanc J (1988): Freezing and thawing alter chromatin stability of ejaculated human spermatozoa: fluorescence acridine orange staining and Fielgen-DNA cytophotometric studies. *Gamete Res* 21:51-57.
- Samper JC, Hearn P, Ganheim A and Curtis E (1994). Pregnancy rates and effect of extender on motility and acrosome status of frozen-thawed stallion spermatozoa. *Proc. Am. Assoc. Equine Pract. Vancouver* pp:41-43.
- Slade NP, Takeda T, Squires EL, Elsdon RP, Seidel GE Jr (1985): A new procedure for the cryopreservation of equine embryos, *Theriogenology* 24:5-58.
- Squires EL, Imel KJ, Iuliano MF (1982): Factors affecting reproductive efficiency in an equine embryo transfer program. *J Reprod Fertil* 30(Suppl):409-414.
- Squires EL, Garcia RH, Ginther OJ, Voss JL, Seidel GE Jr (1986): Comparison of equine pituitary extract and follicle stimulating hormone for superovulating mares. *Theriogenology* 26:661-670.
- Squires EL, Seidel GE Jr, McKinnon AO (1989): Transfer of cryopreserved equine embryos to progestin-treated ovariectomized mares. *Equine Vet J* 8(Suppl): 89-91.
- Squires EL, Cook VM, Jasko DJ, Tarr SF (1992): Pregnancy rates after collection and shipment of equine embryos (1988-1991). *Proc. 38th Am. Assoc. Equine Pract* pp:609-618.
- Szell AZ, Windsor DP (1994): Survival of vitrified sheep embryos in vitro and in vivo, *Theriogenology* 42: 881-889.
- Tachikawa S, Otoi T, Kondo S, Machida T, Kasai M (1993): Successful vitrification of bovine blastocysts, derived by in vitro maturation and fertilization, *Mol Reprod Dev* 34:266-271.
- Thomas CA, Garner DL, DeJarnette JM, Marshall CE (1998): Effect of cryopreservation on bovine sperm organelle function and viability as determined by flow cytometry. *Biol Reprod* 58:786-793.
- Toshihiko Tsutsui, Tatsuya Hori, Shinobu Endo, Arata Hayama, Eiichi Kawakami (2006): Intrauterine transfer of early canine embryos. *Theriogenology* 66:6-7.
- Tsutsui T, Hori T, Okazaki H, Tanaka A, Shiono M, Yokosuka M, Kawakami E (2001): Transfer of canine embryos at various developmental stages recovered by hysterectomy or surgical uterine flushing. *J Vet Med Sci* 63: 401-405.

- Valcárcel A, de las Heras MA, Pérez L, Moses DF, Baldasarre H (1994): Fluorescent staining as a method of assessing membrane damage and post-taw survival of ram spermatozoa. *Theriogenology* 41:483-489.
- Vogelsang SG, Bondioli KR, Massey JM (1985): Commercial application of equine embryo transfer. *Equine Vet J* 3: 89-91.
- Vogelsang SG, Vogelsang MM (1989): Influence of donor parity and age on the success of commercial embryo transfer. *Equine Vet J* 8(Suppl):71-73.
- Willet EL, Buckner PJ, Larson GL (1953): Three successful transplantations of fertilized bovine eggs. *J. Dairy Sci.* 37: 520-520.
- Wilson MS (1993): Non surgical intrauterine artificial insemination in bitches using frozen semen. *J Reprod Fertil Suppl*
- Woods GL, Ginther OJ (1983): Induction of multiple ovulations during the ovulatory season in mares. *Theriogenology* 20:347-355.
- Young CA, Squires EL, Seidel GE, Kato H, McCue PM (1997): Cryopreservation procedures for day 7-8 equine embryos. *Equine Vet J* 25(Suppl):98-102.

CAPÍTULO 6

MÉTODOS GENÉTICOS Y ESTADÍSTICOS DE DIFERENCIACIÓN DE POBLACIONES GANADERAS Y ESTABLECIMIENTO DE LA SINGULARIDAD RACIAL

**Pedro Javier Azor Ortiz¹, Juan Pablo Gutiérrez García² y
Félix Goyache Goñi³**

1 Dpto. de Genética. Facultad de Veterinaria. Universidad de Córdoba. Edif. Mendel, pl baja. Campus Univ. de Rabanales. Ctra. Madrid-Cádiz (N-IV) Km. 396. 14071 Córdoba. España.

2 Dpto. de Producción Animal. Facultad de Veterinaria. Universidad Complutense de Madrid. Campus de Moncloa. Avda. Puerta de Hierro, s/n. 28040 Madrid. España

3 SERIDA · Somió Camino de los claveles nº 604. 33203 Somió. Gijón. Asturias. España.

1. INTRODUCCIÓN

Desde que en las últimas décadas del siglo XX organizaciones internacionales como la Federación Europea de Zootecnia (FEZ-EAAP) o la FAO promovieron su descripción y utilización, las razas ganaderas se han convertido en las unidades de trabajo de la Producción y Conservación Animal. A diferencia del concepto de especie, no existe una frontera natural clara que permita diferenciar unas razas de otras. En un sentido práctico, raza sería el conjunto de genes de un número de individuos identificables, que se reproducirían entre sí y que compartirían circunstancias históricas, ecológicas, geográficas y finalidades productivas. Dado que los límites entre las razas son más bien difusos, la relajación de algunos de esos requisitos (cierto aislamiento reproductivo, fenotipos particulares, diferentes vocaciones productivas, etc.) podrían hacer pensar en la existencia de razas diferentes o de líneas o variedades dentro de una raza. Esto afectaría tanto a las razas locales (restringidas a un área geográfica concreta) como a las cosmopolitas.

De la definición anterior se desprende la necesidad de caracterizar las razas ganaderas, esto es, buscar las causas que hacen posible su diferenciación. Asimismo, cabe preguntarse si está justificado caracterizar razas ganaderas. Existen varias razones para caracterizar las poblaciones ganaderas que muestran la importancia de los recursos genéticos animales en programas de conservación, de forma que se definan los límites que los diferencian respecto de otras unidades taxonómicas del mismo nivel: raza, estirpe o línea. Por otra parte, la caracterización racial permitiría identificar reservorios de variabilidad genética de las especies.

En el marco de las directrices de la FAO (1992), parece necesario caracterizar la importancia cultural de las razas amenazadas. Si bien este aspecto está sometido a un fuerte componente subjetivo (Simon, 1999), recientes iniciativas, como las descritas por Gandini y Villa (2003), permiten establecer procedimientos objetivos para evaluar la importancia cultural de las razas locales como depositarios de tradiciones culturales. En el caso de las

razas de escasa viabilidad, su caracterización debe permitir priorizar su conservación en situaciones de recursos humanos y financieros limitados. En todo caso, parece necesario llevar a cabo la caracterización de las razas ganaderas en su propio ambiente, ya que normalmente han experimentado procesos de selección para la adaptación a unas determinadas condiciones ecológicas o productivas como consecuencia, muchas veces, de un claro efecto de interacción entre la ecología y el peculiar desarrollo de los animales domésticos que de determinadas áreas geográficas.

Si caracterizar una raza ganadera es importante, de lo anterior se deduce que es necesario caracterizar con la mayor precisión posible el valor potencial de una raza en tres aspectos principales (Simon, 1999):

- Su singularidad genética o fenotípica. Algunas razas podrían tener un trato prioritario por poseer caracteres distintivos de comportamiento, fisiológicos o productivos, independientemente de que estos caracteres se deban al efecto de genes mayores o de genes de efecto aditivo o sean resultado de selección natural o artificial. Estos caracteres pueden ser de importancia económica para los mercados actuales o futuros, especialmente si se tiene en cuenta el interés de las sociedades desarrolladas por la calidad alimentaria.

- Su variabilidad genética. Conocer el grado de singularidad genética de una raza es importante, ya que es más probable una raza "diferente" posea un fondo genético distinto, lo que puede posibilitar su adaptación a condiciones ambientales futuras asegurando el mantenimiento de suficiente variabilidad genética en una especie de forma que se asegure su capacidad evolutiva y respuesta a la selección.

- Su valor cultural. En las naciones europeas, la razón más importante que promueve la caracterización y conservación de las razas ganaderas es que se consideran parte de su patrimonio histórico y cultural. Caracterizar el valor cultural de una raza es complejo, ya que presenta un fuerte componente subjetivo y depende el tiempo que hace que la raza esté asentada en el área, la importancia histórica de sus productos y con los actos culturales de un determinado grupo humano.

2. FUENTES DE INFORMACIÓN DISPONIBLES PARA LA CARACTERIZACIÓN Y DIFERENCIACIÓN DE POBLACIONES

2.1. Caracterización exteriorista

La caracterización morfológica se basa en la obtención, en una muestra estadísticamente representativa, de los valores poblacionales para una serie de caracteres externos de naturaleza continua (pesos, alzadas, perímetros o diámetros) o de las frecuencias de aparición de caracteres cualitativos (variación del color de la capa, existencia y forma de los cuernos, perfiles cefálicos o hirsutismo, entre otros). Al tratarse de especies de abasto, la caracterización fenotípica debe completarse mediante una caracterización productiva utilizando técnicas estadísticas similares, dependientes de que el carácter productivo que se analice se mida como una variable continua (como en los casos de la ganancia de peso diario o la cantidad de leche producida en una lactación) o discreta (como la dificultad de parto). Los valores de los caracteres productivos y los morfológicos de natura-

leza continua resultan de la expresión de un fondo genético particular, pero están fuertemente influidos por el ambiente en que se hayan desarrollado los individuos y los valores medios encontrados sólo son realmente informativos de una población cuando los individuos muestreados han sido suficientes en número y con una distribución adecuada en diferentes ambientes, para permitir la asunción de que los efectos no genéticos se han neutralizado entre sí.

Existen varios trabajos que han resultado de gran importancia para la caracterización morfológica de las razas ganaderas españolas (Herrera *et al.*, 1996; Jordana *et al.*, 1995; Jordana y Parés, 1995). De ellas se puede proponer la realización de una caracterización morfológica y productiva de las razas de animales domésticos, basadas en las siguientes actuaciones:

- Diseño del muestreo y plan de mediciones.
- Creación de bases de datos
- Cálculo de estadísticos descriptivos
- Análisis de la varianza para cada variable entre poblaciones.
- Análisis Discriminante Canónico
- Establecimiento de distancias de Mahalanobis entre poblaciones
- Construcción de clústeres con las relaciones filogenéticas estimadas mediante las distancias.

En cualquier caso la base de la caracterización morfológica se basa en la obtención de información fiable sobre un gran número de caracteres morfológicos. Los libros clásicos de zootecnia hacían un extraordinario hincapié en la zoometría realizada con bastón de Lydthin y cinta métrica (Aparicio 1944). Sin embargo, la realización de zoometría es una tarea tediosa, que exige un gran esfuerzo físico y gasto en tiempo y que, al menos en grandes animales manejados en extensivo, no está exenta de riesgo tanto para los operadores como para los animales. Además la zoometría clásica, basada en cinta métrica y bastón de Lydthin presenta un alto grado de error, aunque se realice siempre por el mismo operador y con los mismos útiles de medida. Es por ello, que la zoometría clásica ha sido sustituida en la práctica por una zoometría indirecta, que es la calificación morfológica lineal de los animales. Los avances experimentados por la fotografía digital han permitido desarrollar instrumentos en el ámbito académico que permiten obtener variables zoométricas a partir de imágenes digitales (Zehender *et al.*, 1996; Goyache *et al.*, 2001). El error de las medidas obtenidas mediante estas tecnologías, respecto de las obtenidas de forma clásica, es bajo si las condiciones de toma de la fotografía son adecuadas (Zehender *et al.*, 1996). Estas tecnologías tienen como ventajas más importantes:

- a) La minimización del riesgo y esfuerzo físico para los operadores
- b) La posibilidad de realizar la zoometría de forma diferida en laboratorio, con lo que se puede realizar una mejor organización del trabajo
- c) La obtención de nuevos parámetros zoométricos que puedan resultar de utilidad en la evaluación morfológica de los animales, especialmente, una evaluación de la convexidad de los perfiles.

2.2. Caracterización genética

La caracterización exteriorista de los animales refleja, en cierta medida, la actuación de genes, bien de efecto mayor, como en muchos casos de características cualitativas (el color de la capa de la capa, entre otras) o de efecto aditivo como es el caso de las variables zoométricas relacionadas con el desarrollo (tamaño y peso). Como contraste, la caracterización genética utiliza, principalmente, el polimorfismo de genes neutros (marcadores Tipo II), como los marcadores de tipo microsatélite, o secuencias no codificantes como la de la región de control de la replicación del ADN mitocondrial o D-loop.

No hay razones técnicas que impidan, *a priori*, utilizar el polimorfismo de secuencias del genoma que codifican proteínas (marcadores Tipo I) para caracterizar y cuantificar la diversidad genética y grado de diferenciación de las distintas poblaciones animales. Las técnicas estadísticas y de biología molecular que deberían utilizarse para el análisis de la información procedente de *loci* codificantes o neutros viene a ser fundamentalmente la misma. Sin embargo, hay una causa fundamental que hace que los investigadores se decanten a favor de los marcadores neutros: el efecto que produce un gen (la proteína que codifica) puede tener interés económico o resultar de importancia para la capacidad de adaptación de los animales a diferentes condiciones ambientales. En el primer caso, el polimorfismo que encontremos en una raza dada puede deberse no al azar sino a la acumulación provocada por la selección realizada por el hombre de unos determinados alelos; en el segundo caso, las mutaciones que no resulten beneficiosas para la adaptación del animal al ambiente tenderán a no encontrarse ya que serán “depuradas”. En todo caso, la diferenciación encontrada puede ser mayor o menor de lo esperado por causas ajenas a los organismos estudiados.

A efectos de conocer el grado de diferenciación genética entre poblaciones animales resulta más útil la utilización de la información procedente de los marcadores genéticos neutros cuyas mutaciones generalmente no producen alteración funcional o fenotípica.

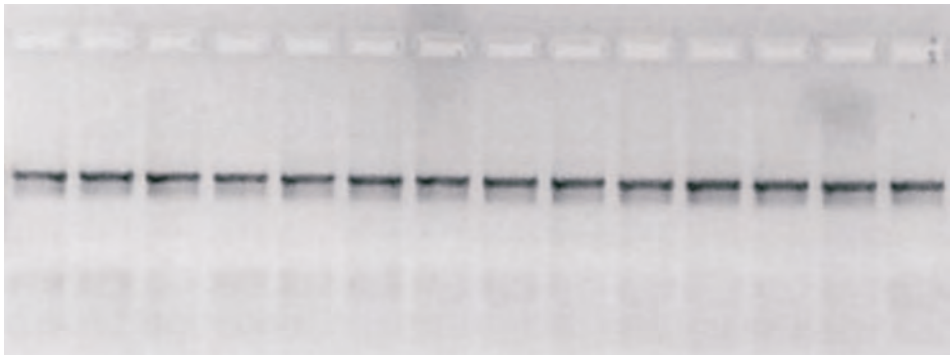


Figura 1. Fragmentos amplificados por PCR pertenecientes al gen CAST en la bovina Retinta. Imagen cedida por Carmen Avilés. Laboratorio de Diagnóstico Genético Veterinario del Grupo de Investigación MERAGEM (PAI AGR-158). Dpto. Genética. Universidad de Córdoba.

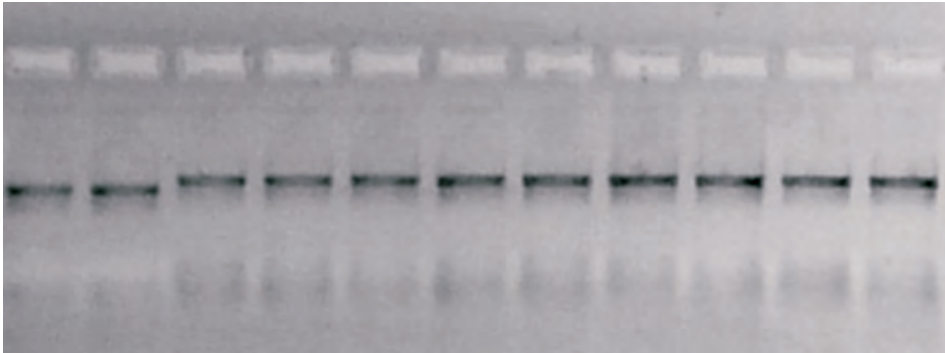


Figura 2. Fragmentos amplificados por PCR pertenecientes al gen CAST en la bovina Pajuna. Imagen cedida por Carmen Avilés. Laboratorio de Diagnóstico Genético Veterinario del Grupo de Investigación MERAGEM (PAI AGR-158). Dpto. Genética. Universidad de Córdoba.

Un marcador molecular útil para su utilización en diversidad y caracterización de poblaciones animales es aquel factor polimórfico heredable según un modelo mendeliano simple, codominante, con interpretación clara y reproducible entre laboratorios (Avisé, 1994). Generalmente, los marcadores neutros, que se utilizan en caracterización de poblaciones, son secuencias (bien de intrones de genes somáticos, bien del D-loop del ADN mitocondrial) o bien microsátélites.

La mayor parte del genoma son zonas no codificantes (intrones) sin utilidad conocida donde teóricamente es posible que se acumulen mutaciones. Sin embargo este concepto está sometido a revisión y estos intrones pueden tener cierta función, entre otras, en la regulación del grado de expresión de los genes. Es por ello que se tiende a no utilizar este tipo de secuencias, siendo la secuencia más utilizada la de la región de control de la replicación del ADN mitocondrial, que se conoce extraordinariamente bien y tiene características deseables (Sbisà *et al.* 1997): es una región hipervariable, que acumula un gran número de mutaciones, tiene áreas bien conservadas entre especies y su herencia es fundamentalmente materna. Esto permite caracterizar situaciones seudofilopátricas, en la medida en que es posible que las hembras tengan una difusión menor que los machos de la misma especie: razas ganaderas de aspectos externos muy diferentes, pero que presenten una composición similar de su ADN mitocondrial, pueden ser resultado de una introgresión via macho (Hanotte *et al.*, 2002; Royo *et al.*, 2005; Pedrosa, 2006). Por el contrario, la enorme variabilidad que es posible encontrar en el D-loop puede producir homoplasias, esto es, mutaciones recurrentes en el mismo sitio polimórfico que den la imagen de igualdad en estado cuando en realidad se hayan podido producir varios sucesos mutacionales inaparentes (Sbisà *et al.* 1997). En todo caso, las herramientas estadísticas que se utilizan en estos casos son muy simples, siendo la más frecuente en razas ganaderas que llevan poco tiempo diferenciadas (en términos evolutivos), la denominada Distancia p que es simplemente el porcentaje de sitios polimórficos diferentes entre dos secuencias de igual longitud (Kumar *et al.*, 2001).

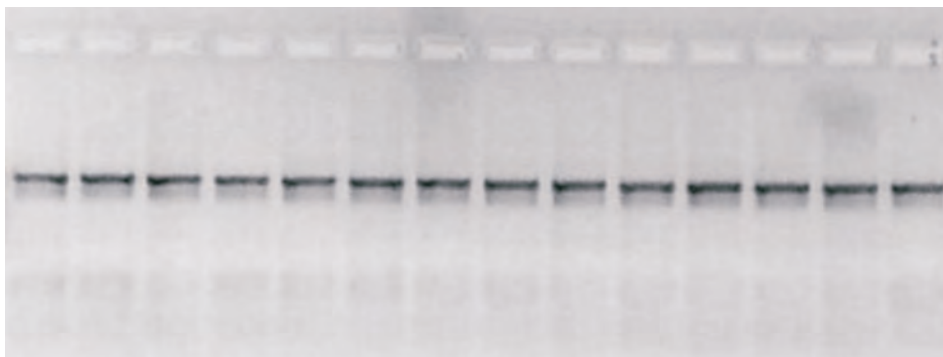


Figura 3. Fragmentos amplificados por PCR y purificados pertenecientes a la región D-Loop del ADN mitocondrial en 9 caballos. Imagen cedida por Ana Jiménez. Laboratorio de Diagnóstico Genético Veterinario del Grupo de Investigación MERAGEM (PAI AGR-158). Dpto. Genética. Universidad de Córdoba.

Por el contrario, los marcadores somáticos de tipo microsatélite tienen una herencia dependiente de ambos sexos y no sólo caracterizan la herencia materna. Además tienden, por su alto grado de polimorfismo, a adjudicar la mayor parte de la variabilidad genética a los individuos, más que a las poblaciones que los agrupan, lo que hace que la diferenciación entre poblaciones que se obtiene con ellos sea, muchas veces, pequeña y que sirvan, fundamentalmente para caracterizar procesos evolutivos recientes (Hedrick, 1999; Balloux *et al.*, 2002). La distancia genética entre poblaciones puede ser definida en términos estadísticos midiendo el número de variaciones alélicas de cada *locus* que se han acumulado entre dos poblaciones que divergieron entre sí a partir de una población ancestral (Dobzhansky, 1976). A partir de las frecuencias de los diferentes alelos en los diferentes *loci* analizados en cada población pueden calcularse un gran número de distancias genéticas (ver capítulo 19 del Volumen I).

3. MÉTODOS DE CUANTIFICACIÓN DE LA DIVERSIDAD Y DIFERENCIACIÓN DE LAS POBLACIONES ANIMALES

3.1. Para caracteres externos

3.1.1. Análisis de Varianza

El análisis de la varianza (ANOVA: Analysis of variance) es un método para comparar dos o más medias. El método se basa en estimar la varianza de la variable de dos maneras distintas y compararlas. Así, la varianza de la variable (O_2) puede ser estimada a partir de la suma de los cuadrados de las desviaciones de los datos con respecto a la media de su grupo, dividida entre los grados de libertad correspondientes (número total de datos menos número de grupos,

$$\sigma^2 = \frac{\sum (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n - m}).$$

La varianza entre las medias de los grupos puede ser calculada directamente a partir de las propias medias (suma de cuadrados de las desviaciones de las medias con respecto a la media global partida por los grados de libertad que se corresponden con el número de medias menos una,

$$\sigma_m^2 = \frac{\sum (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{m-1}$$

Bajo la hipótesis nula (H_0), los datos se reparten aleatoriamente dentro de los grupos, de manera que la varianza entre las medias debe ser la esperada por azar, es decir, la varianza de la variable dividida por el número de datos dentro de cada grupo,

$$\sigma_m^2 = \frac{\sigma^2}{(n/m)}$$

Por tanto, la varianza entre las medias nos permite estimar también la varianza de la variable, la cuál puede ser comparada con la obtenida anteriormente. La importancia de la discrepancia entre ambos valores se encuentra tabulado para distintos tamaños muestrales. Así, si la varianza entre las medias es superior a este valor, la hipótesis nula no puede sostenerse y debemos acudir a la hipótesis alternativa (H_A) según la cuál, al menos una de las medias es diferente a las demás, atribuyendo esta diferencia al agrupamiento realizado.

La utilización de modelos lineales para explicar la variabilidad de una característica y , conlleva siempre la existencia de un error (e). Así, dada la ecuación del modelo ($y_i = \text{Factores} + e_i$), cada uno de los datos puede ser aproximado si se conoce el valor de los diferentes factores. La estimación del efecto proporcionado por los distintos factores suele realizarse a partir de medias. Entre todos los procedimientos que permiten estimar las medias están los procedimientos mínimo cuadráticos que se basan sencillamente en la utilización de las expresiones resultantes de minimizar la suma de los cuadrados de los errores

$$(\min \sum e_i^2 = \min \sum (y_i - \text{Factores})^2).$$

La estimación resultante se llama entonces mínimo cuadrática. Así, por ejemplo, si el modelo sólo contempla la media general, la estimación mínimo cuadrática coincide con la media aritmética, si se considera una variable distribuida en clases, la estimación mínimo cuadrática consistirá en la media aritmética para cada una de las clases, y si el modelo contempla otros factores, las estimaciones mínimo cuadráticas corresponderán a las medias ajustadas para los otros factores del modelo.

3.1.2. Prueba de chi-cuadrado y estimaciones mínimo cuadráticas

Cuando la variable en estudio no tiene una distribución normal, las pruebas estadísticas deben llevarse a cabo bajo pruebas llamadas no paramétricas. De ellas la más conocida y comúnmente utilizada es la llamada prueba de chi-cuadrado, que mide la discrepancia entre los valores observados y los esperados, indicando en qué medida las diferencias existentes entre ambas, de haberlas, se deben al azar. Su expresión es sencilla:

$$\chi^2 = \frac{(O - E)^2}{E}$$

Nuevamente estas discrepancias entre lo observado y lo esperado se encuentran disponibles en una tabla que lleva el mismo nombre que la prueba y que nuevamente depende de los grados de libertad disponibles.

3.1.3. Distancia de Mahalanobis

La distancia de Mahalanobis entre individuos o poblaciones se puede describir como

$$d_m^2(i, j) = (x_i - x_j)' w^{-1} (x_i - x_j)$$

donde w es la matriz de varianzas-covarianzas intrapoblacional y $(x_i - x_j)$ son los vectores observados en las poblaciones i y j . La distancia de Mahalanobis es la distancia de elección para conocer el grado de diferenciación entre poblaciones mediante caracteres de variación continua ya que permite ajustar las diferencias por el grado de variación intraraza.

3.2. Para datos moleculares

Cuando los recursos humanos y económicos son limitados, los gestores en materia ganadera pueden precisar establecer prioridades en la puesta en marcha de programas de conservación. Una forma de establecer estas prioridades consiste en cuantificar la importancia o aportación genética de cada población o raza a la diversidad de un país o especie. En este sentido, debe considerarse que la importancia genética de una raza depende de la variabilidad genética intra-raza, la diferenciación entre razas y de la relación entre diversidad intra y entre razas. Como desarrollamos ampliamente en el Capítulo 19 del volumen I de esta monografía, la evaluación de la diversidad intra raza y la diferenciación entre razas se ha venido realizando durante las últimas décadas mediante el análisis de datos moleculares procedentes de marcadores neutros. La información molecular permite conocer el valor de diferentes parámetros y distancias útiles para conocer el grado de diferenciación de las poblaciones. Sin embargo, esto no es suficiente para decidir qué población o raza es prioritaria para su conservación. Desde los años 90 del siglo XX se han desarrollado muchos métodos estadístico-genéticos que utilizan la información de estos marcadores para estos fines.

3.2.1. Distancias genéticas y estadísticos-F

La distancia genética entre poblaciones ya ha sido tratada ampliamente en el Capítulo 19 del volumen I de esta monografía, por lo que en este capítulo tan solo vamos a hacer algunas consideraciones muy breves.

Existen diversos estadísticos que miden la distancia genética entre poblaciones basándose en el análisis de las frecuencias de marcadores genéticos, sobre todo de marcadores de tipo microsatélite por las cualidades que presentan. Las medidas de distancias genéticas entre poblaciones proveen información muy importante acerca de las relaciones genéticas existentes entre razas y/o líneas, ayudando a seleccionar y priorizar aquellas que deben ser conservadas.

En la actualidad existe un gran abanico de distancias genéticas y no existe un convenio general sobre cual de las distancias es la más apropiada para el análisis de poblaciones. No obstante, las correlaciones entre varias medidas son, generalmente, bastante altas (Nei, 1983), particularmente cuando se aplican a poblaciones locales como es el caso de poblaciones ganaderas cuya diferenciación genética se ha producido recientemente en términos evolutivos. No obstante se ha comprobado que la distancia de Reynolds (DR; Reynolds *et al.* 1983) que asume condiciones puras de ausencia de mutación, está fuertemente relacionado con la F_{ST} que, a su vez se relaciona linealmente con la D_m de Nei (1973) es la distancia que mejor caracteriza procesos evolutivos recientes, debidos fundamentalmente a la deriva genética de las poblaciones, como es el caso de nuestras razas ganaderas (Eding y Laval, 1999).

En todo caso, los estimadores clásicos de diferenciación genética entre poblaciones F_{ST} (Wright, 1965) y G_{ST} (Nei, 1972) están considerados herramientas de trabajo apropiadas en los casos de razas en recesión en las que las líneas genealógicas pueden estar relativamente próximas y en las que la deriva genética y no la mutación parece tener el papel más relevante en el proceso de diferenciación. Al parámetro F_{ST} se le conoce como coeficiente de diferenciación genética, lo que nos indica acerca de la proporción de variación total que es debida a la diferencia entre las poblaciones. El parámetro G_{ST} (Nei, 1973; 1977), es análogo al F_{ST} y es independiente del número de alelos presentes en cada locus.

En la actualidad la estimación de estos parámetros puede realizarse haciendo uso de la información molecular presente en las poblaciones que forman la muestra (Lynch y Crease, 1990, Excoffier *et al.*, 1992, Pons y Petit, 1996).

3.2.2. Métodos de cuantificación de la variabilidad genética

La cuantificación de la importancia genética de una raza ganadera sólo resulta válida en el contexto en que se realiza el análisis, variando con la adición de nuevas poblaciones ganaderas. Durante la década de los 90 del siglo XX se propuso la utilización de un número importante de métodos filogenéticos para evaluar la diversidad y establecer prioridades de conservación (Krajewski 1994). Estos métodos se basan en la asunción de que la extinción de un taxón produce una pérdida de diversidad inversamente proporcional a la “cercanía” de los taxones supervivientes con el extinto. Aunque los métodos filogenéticos basados en distancias genéticas ignoran la diversidad intra-poblacional (Krajewsky, 1994; Caballero y Toro, 2002), el propuesto por Weitzman (1992) se ha utilizado ampliamente en producción animal (ver Ollivier y Foulley, 2005) tras su primera aplicación en el contexto ganadero realizada por Thaon d'Arnoldi *et al.* (1998). Sin embargo,

el método de Weitzman es de naturaleza recursiva y exige gran esfuerzo de cálculo. Un método más simple sin las limitaciones computacionales del propuesto por Weitzman podría ser ventajoso.

En contraste con los métodos filogenéticos Petit *et al.* (1998), Caballero y Toro (2002) y Eding y Meuwissen (2001) han propuesto la maximización de la diversidad genética de Nei (1973) o heterocigosis esperada como criterios para cuantificar la diversidad genética existente en un conjunto de razas ganaderas. El conjunto de razas a conservar sería aquel que minimizara el número de razas conservando la mayor proporción posible de la diversidad genética representada por el conjunto de razas estudiadas. Estos métodos se basan en varianzas con lo que se pueden producir contribuciones genéticas negativas a la diversidad genética general, aunque permiten manejar de una forma adecuada la diversidad genética intra raza.

3.2.2.1. El método de Weitzman

El propuesto por Weitzman (1992) es un método filogenético que ha basado parte de su éxito en el cumplimiento estricto de 4 criterios:

- a) Continuidad, entendida como el hecho de que la diversidad genética total representada por un conjunto de razas no puede incrementarse cuando una de ellas se elimina del análisis.
- b) Gemelaridad, entendida como el hecho de que la adición de un elemento idéntico al conjunto de razas estudiadas no cambia la diversidad total.
- c) Continuidad, en la distancia entendida como el hecho de que un pequeño cambio en las distancias genéticas entre razas no puede producir un gran cambio en la diversidad total
- d) Monotonicidad, en la distancia entendida como el hecho de que la diversidad genética de un conjunto de razas se incrementa cuando la distancia entre esas razas aumenta.

En resumen, el método de Weitzman, como todos los métodos filogenéticos es un método aditivo y sus resultados son fácilmente comprensibles, en la medida en que la eliminación de una raza siempre produce una pérdida de diversidad.

Brevemente, la medida de diversidad de Weitzman (V) (Weitzman, 1992; Thaon d'Arnoldi *et al.*, 1998) para un conjunto de razas S , $V(S)$, tras añadir un taxón j a S sería $V(S) = d(j, S - j) + V(S - j)$, donde $S - j$ es el conjunto S menos j y $d(j, S - j)$ es la distancia entre j y $S - j$. $V(S)$ se calcula, finalmente, como $V(S) = \text{máximo, para todo } i, \text{ de } \{V(S - i) + d(i, S - i)\}$. La pérdida relativa de diversidad por la eliminación de k del conjunto de taxones estudiado es $V_k = V(S/k) / V(S)$ donde $V(S)$ es la diversidad de todo el conjunto completo y $V(S/k)$ es la diversidad del conjunto una vez excluido k . Estos cálculos se pueden realizar mediante el programa WEITZPRO (Derban *et al.*, 2002) que se encuentra en la página de Internet <http://www.sgqa.jouy.inra.fr/diffusions.htm>.

3.2.2.2. El método PD de Faith

De los métodos filogenéticos disponibles para la evaluación de diversidad el denominado “Diversidad Filogenética” (PD; Faith 1992, 1993, 1994) es el más relevante en estudios ecológicos junto con el denominado “Diversidad Genética” (GD; Crozier, 1992; Crozier y Kusmierski, 1994). Ambos métodos son análogos para la mayor parte de supuestos prácticos (Crozier, 1997). Sin embargo, el método PD no se ha utilizado en conservación de recursos genéticos animales. El parámetro PD (Faith 1992, 1993, 1994) se define como la suma de las longitudes de los brazos en una filogenia y se calcula, simplemente, como

$$PD = \sum_{k=1}^{2n-3} d_k$$

donde n es el número de taxones y d_k es la longitud de la rama k en el árbol. El valor PD para un conjunto de taxones Q (PDQ) se puede calcular a partir de una matriz de distancias considerando que la distancia entre los taxones i y j , d_{ij} , es la suma de las longitudes de las ramas por el camino más corto entre ellos. La mínima ganancia producida al añadir un taxón k para todo i, j en Q es $PDQ_k = 0.5[d(k,i) + d(k,j) - d(i,j)] = d(k, Q \setminus k)$ lo que se conoce como contenido informativo (Ik). Asimismo, $PDQ_k = PDQ - PDQ/k$ donde $Q \setminus k$ es el conjunto de taxones Q formado sin la presencia de k . El indicador del valor (IV) del taxon k es $IV_k = Ik/PDQ = d(k, Q \setminus k)/PDQ$.

Como señaló Krajewski (1994) los métodos filogenéticos de cuantificación de la diversidad tienden a seleccionar los mismos conjuntos de taxones en los extremos de la distribución variando en la ordenación intermedia. En este sentido, muchos de los resultados que pueden obtenerse utilizando el método de Weitzman o el parámetro PD pueden resultar equivalentes. Sin embargo hay razones que permiten aconsejar la utilización de PD. Desde el punto de vista teórico el método PD (Faith 1992) está perfectamente basado en la teoría filogenética mientras que el método de Weitzman utiliza un método filogenético *ad hoc* en que la diversidad no es exactamente la suma de las longitudes de las ramas del árbol filogenético (Reist-Marti *et al.*, 2003) e incluso incluye dobles conteos (injustificados desde un punto de vista teórico) de algunos taxones (Faith, 1994). Además, el cálculo de la diversidad en el método de Weitzman es de naturaleza recursiva y exige gran esfuerzo de computación. Por otra parte, el método de Weitzman asume que todas las razas tienen el mismo grado de evolución (asume que las distancias genéticas entre razas son ultramétricas), lo que no suele suceder en la práctica. En contraste con el método de Weitzman, el parámetro PD se basa fundamentalmente en el principio de complementariedad (Faith, 1994) y puede darse el caso de que un taxón con una distancia no despreciable a su vecino más próximo tenga una aportación a la diversidad del conjunto cercana a cero (Faith, 1994). Además, desde el punto de vista práctico, sus cálculos son muy sencillos, lo que permite incluir un gran número de taxones (razas) en el análisis.

3.2.2.3. Los métodos de varianzas

Cualquiera que sea el método filogenético utilizado para cuantificar la diversidad genética está sujeto a una crítica de gran calado (Krajewski, 1994; Caballero y Toro, 2002), como es el hecho de no tener en cuenta la diversidad intra-poblacional. Es por ello que se ha propuesto la utilización de métodos que buscan la maximización de la diversidad genética (Nei, 1972) en un conjunto de razas, o de forma equivalente la minimización de la coascendencia molecular (Petit *et al.*, 1998; Caballero y Toro, 2002; Eding y Meuwissen, 2001). Los métodos filogenéticos tienden a seleccionar para su conservación aquellas razas cuyos individuos son más homogéneos genéticamente, esto es, las que presentan mayores tasas de homocigosis. Seleccionar este tipo de razas muy homogéneas es cuestionable ya que su capacidad para adaptarse a cambios ambientales o mejorar por selección es muy pequeña (Caballero y Toro, 2002). En el otro extremo, los métodos de varianzas pueden considerar exclusivamente las razas más diversas genéticamente, de forma que la diversidad (H) que aporta una raza k al conjunto de razas estudiadas (S) es $H_k = 1 - H(S/k) / H(S)$ (Petit *et al.*, 1998). Sin embargo, estos métodos también reciben críticas ya que su interpretación no siempre es intuitiva, ya que eliminar una raza de un conjunto de razas analizado, puede producir contribuciones negativas, esto es, que se gane diversidad eliminando una raza. Esto sucede si la raza eliminada se parece mucho (genéticamente) a una o varias de las razas que permanecen en el conjunto resultante $H(S/k)$, en contraste con los métodos filogenéticos (especialmente el de Weitzman) cuya característica más llamativa (e intuitiva) es la monotonicidad en la distancia.

En la práctica, los métodos filogenéticos identifican un conjunto de poblaciones que presenten las mayores distancias entre ellas, mientras que los métodos de varianzas identifican el conjunto de poblaciones con menor identidad o parentesco genético entre ellas, entendido como coascendencia molecular ((ver capítulo 18 del Volumen I; Caballero y Toro, 2002; Eding y Meuwissen, 2001). En realidad estas metodologías suponen la aplicación del conocido concepto de Core set a la conservación de poblaciones animales; este concepto apareció por primera vez en conservación genética de plantas y se definió como el conjunto (set) más pequeño de líneas o variedades que abarca el conjunto de la diversidad genética en una especie (Frankel y Brown, 1984), eliminando del Core set las líneas o variedades que presenten solapamiento genético entre ellas. Este concepto ha sido aplicado directamente a la conservación animal por Eding y Meuwissen (2001), mientras que la aproximación de Caballero y Toro (2002) presenta la novedad de una utilización explícita de la variación genética intra y entre poblaciones.

3.2.2.4. Utilización combinada de la diversidad intra y entre razas

Los métodos de varianzas resultan superiores a los métodos filogenéticos en la utilización explícita (Caballero y Toro, 2002) o implícita (Eding y Meuwissen, 2001) de la diversidad intra y entre razas. De hecho el método propuesto por Caballero y Toro (2002) permite descomponer la diferencia en diversidad debida a la eliminación de una raza k , por una parte, a la ganancia o pérdida de diversidad intra población (medida mediante la heterocigosis esperada de Nei, 1972) y, por otras, la ganancia o pérdida de diversidad entre razas (medida mediante la distancia mínima de Nei, 1973). Este hecho permite a los in-

investigadores explicar mejor el porqué de la elección de una raza como prioritaria para su conservación ya que la ordenación para priorizar la conservación de razas puede ser muy diferente si se utiliza como criterio la diversidad entre o intra razas (Caballero y Toro, 2002).

Para solventar el hecho de que los métodos filogenéticos sólo utilicen la diversidad entre razas (distancia o diferenciación genéticas) Ollivier y Foulley (2005) han propuesto la utilización del concepto de diversidad agregada. En este sentido, la diversidad total de un conjunto de razas (CT) podría separarse en dos componentes, $CT = C_i + C_e$, siendo C_i y C_e la diversidad intra y entre razas, respectivamente. El componente C_s se calcularía aplicando un método filogenético sobre la matriz de distancias genéticas entre raza, mientras que el componente C_D se calcularía aplicando ese mismo método a la complementaria de la matriz de coocurrencias moleculares entre raza (lo que resulta equivalente a maximizar la diversidad genética de Nei). Los mismos autores proponen, además ponderar esos componentes por el estadístico F_{ST} de Wright (1965) que representa la proporción de la variación genética debida a diferencias en frecuencias alélicas entre poblaciones. La diversidad agregada D sería, por lo tanto $D = F_{ST}C_e + (1 - F_{ST})C_i$.

3.2.4. Análisis de la Varianza Molecular (AMOVA)

El método conocido como 'Análisis de la Varianza Molecular (AMOVA)' (Excoffier *et al.*, 1992) utiliza el hecho de que una suma de cuadrados convencional (SS) puede escribirse como la suma de las diferencias al cuadrado entre todos los pares de observaciones (Li, 1976). Por ello, es posible construir un análisis jerárquico de la varianza (molecular) directamente a partir de las diferencias al cuadrado entre todos los pares de haplotipos. La partición de la varianza se realiza según el modelo lineal (Long, 1986)

$$p_{jig} = p + ag + big + cijg$$

donde $j=1\dots N_{ig}$ es el número de individuos, $i=1\dots I_g$ son las poblaciones y $g=1\dots G$ son las regiones. Los efectos son: 'a' para grupos, 'b' para poblaciones dentro de grupos y 'c' para individuos dentro de poblaciones.

El modelo tiene fijados los individuos y las poblaciones, pero es posible variar los grupos para tratar de disminuir la varianza entre poblaciones dentro de grupos (V_b) y aumentar la varianza entre grupos (V_a). Esto es lo que se persigue en el establecimiento de las regiones de procedencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez Sevilla A (2001): Les races autóctones del Principáu d'Asturies, Fundación Belenos, 33007 Uviéu/Oviedo (Principau d'Asturies), 11-18
- Aparicio G (1944). Zootecnia especial. Etnología compendiada, 3ª edición. Imprenta Moderna, Córdoba, 494 pp.
- Avise JC (1994): Molecular markers, natural history and evolution. New York: Chapman & Hall. 511 p.
- Balloux F, Lugon-Moulin N (2002). The estimation of population differentiation with microsatellite markers. *Molecular Ecology*, 11: 155-165.
- Caballero A, and Toro M A (2002): Analysis of genetic diversity for the management of conserved subdivided populations. *Genet. Sel. Evol.* 33: *Genet.* 3: 289-299.
- Crozier R H (1997): Preserving the information content of species: genetic diversity, phylogeny and conservation worth. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 28: 243-268.
- Crozier RH, Kusmiński RM (1994). Genetic distances and the setting of conservation priorities. In Loeschcke V, Tomiuk J, Jain SK, eds. 1994. *Conserv. Genet.* Basel: Birkhäuser Verlag, pp. 227-37.
- Crozier RH 1992. Genetic diversity and the agony of choice. *Biol. Conserv.* 61, 11-15
- Derban S, Foulley JL, Ollivier L (2002): WEITZPRO: a software for analysing genetic diversity. INRA, Paris.
- Dobzhansky T (1976). Organic and molecular aspects of species formation. *Molecular evolution.* 95-105 Sinauer Associates, Inc Sunderland, Mass.
- Eding H and Laval G (1999): Measuring genetic uniqueness in livestock. In: Oldenbroek, K. (Ed.). *Genebanks and the management of farm animal genetic resources.* IDO-DLpress. The Netherlands, pp. 33-58.
- Eding H and Meuwissen THE (2001): Marker-based estimates of between and within population kinships for the conservation of genetic diversity. *J Anim Breed Genet* 118:141-159.
- Excoffier L, Smouse PE, Quattro JM (1992): Analysis of molecular variance inferred from metric distances among DNA haplotypes: Application to human mitochondrial DNA restriction data. *Genetics* 131: 479-491
- Faith DP (1992): Conservation evaluation and phylogenetic diversity. *Biol. Conserv.* 61:1-10.

- Faith DP (1993): Biodiversity and systematics: the use and misuse of divergence information in assessing taxonomic diversity. *Pac. Conserv. Biol.* 1:53-57
- Faith DP (1994): Genetic diversity and taxonomic priorities for conservation. *Biol. Conserv.* 68:69-74
- Gandini GC, and Villa E (2003): Analysis of the cultural value of local livestock breeds: a methodology. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 120 (1), 1-11.
- Goyache F, del Coz JJ, Quevedo JR, López S, Alonso J, Ranilla J, Luaces O, Álvarez I, Bahamonde A (2001): Using artificial intelligence to design and implement a morphological assessment system in beef cattle, *Anim Sci* 73, 49-60
- Hanotte O, Bradley DG, Ochieng JW, Verjee Y, Hill EW, *et al*, 2002: African pastoralism: genetic imprints of origins and migrations. *Science* 296: 336-339.
- Hedrick PW (1999): Highly variable loci and their interpretation in evolution and conservation. *Evolution*, 53: 313-318.
- Herrera M, Rodero E, Gutiérrez MJ, Peña F, Rodero JM (1996): Application of multifactorial discriminant analysis in the morphostructural differentiation of Andalusian caprine breeds. *Small Ruminant Research*, 22, 39-47
- Jordana J and Parés PM (1999): Relaciones genéticas entre razas ibéricas de caballos utilizando caracteres morfológicos. *Prototipos raciales. AGRI* 26:75-94
- Jordana J, Parés PM, Sánchez A (1995): Analysis of genetic relationships in horse breeds. *Journal of Equine Veterinary Science* 7, 320-328
- Krajewski C (1994): Phylogenetic measures of biodiversity : a comparison and critique. *Biol. Conserv.* 69: 33-39.
- Kumar S, Tamura K, Jakobsen IB, Nei M (2001): MEGA 2. Version 2.0. *Molecular Evolutionary Genetics Analysis software.*
- Li CC (1976): *Population Genetics.* Boxwood, Pacific Grove, California
- Long JC (1986): The allelic correlation structure of Gainj- and Kalam-speaking people. I. The estimation and interpretation of Wright's F-statistics. *Genetics* 112: 629-647.
- Lynch M and Crease TJ (1990): The analysis of population survey data on DNA sequence variation. *Mol Biol Evol* 7: 377-394
- Nei M (1973): Analysis of gene diversity in subdivided populations. *Proceeding of the National Academy of Sciences, USA* 70: 3321-3323.
- Nei M (1977): F-statistics and analysis of gene diversity in subdivided populations. *Ann. Hum. Genet.* 41:225-233

- Nei M, Tajima F, Tatenos Y (1983): Accuracy of estimated Phylogenetic trees from molecular data. *Journal of Molecular Evolution*
- Ollivier L, Foulley JL (2005): Aggregate diversity: New approach combining within- and between-breed genetic diversity. *Livest. Prod. Sci*, 95:247–254.
- Pedrosa S (2006): El ADN mitocondrial en el análisis de la domesticación animal: origen de las razas ovinas y bovinas ibéricas. Tesis Doctoral. Universidad de León. España. 328 p.
- Petit RJ, El Mousadik A, Pons O (1998): Identifying populations for conservation on the basis of genetic markers. *Conserv. Biol.* 12:844-855.
- Pons O and Petit RJ (1996): Measuring and testing genetic differentiation with ordered vs unordered alleles. *Genetics* 144: 1237-1245
- Reist-Marti SB, Simianer H, Gibson J, Hanotte O, Rege JEO (2003): An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize losses of genetic diversity between livestock breeds *Conservation Biology* 17: 1299-1311
- Reynolds J, Weir BS, Cockerham CC (1983): Estimation on the coancestry coefficient: basis for a short-term genetic distance. *Genetics*, 105: 767-779.
- Royo LJ, Álvarez I, Beja-Pereira A, Molina A, Fernández I, Jordana J, Gómez E, Gutiérrez JP, Goyache F, (2005). The origins of Iberian horses assessed via mitochondrial DNA. *Journal of Heredity*, 96: 663-669.
- Sbisà E, Tanzariello F, Reyes A, Pesole G, Saccone C (1997): Mammalian mitochondrial D-loop region structural analysis: identification of new conserved sequences and their functional and evolutionary implications. *Gene*, 205: 125-140.
- Simon DL (1999): European approaches to conservation of farm animal genetic resources. *AGRI*, 25: 79-99
- Thaon d'Arnoldi C, Foulley JL, Ollivier L (1998): An overview of the Weitzman approach to diversity, *Gen. Sel. Evol.* 30:149–161.
- Weitzman ML (1992): On diversity, *Quart. J. Econ.* 107:363–405.
- Wright S (1951): The genetical structure of populations. *Ann Eugen* 15: 323-354.
- Wright S (1965): The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating. *Evolution* 19: 395-420.
- Zehender G, Cordella LP, Chianese, Ferrara L, del Pozzo A, Barbera S, Bosticco A., Negretti P, Bianconi G, Filippi Balestra G, Tonielli R (1996): Image analysis in morphological animal evaluation: a group for the development of new techniques in zoometry. *AGRI* 20, 71-79.

CAPÍTULO 7

LOS PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN IN SITU. BASE LEGISLATIVA. PROGRAMAS COMPENSATORIOS, PROMOCIÓN. INICIATIVAS TIPO GRANJAS PARQUE.

Alfredo Martín de la Rosa¹, Cecilio Barba Capote²

¹ Subdirección General de Medios de Producción Ganaderos, MAPA,

² Dep. Genética, Federación Española de Asociaciones de Ganado Selecto (FEAGAS).

1. INTRODUCCIÓN

Los animales de granja desempeñan un papel fundamental en el sustento y bienestar de la población, tanto en los países desarrollados como en los que están en proceso de desarrollo. Además de alimento, vestido y otros beneficios, los recursos ganaderos son importantes para futuras generaciones y los ciclos vitales.

La diversidad, dentro de las distintas especies aprovechadas por el hombre, representa una fuente inagotable de cualidades o caracteres en particular para la cría del ganado, como respuesta a los continuos cambios en las necesidades humanas y del entorno. No obstante, estos recursos genéticos se están viendo afectados por factores tales como los cambios en las prácticas agrarias, económicas y ambientales. Así mismo, los efectos del calentamiento global son responsables de este deterioro (Anderson 2004), así como las guerras, epidemias, inundaciones, terremotos, etc. De especial importancia es la elevada tasa de pérdida de razas autóctonas en los países en desarrollo, lo que asociado a una falta o inadecuación de programas para el uso y la gestión de los recursos genéticos, está causando un impacto negativo a las oportunidades de progreso.

Una idea ampliamente aceptada es la necesidad de reducir la degradación de los recursos genéticos de los animales domésticos e implantar programas para su conservación y utilización sostenible. Esta necesidad, está comprendida dentro de los objetivos de la Convención para la Diversidad Biológica y en el desarrollo de la Estrategia Global para la gestión de los recursos genéticos de los animales de granja. Algunos autores (Scherf 2005) son de la opinión que una cierta pérdida de recursos genéticos animales puede ser inevitable e inclusive aceptable teniendo en cuenta la disponibilidad limitada de recursos de los entes públicos.

Se considera primordial reconducir las directrices de aquellas políticas de gestión de los recursos genéticos animales que se fundamentan en una información insuficiente, así como obligar a la comunidad internacional a desarrollar acciones concertadas para apoyar a aquellos países con menos capacidad para mantener sus recursos.

El alto coste que supone la caracterización y mejora de los recursos genéticos, se suma al de la dificultad de la conservación "in vitro". Por ello, resulta fundamental que la toma de decisiones se realice de forma conjunta cuando hablamos de conservación y uti-

lización de recursos genéticos. La precisión de la información resulta fundamental a la hora de tomar decisiones.

La mayoría de la información está dispersa por distintos artículos científicos o es difícil de obtener. Sólo una parte de la información está recopilada en ensayos comparativos de información entre razas. Se están desarrollando también experiencias con marcadores moleculares que contribuyen a un mayor conocimiento sobre el origen y distribución de los recursos, proporcionando a su vez reglas para priorizar su conservación. Sin embargo, estas prioridades pueden variar según las estructuras o sistemas productivos y los consumidores.

2. PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN IN SITU

La mayor parte de la bibliografía sobre conservación de los recursos genéticos de los animales de producción, agrupa los distintos métodos en “in situ”, “ex situ in vivo” e “in vitro”.

Dentro de los métodos de conservación “in vivo”, existe una amplia gama de modalidades, que van desde la conservación de recursos “in vivo” como parte de un sistema próspero de aprovechamiento de los mismos como modo de vida, hasta la conservación en núcleos zoológicos con una nula utilización como fuente productiva.

Los métodos de conservación “in situ” son aquellos que buscan el mantenimiento sostenido de nuestras razas en su propio entorno productivo, a partir de las iniciativas de promoción que las hagan competitivas por sí mismas.

En teoría, después de haber pasado por una situación crítica de amenaza, las poblaciones animales sometidas a programas de conservación “in situ”, deben ser gestionadas con programas específicos de cría. Sin embargo, en la práctica es difícil determinar donde acaba la gestión de los recursos genéticos de los animales domésticos y donde empieza la conservación, especialmente en los países en desarrollo. Así mismo, resulta dificultoso diferenciar dónde termina la conservación “in situ” y dónde comienza la conservación “ex situ in vivo”.

A efectos prácticos, podemos definir conservación “in situ” como aquella que consiste en el mantenimiento sostenido de los animales de producción en su propio entorno, llevado a cabo por ganaderos en sistemas productivos rentables, mientras que conservación “ex situ in vivo” es cualquier mantenimiento de los mismos fuera de su entorno y sistema habitual de explotación, realizado por diversas instituciones, organismos públicos u otras entidades.

Los programas de conservación “in situ” son el método de elección para evitar la degradación de los recursos genéticos, en los cuales, el mantenimiento y la gestión de los mismos es la mejor opción, como modo de vida para los ganaderos implicados. Sobre este aspecto hay un consenso claro entre las diversas opiniones científicas que es el método que tiene más probabilidades de éxito. La razón de esta explicación es porque el sistema asegura que la raza se mantiene en un estado dinámico, lo que ligado a la implantación

de unos adecuados programas de mejora, se puede afirmar que la raza preserva su importancia en sistemas productivos, de mercado y medioambientales eventualmente cambiantes. Cuando es posible implantar un programa de conservación “in situ” que no dependa de subsidios externos, constituye también una alternativa de bajo coste.

Para que un programa de conservación “in situ” prospere, se deben cumplir las siguientes premisas:

- El programa de conservación debe ser implantado antes de que la raza llegue a una situación crítica.
- La raza debe estar suficientemente caracterizada y su valor reconocido.
- La causa de su degradación debe ser identificada y superada.
- Los ganaderos se deben desenvolver en un entorno socio-cultural que les impulse a mantener “su” raza.
- El programa de conservación debe proporcionar el suficiente atractivo como modo de vida, para que los ganaderos no adopten otras alternativas.
- Los ganaderos deben poder organizarse en cooperativas u otras formas de asociación.
- Las condiciones socio-políticas y económicas deben ser favorables y estables, tanto a corto como a largo plazo.

Si no se cumplen todas o gran parte de estas condiciones, casi con toda seguridad los ganaderos implicados acabarán inclinándose por cualquier otra alternativa como modo de vida, ya sea optando por otras razas o especies o bien cesando en la actividad agraria, abocando en el fracaso del programa de conservación.

Teniendo como premisa que los programas de conservación “in situ” constituyen una alternativa real como modo de vida para los ganaderos, y contando con el apoyo suficiente de las instituciones, la conservación de la raza deja de ser un objetivo en sí mismo, pasando a ser un “bien colateral”. No obstante, es necesario tener presente que en los países en desarrollo, los programas de conservación “in situ” pueden no resultar un método suficiente para la conservación de los recursos genéticos animales, debiendo de complementarse con otras alternativas.

3. MARCO INTERNACIONAL. PROGRAMAS DE LA FAO

El ganado, que desempeña una función vital en la seguridad alimentaria de todo el mundo, participa en un 30 y 40 por ciento del valor total de los alimentos y de la agricultura, respectivamente. Proporciona los productos de origen animal que consumimos, la fuerza de tracción para transporte, labranza, riego y cosecha, fibras para vestido y

otros usos, así como abono para fertilizar y utilizar como combustible. Los pequeños campesinos de los países en desarrollo también utilizan el ganado en la gestión de riesgos, y los animales contribuyen a que se mantenga el empleo todo el año.

Esta situación, se puso de manifiesto en la octava Reunión anual de la Comisión de Recursos Genéticos para la Agricultura y la Alimentación, celebrada en Roma, del 19 al 23 de abril de 1999. En esta reunión, se discutieron por vez primera medidas concretas en materia de recursos zoogenéticos para los alimentos y la agricultura en todo el mundo.

La Comisión reconoció que los sistemas de producción de alimentos en muchas partes del mundo dependen en gran medida de la utilización de recursos zoogenéticos adaptados a las condiciones locales, tanto en el corto como en el largo plazo.

La mayor parte de los recursos zoogenéticos pecuarios actualmente están sólo en los países en desarrollo, pero más del 90 por ciento de las especies adaptadas a las condiciones locales no se están perfeccionando con miras a utilizarse en casos de necesidad para la seguridad alimentaria. Peor aún, un 30 por ciento de los recursos zoogenéticos que quedan, corren gran peligro de perderse y, a diferencia de los recursos fitogenéticos, su conservación organizada es casi nula.

La Comisión, en respuesta al posible desastre de esta situación, hizo énfasis en la necesidad de trabajar más en la creación de una Estrategia Mundial de Gestión de los Recursos Genéticos de los Animales de Granja y también puso en marcha una importante iniciativa en el campo de clasificación de los recursos zoogenéticos, su uso sostenible, desarrollo y conservación: un informe sobre el Estado de los Recursos Genéticos Mundiales de los Animales de Granja.

El objetivo del informe era triple. Por una parte, recopilar la información necesaria de todos los países sobre la situación del conocimiento, utilización, desarrollo y conservación de los recursos zoogenéticos; por otro lado, se trataba de resaltar la dependencia recíproca entre los países en materia de recursos zoogenéticos y finalmente, poner de manifiesto el estado de la capacidad de los diversos países para cuidar con eficacia de este capital natural inapreciable. Según palabras de Keith Hammond, oficial principal de la FAO de Recursos Genéticos de los Animales de Granja, esta información “sentará las bases de la elaboración de planes de acción sólidos y eficaces desde el punto de vista de sus costos, y la actividad estará orientada a crear consciencia”.

La FAO, con un costo aproximado de cuatro millones de dólares USA, elaboró unas directrices para la participación de los países.

La recopilación sistemática de datos sobre las razas comenzó a nivel supranacional en Europa en los años 80'. A principio de los 90', la FAO comenzó a diseñar una Base de Datos General sobre recursos zoogenéticos, base que constituyó los cimientos de DAD-IS.

El Sistema de Información sobre la Diversidad de los Animales Domésticos (DAD-IS), forma parte de la Estrategia Mundial para la Gestión de los Recursos Genéticos de los Animales de Granja. El DAD-IS ya está activo en inglés, francés y español, y parcialmente en chino y en árabe. El sistema se perfecciona y actualiza periódicamente para que los países puedan utilizarlo para elaborar sus informes. DAD-IS cubre hoy en día más de treinta especies de uso agrícola y alimentario, cuyos datos han sido recogidos por los coordinadores nacionales de más de 180 países.

De las 6.300 razas de animales domésticos documentadas por la FAO, 1.300 están extinguidas o en peligro de extinción. Europa tiene el triste privilegio de ser el continente donde más razas se han extinguido y donde más se encuentran amenazadas.

En el año 2000 estaban documentadas más de 6.300 razas de animales domésticos de las cuales, alrededor de 1.300 estaban extinguidas o en peligro de extinción. Sin embargo, otras muchas no estaban catalogadas por no haber sido suficientemente caracterizadas.

Las cifras del año 2005 arrojan un incremento del 10 por 100 de razas en riesgo de desaparición con respecto al año 2000.

Europa tiene el triste privilegio de ser el continente donde más razas se han extinguido o se encuentran amenazadas.

Actualmente, con los esfuerzos en la actualización de la base de datos, tanto de los coordinadores nacionales como de la FAO, figuran alrededor de 14.000 razas catalogadas.

4. ESTRATEGIA MUNDIAL PARA LA ORDENACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS DE LOS ANIMALES DE GRANJA

La División de Salud y Producción Animal de la FAO está liderando y coordinando el desarrollo de la Estrategia Mundial para la ordenación de los recursos genéticos de los animales de granja. Dentro de este contexto, se está configurando un marco político y legal como parte importante para la gestión de dichos recursos que es inferior al marco legal establecido para los recursos genéticos vegetales (Gibson and Pulling 2005).

Se han constituido varios grupos de trabajo al objeto de configurar las líneas maestras de las políticas a desarrollar, medidas para incentivar, así como un marco legal. Como resultado se realizó un estudio legal en el que se subraya que existe un marco legal a nivel regional o local, pero que se necesita más información sobre conservación “ex situ” y derechos de propiedad intelectual.

La Estrategia mundial para la ordenación de los recursos genéticos de los animales de granja proporciona un marco técnico y operacional para prestar asistencia a los países, y comprende:

- Un mecanismo intergubernamental para la participación indirecta de los gobiernos y la formulación de políticas,
- Una infraestructura mundial basada en los países para ayudarlos a planificar, aplicar y mantener, con eficacia en función de los costos, estrategias nacionales para la ordenación de los recursos zoogenéticos,
- Un programa técnico encaminado a respaldar la actuación eficaz a nivel nacional en la intensificación, conservación, caracterización y acceso sostenibles a los recursos zoogenéticos, y
- Un sistema de presentación de informes y evaluación para guiar la aplicación de la Estrategia, facilitar la colaboración, la coordinación y la formulación de políticas y conseguir la máxima eficacia en función de los costos de la actividad.

DAD-IS desempeña aquí un papel fundamental, ayudando a los países y las redes de países proporcionando amplias bases de datos consultables, instrumentos, directrices, una biblioteca, conexiones y contactos para la mejor ordenación de todos los recursos zoogenéticos utilizados en la alimentación y la agricultura.

5. MARCO COMUNITARIO

El compromiso adquirido por la Unión Europea, por medio de la suscripción del Convenio sobre Diversidad Biológica, aprobado por la Decisión 93/626, ha desembocado en el diseño de una serie de estrategias para la conservación de los Recursos Genéticos Animales.

El Convenio sobre diversidad biológica desarrollado por la Unión Europea, ha permitido el diseño de diversas estrategias para la conservación de los Recursos Genéticos Animales.

Dentro de este ámbito, la base legislativa sobre la que se apoyó en primer término la Unión Europea fue el Reglamento 1467/1994, que vino a ser derogado por el Reglamento 870/2004, por el que se establece un programa comunitario relativo a la conservación, caracterización, recolección y utilización de los recursos genéticos del sector agrario y por el que se deroga el Reglamento (CE) n° 1467/94. para el período 2004-2006.

El enfoque que da la normativa comunitaria al mantenimiento de la diversidad biológica y genética se encamina hacia la consecución de los objetivos de la PAC, considerándolos un factor irremplazable para el mantenimiento sostenible de la producción agraria y de las zonas rurales.

No obstante, se tiene en cuenta que la conservación de estos recursos contribuye a la realización de los objetivos del Convenio sobre Diversidad Biológica y de la Estrategia de la Comunidad en materia de biodiversidad, con su Plan de Acción.

Así mismo, considera que es uno de los principales objetivos del Plan de Acción Mundial de la FAO.

El Reglamento surge de la necesidad de establecer redes de trabajo entre los organismos públicos y otras organizaciones, entre ellos el Punto Focal Regional Europeo (ERFP), como medida de intercambio de información eficaz y estrecha coordinación.

Las metas que se pretenden alcanzar son:

- Mantenimiento de la diversidad biológica
- Mejora de la calidad
- Aumento de la diversificación en zonas rurales
- Disminución de los insumos y costes de producción
- Desarrollo sostenible de las zonas rurales

Para la consecución de estos objetivos, se aboga por la conservación “in situ” y “ex situ” de los recursos genéticos mediante una serie de herramientas:

- Mejora de su conocimiento, orígenes y características para ponerlos a disposición de los demás estados miembros y, sobre todo, de los países en vías de desarrollo.
- Inventarios en INTERNET, descentralizados, permanentes y accesibles.
- Fomento de su valor añadido a escala comunitaria, por medio de la concertación de las acciones existentes y apoyo a nuevas iniciativas transfronterizas.
- Adopción de medidas que contemplen o superen el ámbito del Reglamento sobre ayudas al desarrollo rural.
- Tener presente las actividades de los sectores de la investigación, el desarrollo tecnológico y demostración financiada, a escala nacional o en virtud de los Programas Marco de Investigación.

De este marco legislativo, se pueden extraer algunas definiciones de interés, como la conservación “in situ” de razas de animales domésticos, entendida como el mantenimiento y la recuperación de especies o razas viables dentro de su entorno natural, donde han desarrollado sus propiedades distintivas.

5.1. Acciones subvencionables

En primer lugar, señalar que tales acciones deben ajustarse: a la normativa comunitaria, tanto zootécnica como sanitaria, a la Estrategia Mundial para la gestión de los recursos zoogenéticos de los animales de granja y a los programas del Punto Focal Regional Europeo. Se pueden clasificar en:

- a) Acciones Dirigidas, entre ellas el fomento de la conservación, caracterización, recolección y utilización de los recursos genéticos, elaboración de páginas web con un inventario de los recursos genéticos actualmente conservados tanto “in situ” como “ex situ” y la promoción de los intercambios.
- b) Acciones concertadas que impulsen los intercambios de información.
- c) Medidas de acompañamiento, tanto informativas como divulgativas y consultivas.

El Programa va dirigido a los recursos que existen en el territorio de la Comunidad y engloba la colección “in situ”, “ex situ” y en la explotación.

Tienen derecho a la ayuda los criadores de razas nacionales y locales, la recolección de tipos genéticos.

ACCIONES DIRIGIDAS

- Fomento de la conservación de los recursos genéticos, con carácter transnacional. Las acciones deben valorizar los regímenes agroambientales de las especies y razas en peligro, impulsándose la difusión y el intercambio con el objeto de aumentar la utilización de las especies infrutilizadas.
- Creación de una red europea de inventarios nacionales con datos administrativos y oficiales, como puedan ser el estado de las razas en cuestión, posibles amenazas de extinción, situación de los libros genealógicos, en el caso de que existan, así como posibles vías de financiación. Esta red debe gestionarse de conformidad con el sistema de información de la Estrategia Global para la Gestión de los Recursos Genéticos de los Animales de Granja (DAD-IS). Se deben elaborar criterios europeos normalizados y comparables para identificar prioridades de acción nacionales.
- Creación de un sistema europeo normalizado de control de los resultados y de documentación.
- Creación y coordinación de una red europea de explotaciones ganaderas de tipo “arca”, de centros de socorro para animales y de parques para animales de granja, para las razas europeas de animales domésticos en peligro de extinción.
- Elaboración de programas de cría transnacionales.
- Elaboración de estrategias que apoyen la mejora de la rentabilidad de las razas locales para reforzar el vínculo entre la raza local y productos típicos, así como identificar y relanzar la función de las razas locales en el plano medioambiental.

Entre las acciones emprendidas, destaca la creación de la Red Europea de Inventarios Nacionales de los Recursos Genéticos Animales (DAD-IS: <http://dad.fao.org/>).

- En lo que atañe a la conservación “ex situ” de los recursos genéticos animales, es necesario crear una red en Internet de inventarios nacionales y un catálogo de búsqueda europeo. El contenido del inventario será básicamente el establecimiento, la actualización periódica y la publicación regular de las instalaciones de almacenamiento y conservación de los recursos genéticos.

ACCIONES CONCERTADAS

Las acciones concertadas están relacionadas con la mejora de la coordinación a escala comunitaria, principalmente mediante la organización de seminarios y la preparación de informes, y mediante la organización de acciones separadas (nacionales, regionales o locales) a favor de la conservación, la caracterización, la evaluación, la recolección, la documentación, el desarrollo y la utilización de los recursos genéticos en el sector agrario, que ya se están llevando a cabo en los estados miembros.

Las acciones concertadas también pueden incluir actividades de coordinación sobre cuestiones temáticas a través de grupos técnicos especializados.

MEDIDAS DE ACOMPAÑAMIENTO

Las medidas de acompañamiento específicas incluirán acciones de información, de difusión y de asesoramiento que implicarán:

- La organización de seminarios, conferencias técnicas, talleres, reuniones con ONG y otros organismos interesados y terceras partes correspondientes.
- Cursos de formación y sistemas de movilidad para especialistas
- Preparación de informes técnicos
- Promoción de la utilización de los resultados por los usuarios.

6. AYUDAS MEDIOAMBIENTALES. CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS ANIMALES EN EL MARCO DE LOS PROGRAMAS DE DESARROLLO RURAL. PROGRAMAS COMPENSATORIOS

El Reglamento (CE) 1257/1999 del Consejo, sobre ayudas al desarrollo rural a cargo del Fondo Europeo de Orientación y Garantía establecía el marco de ayudas comunitarias a favor de un desarrollo rural sostenible.

En el marco del Reglamento (CE) 1974/2006 de la Comisión, por el que se establecen disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) 1698/2005 del Consejo relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FE-

ADER), se contemplan dentro del Eje 2 las ayudas destinadas a compensar la posible pérdida de renta que supone la cría de razas locales autóctonas, amenazadas de abandono y desplazadas en muchas ocasiones por razas foráneas, a veces más productivas pero, sin duda, peor adaptadas a los ecosistemas tradicionales de producción, dentro de las ayudas agroambientales.

Este reglamento viene a derogar el R (CE) 1257/1999, estableciendo un nuevo marco de ayudas agroambientales. Estas ayudas se concederán a ganaderos que suscriban de forma voluntaria compromisos en este ámbito, ayudas que podrán ser destinadas a otros responsables de la gestión de las explotaciones si el cumplimiento de los objetivos lo justifica.

La cuantía de la ayuda podrá alcanzar los 200 euros por UGM y deberá contribuir al compromiso de criar animales de explotación de razas locales autóctonas de la zona que se encuentren amenazadas de abandono. Las especies de animales de explotación subvencionables se recogen en el siguiente cuadro, así como los criterios para determinar el umbral de abandono.

Tabla 1. Umbrales para razas en peligro

Especies de animales de explotación subvencionables	Umbrales por debajo de los que se considera que una raza local está en peligro de abandono (número de hembras reproductoras)
Bovinos	7.500
Ovinos	10.000
Caprinos	10.000
Équidos	5.000
Porcinos	15.000
Aves de corral	25.000

Señalar que el número de hembras reproductoras se calcula, con respecto a todos los estados miembros, de aquellas de la misma raza que están disponibles para la reproducción por líneas puras e inscritas en el libro genealógico de una organización de criadores de raza autorizada y reconocida por el estado miembro de conformidad con la normativa zootécnica comunitaria.

En el siguiente cuadro se pueden ver los tipos de conversión de animales a Unidades de Ganado Mayor.

Tabla 2. Factores de conversión de las distintas especies animales a Unidades de Ganado Mayor (U.G.M.)

Especie	Nº U.G.M.
Toros, vacas y otros animales de la especie bovina de más de 2 años, équidos de más de 6 meses	1,0 UGM
Animales de la especie bovina de seis meses a dos años	0,6 UGM
Animales de la especie bovina de menos de seis meses	0,4 UGM
Ovinos	0,15 UGM
Caprinos	0,15 UGM
Cerdas de cría > 50 kg	0,5 UGM
Otros animales de la especie porcina	0,3 UGM
Gallinas ponedoras	0,014 UGM
Otras aves de corral	0,003 UGM

7. SITUACIÓN EN ESPAÑA

La aplicación en España de las medidas a favor del desarrollo rural se llevó a cabo mediante el Real Decreto 708/2002 y sus modificaciones, por el que se establecen medidas complementarias al Programa de Desarrollo Rural para las medidas de acompañamiento de la Política Agraria Común.

Las ayudas a los ganaderos de razas en peligro están enmarcadas dentro de las medidas complementarias al Programa de Desarrollo Rural de la PAC.

Con el código 9.2, se comprendían ayudas a titulares de explotaciones con razas autóctonas en peligro de extinción conforme a lo establecido en el Reglamento (CE) 445/2002.

Los compromisos de las medidas son:

- Mantener razas autóctonas en peligro de extinción.
- Realizar las actuaciones de pastoreo con animales de especies autóctonas en peligro de extinción.
- Mantener el censo ganadero de las razas acogidas.
- Respetar las cargas ganaderas establecidas.
- Pertener a una asociación ganadera cuyos fines sean la mejora y conservación de las razas autóctonas.
- Inscripción en el libro registro oficial de la raza correspondiente.
- Mantener en pureza los efectivos reproductores machos y hembras de estas razas.
- Participar en un programa de mejora genética con la obligación de aportar información para el seguimiento de la raza, así como para la elaboración de valoraciones.

8. GRANJAS PARQUE: TIPOS, OBJETIVOS, CONSERVACIÓN DE RAZAS Y TRADICIONES, EDUCACIÓN, SENSIBILIZACIÓN SOCIAL E INVESTIGACIÓN. ESTRUCTURA DE LOS PARQUES

Los programas “ex situ in vivo”, en rebaños de propiedad institucional o comunitaria pueden ser utilizados de forma satisfactoria para la conservación de recursos genéticos de animales de producción que tienen un valor económico real.

En la práctica, todos los ejemplos de programas de conservación “ex situ in vivo” han sido diseñados para mantener la utilización habitual de los recursos por los ganaderos (o que se prevea su uso en un futuro cercano) o son poblaciones que se mantienen para la investigación. Sin embargo existen también experiencias de programas de conservación “ex situ in vivo” de animales no destinados a ninguna utilización en concreto, aunque son esporádicas.

La conservación “ex situ” de animales vivos puede agrupar las siguientes modalidades: granjas experimentales pertenecientes a centros oficiales, centros de formación agraria y granjas-escuela y granjas parque y/o centros de interpretación de la naturaleza con razas domésticas.

8.1. Granjas experimentales pertenecientes a Centros Oficiales

Como herencia de la estructura organizativa de las distintas administraciones públicas españolas, en relación al fomento y apoyo al sector pecuario y consolidadas desde la segunda mitad del siglo XX hasta nuestros días, se pueden distinguir dos tipos:

Ámbito regional

Este sería el caso de los antiguos Centros de Reproducción y Selección Animal (CENS-YRAS), actualmente de competencia exclusivamente regional, en aquellas comunidades autónomas donde tienen su ubicación. De entre ellos, como posiblemente más importantes por el número de razas autóctonas que acogen, podemos destacar el de Extremadura (Badajoz) y el de Aragón (Movera), sin menospreciar los restantes que cumplen un papel muy relevante en sus respectivos ámbitos de actuación. El CENSYRA de Colmenar Viejo (Madrid) ha sido designado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación como el Centro Nacional de Referencia en materia de reproducción animal y Banco de Germoplasma.

Ámbito local

En este apartado cabe citar a los centros de fomento pecuario pertenecientes a las diputaciones provinciales u otras entidades locales, dada su proximidad al sector. Entre ellos, merecen especial mención la Granja Experimental de Zamora (especie bovina: Alis-tana-Sanabresa y Sayaguesa; especie asnal: raza Zamorano-Leonesa; especie canina:

Pastor Leonés), el Centro Agrícola Ganadero de la Diputación de Cádiz (oveja Merina de Grazalema), la Diputación de Huelva (cerdo Manchado de Jabugo), la Diputación de Sevilla (ovino Churro Lebrijano) y el Centro de Fomento de Córdoba (especies aviares: razas andaluzas) y el del Cabildo de la Isla de la Palma (especie bovina: Raza Palmera; especie ovina: raza Palmera; especie caprina: Raza Palmera; especie porcina: Negro Canario).

8.2. Centros de Formación Agraria y Granjas-Escuela

Estos centros constituyen una alternativa real a la conservación “ex situ” de las razas autóctonas españolas ya que, independientemente de su importancia en número, distribución y acogida de razas autóctonas en toda España, ofrecen la oportunidad de difundir el conocimiento de las mismas, tanto en el ámbito profesional agrario, si nos atenemos a los Centros de Formación Agraria como, y no menos importante, a la ciudadanía en general.

8.3. Granjas Parque y/o Centros de interpretación de Razas Autóctonas

Según las referencias bibliográficas de las que disponemos (Camacho y cols. 1998), las primeras iniciativas tipo granjas-parque, surgieron en el Reino Unido, siendo este mismo modelo seguido por Canadá y Alemania, con el doble propósito de ayuda a los programas de conservación de razas de ganado en peligro o amenazadas y servir como áreas de exhibición, recreo, esparcimiento, educación y sensibilización para el público en general. Así mismo, fue en ese país donde se acuñó el concepto.

Inicialmente, la creación de granjas-parque se basó en su contribución a los programas de conservación de razas de animales domésticos que se encontraban en una situación más crítica, así como en la difusión y promoción de las características tanto de dichos animales como de sus producciones.

En Escocia, se funda en 1987 The Rare Breeds Farm Park, con el propósito de conservar razas amenazadas y exhibirlas a los visitantes, con el propósito de concienciarlos y crear en el público la necesidad de apreciarlos y mantenerlos vivos.

La mayoría de las granjas-parque, mantienen razas pertenecientes a varias especies y se complementan con otras actividades que poco o nada tienen que ver con la zootecnia, pero que sirven como atractivo al público, especialmente infantil que va a visitarlas, como son celebraciones de fiestas, meriendas y otras actividades lúdicas.

En el Reino Unido existen actualmente más de 20 granjas-parque, las cuales son aprobadas por un organismo denominado Rare Breed Survival Trust, cuyo principal objetivo es la conservación de razas amenazadas de animales domésticos. Este organismo establece unos requisitos previos para la autorización de una granja-parque y lleva a cabo una serie de visitas de inspección de forma regular. Uno de los requisitos es la obligación de contribuir a la conservación, exposición y cría de unas determinadas razas en peligro, aunque deben mantener también otros colectivos raciales menos amenazados.

La financiación de las granjas parque se basa principalmente en:

- a) Programas de adopción, por los que se proporciona a los visitantes la oportunidad de contribuir al mantenimiento del animal o grupo de animales que él elija, a un coste anual razonable, recibiendo como contrapartida fotos y un informe periódico sobre su evolución.
- b) Patrocinadores
- c) Suscripciones de socios
- d) Venta de entradas
- e) Venta de animales
- f) Posibles subvenciones.

Por otra parte, la creación de los Centros de Interpretación de la Naturaleza se ha convertido, a nivel general, en un punto de partida para difundir el conocimiento de los distintos ecosistemas, incluyendo todas las características del entorno: flora, fauna, suelo y sus interrelaciones. El objetivo principal es ofrecer información sencilla, amena y pormenorizada de todos estos elementos bajo una perspectiva integral, sirviéndonos desde técnicas museísticas modernas (efectos visuales, sonoros, etc.) hasta presentaciones que permiten observar directamente, en este caso los animales, en su medio natural, o bien con cámaras de vídeo a tiempo real.

Aunque en España no se ha constatado aún la existencia de granjas parque de razas autóctonas, como modelo alternativo de conservación “ex situ”, a diferencia de lo que ocurre en otros países, como es el caso de Inglaterra, Alemania, Suiza o Canadá, esta modalidad de preservación de recursos genéticos sí que ofrece un gran potencial de desarrollo en nuestro país. Es muy probable que en fechas no muy lejanas se hagan realidad algunas iniciativas de este tipo.

La creación de Granjas-Demostración de carácter privado o de Centros de Interpretación públicos, puede jugar un importante papel en la sensibilización de la sociedad hacia la protección de nuestras razas.

No obstante, en relación con los centros de interpretación de razas autóctonas, se conocen dos experiencias en España que podrían encuadrarse perfectamente dentro de este apartado. En primer lugar, la reciente inauguración del Centro de Interpretación de Razas Autóctonas en Cabárceno, perteneciente a la Comunidad Autónoma de Cantabria, el cual acoge a las razas Monchina y Tudanca de la especie bovina, así como a la raza Monchina de la especie equina. El principal objetivo de esta iniciativa, cuyas instalaciones se ubican dentro del sector de fauna ibérica del parque, es la preservación de las antedichas razas autóctonas, así como su divulgación entre los visitantes.

Otra iniciativa, similar a la descrita anteriormente, la tenemos en la creación de un centro de conservación de razas autóctonas en el Pirineo oscense (Plan de recuperación de Calmosa, Lacenilla y Aldea de Puy de Cinca), a través de la Fundación “Pirineos para

el Progreso Rural”, orientado como centro para la práctica de actividades en la naturaleza y en la granja, donde los visitantes desarrollan tanto programas educativos como estancias de ocio y tiempo libre, e incluso la práctica de deportes al aire libre. Esta iniciativa pretende consolidarse como un modelo de desarrollo rural alternativo o complementario a las actividades tradicionales de la comarca, todo ello basado en el uso racional de los recursos naturales. Las razas autóctonas con las que cuenta esta iniciativa son la Jaca Navarra, Pottoka y el Asno del Pirineo dentro de la especie equina; las razas Churra Tensina y Pirenaica como representantes de las especies ovina y caprina, respectivamente, y finalmente las razas Euskal-Oiloa, Catalana del Prat y Penedesenca de la especie aviar.

En Andalucía existen también iniciativas de este tipo. Un ejemplo lo tenemos en el Centro Agroambiental “La Algaba de Ronda”, que cuenta con un centro de educación en una finca de la serranía de Ronda con ejemplares de diversas razas en peligro (vacuno Pajuno y Cárdeno Andaluz, burros Andaluces, ovejas Merinas de Grazalema, gallinas Andaluzas, etc.).

BIBLIOGRAFÍA

- Anderson S. (2004): A review of environmental effects on animal genetic resources. AnGR Thematic paper. FAO.
- Camacho Vallejo M. E. y cols. (1998): Las granjas parque y la conservación de recursos genéticos de los animales domésticos. EL ARCA, N°2 Vol 1. 38-41.
- Gibson J. (2005): Necesidad de información para la conservación de los recursos genéticos. AGROPOLIS, Montpellier, Francia. 7-10 noviembre 2005.
- Gibson J., Gamage S., Hanotte O., Iñiguez L., Maillard J.C., Rischkowsky B., Semambo D. y Toll J.. (2005): Options and Strategies for the Conservation of Farm Animal Genetic Resources. Report of an International Workshop. AGROPOLIS, Montpellier. Francia. 7-10 noviembre 2005.
- Martínez E., Benavente M., Barba C. (2000): Un modelo alternativo de gestión en las razas caninas autóctonas como base para su conservación. EL ARCA N°4 Vol. 1. 27-31
- Scherf B. y cols. (2005): Status of animal genetic resources: time for action? AGROPOLIS, Montpellier, Francia. 7-10 noviembre 2005.

CAPÍTULO 8

PROGRAMAS DE CONSERVACIÓN EX SITU. CREACIÓN DE BANCOS DE GENES. EL FUTURO DE LA BIOTECNOLOGÍA.

**Mercedes Valera Córdoba¹, Isabel Vázquez González²,
Jesús Fernández Martín³**

1 Dep. Ciencias Agroforestales, Univ. Sevilla, Sevilla;

2 INIA, 28040 Madrid;

3 Dep. Mejora Genética Animal, INIA, 28040 Madrid

1. INTRODUCCIÓN

La conservación *ex situ* que proporciona un mantenimiento de los componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitat naturales, constituye un proceso que implica tanto el almacenamiento de los recursos genéticos en bancos de germoplasma, como el establecimiento de especies en cautiverio en centros de cría, parques y zoos. El objetivo primordial de la conservación *ex situ* es apoyar la supervivencia de las especies en sus hábitat naturales, por lo tanto debe ser considerada en toda estrategia de conservación como un complemento para la preservación de especies y recursos genéticos *in situ*, principalmente cuando se trata de especies críticamente amenazadas.

Diversas razas y variedades de animales de interés ganadero, han sufrido una importante disminución de su población hasta llevarlas a cotas próximas a la extinción. Entre las muchas y distintas causas por las que esto ocurre, pueden citarse la introducción de material genético foráneo, determinadas políticas agrarias, la demanda cambiante de los mercados o la degradación de los ecosistemas.

El espectacular desarrollo de las tecnologías reproductivas, acontecido en los últimos años, ha abierto de forma espectacular un elevado número de posibilidades con especial impacto en el sector de la producción ganadera, siendo relevante los diferentes estudios encaminados a poner la tecnología reproductiva al servicio de la conservación de recursos genéticos animales vulnerables o en peligro de extinción. La evolución de estas tecnologías y el impulso de la sociedad de la información han permitido que dicha sociedad se familiarice con las nuevas tecnologías, como la clonación o la inseminación con material espermático recogido tras la muerte de un individuo. Estas técnicas incluyen la recogida, conservación y transferencia de embriones, la obtención y conservación de gametos (espermatozoides y ovocitos), la inseminación artificial, la fecundación *in vitro*, y la inyección intracitoplasmática de espermatozoides. Todas ellas suponen instrumentos claves de apoyo a las medidas tradicionales de conservación, y en algunos casos, la única alternativa de recuperación (Santiago-Moreno *et al.*, 2006).

2. ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACIÓN DE LOS RECURSOS GENÉTICOS ANIMALES

Los animales domésticos representan en cada país una fuente importante de recursos que pueden contribuir a la producción alimentaria y agrícola y satisfacer las necesidades humanas, por lo que tienen un valor estratégico que debe ser mantenido y aprovechado para las futuras generaciones, y, en consecuencia, la Administración, máxima garante de esta conservación, debe establecer los mecanismos que eviten su deterioro y que permitan invertir esta tendencia tan negativa, que en los últimos años está produciendo una pérdida notable de nuestra variabilidad genética. Los objetivos de la conservación son (MAPA, 2003):

- Adaptación a las exigencias socioeconómicas que permitan responder a las demandas del mercado, necesidades de los consumidores o condiciones agroambientales.
- Mantenimiento de la tradición cultural y social de las razas en el marco rural, donde los recursos están íntimamente unidos a las tradiciones, historia, ocio, recreo, turismo y actividades culturales.
- Mantenimiento de la diversidad medioambiental y protección del medio ambiente.
- Reservorio genético para dar respuesta a las necesidades de seguridad alimentaria y otras posibles necesidades de carácter genético actualmente desconocidas.
- Base de futuro importante para la investigación y el desarrollo, con aplicaciones en reproducción, sanidad, inmunología, nutrición, genética, producción y medio ambiente.

Las estrategias conservacionistas que van a permitir la recuperación y mantenimientos de las especies amenazadas son los siguientes:

- Caracterización de los recursos genéticos: mediante la caracterización etnológica, productiva, genética, socioeconómica, cultural y medioambiental.
- Establecimiento de estrategias de conservación y aprobación de planes específicos de conservación. Para lo cual es preciso una revisión exhaustiva de los programas de cría ya aprobados por la Administración, así como la aprobación de nuevos programas de conservación tras la catalogación de las razas en peligro de extinción.

Clásicamente podemos diferenciar dos estrategias bien diferenciadas de conservación: la conservación *in situ* y la conservación *ex situ*. De una forma general, la conservación *in situ* (acción prioritaria dentro del marco de la preservación) comprende el conjunto de acciones orientadas a la preservación de un ecotipo, subespecie o especie concreta en su medio natural. Implica por tanto maniobras encaminadas a conseguir el equilibrio de la población a conservar con el resto de las especies animales y vegetales que constituyen su biotopo natural, favoreciendo un correcto flujo genético. Esta estrategia conservacionista se ve favorecida si es complementada con la conservación *ex situ* que se desarrolla en un contexto ambiental fuera del medio natural en el que, de forma normal, se desenvolvería la especie objeto de conservación. Comprende tanto las medidas de cría en cau-

tividad en núcleos controlados como por ejemplo en Zoológicos (conservación *in vivo*), así como la conservación indefinida de material genético (espermatozoides, ovocitos, embriones ó células somáticas) mediante tecnologías reproductivas. Este último punto se basa, fundamentalmente, en las técnicas de criopreservación que representan el elemento base para el desarrollo de los denominados bancos de recursos zoogenéticos (Santiago-Moreno *et al.*, 2006).

2.1. La conservación *ex situ*

La conservación *ex situ* se define como la conservación de componentes de la biodiversidad fuera de sus hábitats naturales. Los centros de conservación *ex situ* contienen reservorios genéticos de gran importancia, ya sea en forma de bancos de genes o germoplasma, en colecciones *in vitro* de tejidos, o con especímenes vivos de diferentes especies, silvestres y domesticadas (zoológicos, acuarios, centros de rescate, etc.). Una de sus principales funciones es apoyar la conservación *in situ*, al generar investigación para la reintroducción, regeneración y conocimiento sobre las especies en general, así como promover una mayor conciencia del valor de la biodiversidad mediante la educación no formal.

¿Cuál es la finalidad de un Centro de conservación *ex situ*?

- Rescatar, proteger y mantener componentes de la diversidad biológica.
- Producir material para restauración y manejo de hábitat.
- Producir material para la investigación en temas como biología de la conservación.
- Incrementar el germoplasma para su almacenamiento en diferentes formas *ex situ*.
- Suministrar material para diferentes propósitos, ayudando a reducir la presión de la recolección silvestre.
- Rescatar proteger y mantener componentes de la diversidad biológica que se encuentren amenazados.
- Hacer disponible el material para educación y exhibición.

La conservación *ex situ* es un componente necesario de toda política de conservación de la diversidad biológica, especialmente cuando las presiones sobre el medio natural son muy elevadas y no es posible garantizar la conservación en sus hábitats naturales de las especies más amenazadas o de distribución reducida, así como de determinadas variedades agrícolas o razas ganaderas que también se encuentran en peligro de desaparición.

¿Para qué sirven los Centros de Conservación *ex situ*?

- Complementan los esfuerzos por conservar la diversidad biológica en condiciones *in situ*.
- Pueden ser la única opción disponible cuando un hábitat natural ha sido destruido o se encuentra en proceso de deterioro irreversible.
- Pueden ser reservas para poblaciones de especies amenazadas, contribuyendo a su reintroducción y al manejo *in situ*.
- Ayudan a preservar la variabilidad genética con que está dotada la biodiversidad del país.
- Proporcionan material para la propagación y reproducción, así como para la investigación, especialmente en el campo taxonómico.
- Las colecciones pueden proporcionar a los usuarios el acceso inmediato a un amplio rango de variación genética entre las especies.
- Sirven para difundir y educar al público en general sobre la importancia de la diversidad biológica.

2.1.1. *In vivo*: Granjas, zoos, reservas, etc...

El objetivo de los programas de conservación de recursos genéticos *in vivo* cuya finalidad es la recuperación de una especie en peligro de extinción es proporcionar un número suficiente de animales sanos para ayudar a restaurar la especie en el medio natural donde se desarrolla. Al mismo tiempo, estos programas sirven para mantener una reserva de animales como salvaguarda frente a una posible extinción, hasta que las condiciones de tamaño y viabilidad de la población original hayan sido restauradas. Para ello es preciso contar con un buen manejo genético y demográfico de la población. El manejo óptimo de la población se logra aumentando rápidamente su tamaño, hasta un límite que estará determinado por el número de ejemplares que se considere idóneo y por la disponibilidad de recursos. Una vez alcanzado este límite, la máxima eficacia se consigue estabilizando el tamaño de la población. Para ello es preciso acompasar la producción de ejemplares con las necesidades de los programas de reintroducción, y del propio programa de cría, que requiere sustituir a los individuos post-reproductores. Actualmente se disponen de programas de cálculos demográficos para estimar el número necesario de fundadores y las tasas de crecimiento de la población (Lacy y Vargas, 2004).

Los problemas genéticos, como la pérdida de variabilidad, amenazan el futuro de algunas poblaciones al incrementar los índices de mortalidad y disminuir los de fecundidad. Los programas cooperativos de cría (ejemplo de la colaboración entre zoos) proporcionan la diversidad genética necesaria para sostener una población en retroceso, recuperar una población extinguida en la naturaleza, o cuando menos, preservar material genético para el futuro.

El primer ejemplo de programas cooperativos de cría se sitúa en el año 1900. Posteriormente, en 1923, el director del Zoo de Frankfurt fundó la International Society for the Conservation of the European bison (*Bison bonasus*). Los zoos de Berlín, Frankfurt, Halle, Hamburg-Hagenbeck entre otros, aportaron animales, y el Zoo de Varsovia aceptó la responsabilidad del studbook en 1932. La sociedad se inspiró en la Society for the Conservation of the American bison, disuelta a finales de los años 30 del siglo pasado, tras alcanzar su objetivo. Desde entonces, el número de studbooks y programas cooperativos de cría ha experimentado un enorme crecimiento (Waza, 2005).

Durante los años 90, los zoos y acuarios se fueron incorporando a una gran cantidad de programas de conservación de especies que tenían como objetivos la reintroducción de animales nacidos en zoos en los hábitats naturales y la protección de sus hábitats. Los programas de conservación de especies también incluían el desarrollo de programas de carácter sistemático y científico, como los Species Survival Plans (los SSPs de AZA), los programas para especies amenazadas -European Endangered Species Programmes (EEPs de EAZA), los Australasian Species Management Programmes (los ASMPs de ARAZPA), y los African Preservation Programmes (los APPs de PAAZAB). Estos programas se han convertido en la base fundamental para el manejo conjunto de las poblaciones *ex situ* de las especies para las que fueron creados (Waza, 2005).

Los programas de conservación *ex situ* (*in vivo*) se enfrentan con los mismos problemas que cuando se practican estrategias de conservación *in situ* (escaso número de fun-

dadadores, reducido tamaño efectivo, flujo limitado de genes, posible hibridación, etc.). Los genetistas aconsejan para mantener la viabilidad de una población *ex situ* que su tamaño poblacional permita mantener el 90% de la fuente de la diversidad genética de la especie en 100 años, para lo cual hay que considerar otros aspectos reproductivos (fertilidad, intervalo entre partos, precocidad sexual, etc.). Así, las especies con grandes intervalos generacionales o con un nivel de endogamia reducido requerirían tamaños poblacionales más pequeños. Lo cual evidencia la necesidad de establecer programas cooperativos de cría. A pesar de todo son numerosos los programas que no son capaces de mantener los niveles de variabilidad necesarios para el sostenimiento de la raza. Es necesario que cada programa establezca estrategias para mantener e incrementar la viabilidad de sus poblaciones:

- Aumentar el espacio de cría fuera de los recintos de exhibición;
- Establecer programas internacionales;
- Practicar apareamientos dirigidos con el fin de evitar la endogamia;
- Mejorar los índices reproductivos y la viabilidad de las crías;
- Recuperar todos los individuos pertenecientes a la especie o raza.

Es preciso establecer programas de conservación genética que además de garantizar la identidad racial de los animales (análisis del ADN mitocondrial y análisis del ADN nuclear), mantengan minimizado el parentesco entre los individuos, con lo cual se solucionarían algunos de los problemas con los que se enfrentan las poblaciones de los zoológicos: depresión consanguínea, pérdida de variabilidad genética, deterioros genéticos y la inadaptación genética al ambiente del zoológico.

Las necesidades en el comportamiento de los animales se deben satisfacer por medio de una correcta estructura social de grupo, un buen diseño de instalaciones y unos programas de enriquecimiento. No obstante, las transferencias de animales entre instituciones suponen un riesgo significativo de propagación de enfermedades. Es necesario que se establezcan protocolos nacionales e internacionales para el movimiento de este tipo de animales, debiéndose tener un estricto cuidado en reducir la exposición de animales a otras especies u organismos con los que de forma natural no entrarían en contacto.








2.1.2. Banco de genes

Un banco de recursos zoológicos se define como el lugar establecido para la conservación *ex situ* de individuos, tejidos o células reproductivas de plantas o animales. (WRI 1992). Es decir, es el almacén de gametos (germoplasma: espermatozoides y ovocitos) y embriones de determinadas especies, subespecies, ecotipos o razas, que es realizado con fines de conservación y posible uso futuro en programas de reproducción asistida. Entre las numerosas ventajas de estos bancos genéticos se encuentra: la mínima necesi-

dad de espacio, extiende los intervalos generacionales, evita la deriva genética y minimiza la consanguinidad, minimiza la introgresión, proporcionan una garantía ante posibles desastres naturales, epizootias o la fragmentación del hábitat y proporcionan posibilidad de poder mantener, en un tiempo indefinido el material genético (espermatozoides, ovocitos o embriones), lo cual podrá permitir en el futuro, con los avances en las biotecnologías de la reproducción y sanidad animal, soluciones para el tratamiento de problemas de fertilidad en animales de gran valor genético, diagnóstico de nuevas enfermedades y desarrollo de nuevos protocolos terapéuticos de importantes epizootias (Santiago-Moreno *et al.*, 2006).

Entre las recomendaciones del Comité de Expertos de la FAO para la Preservación de Recursos Genéticos de 1989 se encuentra el que se mantenga el interés por un rápido desarrollo de la biotecnología aplicada a la preservación de la diversidad genética animal. Junto con las técnicas convencionales de almacenamiento de semen y embriones, se recomienda el desarrollo de nuevas técnicas como podrían ser la vitrificación de embriones y ovocitos, la recuperación de esperma y de ovocitos inmaduros de animales en las últimas etapas de su vida (con una posterior maduración *in vitro*, fertilización y cultivo de cigotos), así como la recolección, extracción y almacenamiento de otros tejidos corporales, muestras de sangre, cromosomas, o trozos específicos de estos y ADN para su posible uso posterior cuando sean técnicas de rutina. En la tabla 1 se resumen los componentes de información genética que pueden ser conservados actualmente, al menos de forma experimental.

Tabla 1. Componentes de Información genética y técnicas disponibles para preservar los recursos genéticos (Adaptado de Wiener, 1990)

INFORMACIÓN GENÉTICA	TÉCNICAS USADAS PARA LA PREPARACIÓN Y RECOLECCIÓN	
	NUCLEÓTIDO	BIOQUÍMICA
	CODÓN	BIOQUÍMICA
	EXÓN	BIOQUÍMICA
	CLUSTER GÉNICO	BIOQUÍMICA, INGENIERÍA GENÉTICA
	CROMOSOMA	INGENIERÍA GENÉTICA, CRIOCONSERVACIÓN, MICROINYECCIÓN
	CARIOTIPO (GENOMA)	MICROMANIPULACIÓN
	SEMEN (HAPLOIDE)	CRIOCONSERVACIÓN, INSEMINACIÓN ARTIFICIAL

	OVOCITO (HAPLOIDE)	FERTILIZACIÓN IN VITRO
	PRONÚCLEOS (HAPLOIDE)	MICROMANIPULACIÓN
	NÚCLEO	CLONAJE, MICROMANIPULACIÓN
	EMBRIÓN	CRIOCONSERVACIÓN, TRANSFERENCIA DE EMBRIONES
	CÉLULAS	CLONAJE, LIBRERÍAS GÉNICAS
	ANIMAL ADULTO	PEQUEÑAS POBLACIONES, ZOOS, RESERVAS NATURALES



Recogida de esperma. Foto: F. Arrebola

2.1.2.1. Crioconservación de Semen

Está bien establecido que el semen congelado puede ser almacenado sin deterioro notable por un período de tiempo indefinido. Por ello se argumenta que con este método podría preservarse una raza sin necesidad de otras medidas, ya que si se conserva el semen de un número suficiente de machos, es posible reconstruir una raza, aunque se necesite un complejo sistema de cruzamientos durante varios años para regenerarla. No obstante, en un terreno práctico, tal reconstrucción nunca sería de tanta pureza como la de la raza original. Siempre, el semen almacenado representaría una pequeña muestra de toda la variabilidad genética de la raza, por lo que en definitiva su aportación a dicha reconstrucción sería pequeña, en relación con la dotación génica de la raza en su conjunto. En cualquier caso, cuando este método se utiliza en un programa de preservación, las primeras etapas que deben cubrirse están relacionadas con las de conseguir almacenar y

conservar el semen procedente del mayor número posible de machos.

Al igual que ocurre con los núcleos cerrados de conservación de animales vivos, con este método es necesario el mantenimiento de un tamaño efectivo de población suficientemente grande como para evitar pérdidas de variabilidad genética como consecuencia de la endogamia, siendo éste el principal criterio a utilizar en la determinación del número de células a crioconservar.

2.1.2.2. Crioconservación de Ovocitos

La recogida de ovocitos, como un método de conservación, es menos práctico que el anteriormente citado, por los factores limitantes derivados de su manipulación. Desde un punto de vista técnico es posible congelar y conservar en nitrógeno líquido tanto ovocitos inmaduros como maduros.

Con el rápido desarrollo de las técnicas de fecundación *in vitro*, cada vez son menores las limitaciones actuales derivadas de su utilización. Por ello es muy aconsejable congelar ovocitos junto a semen, para cuando la tecnología permita la fecundación *in vitro* post-descongelación de forma rutinaria. En estas condiciones será muy útil la utilización de ovocitos congelados para producir embriones de raza pura que podrán ser implantados en hembras de otras razas, y así reconstruir la raza con más rapidez y facilidad que cuando se utiliza el semen congelado exclusivamente.

2.1.2.3. Crioconservación de Células y Núcleos

Como el núcleo de cada célula animal contiene íntegra toda la información genética, se abre, al menos en teoría, la posibilidad de preservar la información genética de los animales en forma de células o de sus núcleos. Hasta ahora sin embargo, no ha sido posible reactivar un organismo completo a partir de la información genética contenida en una simple célula somática. En contraste, las totipotentes células embrionarias o blastómeros, procedentes de estadios embrionarios muy iniciales, pueden utilizarse para crear animales, portadores de información genética de esas células a través de quimeras, mediante la transferencia de los núcleos de las citadas células a ovocitos anucleados. Con el vertiginoso desarrollo de la investigación biotecnológica se están realizando importantes avances en técnicas de reactivación del material genético de células somáticas (tabla 2).



Tanque de congelación.
Foto: F. Arrebola

Tabla 2. Aptitud celular para la Crioconservación y reactivación
(adaptado de Brem et al., 1989).

CÉLULAS	ESFUERZOS REALIZADOS	APTITUD CONSERVACIÓN	REACTIVACIÓN POTENCIAL
Blastómeros tempranos	Altos	Media	Buena
Células ICM*	Medios	Buena	Buena
Células embrionarias (EK)	Muy altos	Excelente	Excelente
Células teratógenas (EC)	Muy altos	Buena	Buena
Células fetales (PGC)**	Muy altos	Excelente	Excelente
Células somáticas	Pequeños	Excelente	Excelente

ICM* : Células Interiores de la Masa del Blastocito.

PGC** : Células Germinales Primordiales.

2.1.2.4. Congelación de Embriones

La congelación de embriones ofrece más oportunidades que la conservación de semen y ovocitos, aún cuando los costes de obtención sean considerablemente mayores. La información genética completa queda almacenada en un embrión diploide, no necesitándose por ello, complicados programas de retrocruzamientos que permitan mantener en lo posible la variabilidad genética. Este medio de conservación permitiría la reconstrucción y difusión de una raza a través de la técnica conocida como MOET (Multi Ovulation and Embryo Transfer-Transferencia de embriones producida por ovulación múltiple inducida).

2.1.2.5. Almacenamiento de ADN y Genes *Ex situ*

Cromosomas aislados. Recientemente se ha demostrado la posibilidad de aislar y enriquecer cromosomas individuales por diversos métodos citofotométricos, a fin de obtener la suficiente cantidad de material genético como para que pueda utilizarse incluso directamente en las experiencias de transferencia de genes, dando lugar a los animales llamados “transgénicos”. Los experimentos de Richa y Lo (1989), que han conseguido diseccionar fragmentos de cromosomas procedentes de metafases humanas y microinyectarlos con éxito en el pronúcleo de ovocitos fertilizados de ratón, abre otra posibilidad más en la utilización de esta técnica para la preservación de material genético animal.

Librerías de ADN y/o cADN. Actualmente ya es posible preparar de diferentes tejidos (fundamentalmente del conjuntivo de hígado) o de la sangre, ADN de elevados pesos moleculares y conservarlo indefinidamente en nitrógeno líquido. El delicado proceso de separación de ADN de elevado peso molecular, a partir del tratamiento con endonucleasas de restricción, su recombinación en un vector apropiado (fago vacío o cósmido) y su introducción final en una bacteria, se realiza ya de una forma rutinaria y con éxito. De esta forma y dependiendo de los vectores (o cósmidos) utilizados, las librerías de genes esta-

blecidas pueden conservarse como suspensión, en cultivos a 4°C durante varios años, o con glicerol a -80°C durante períodos de tiempo más largos. Actualmente también ha sido posible establecer las llamadas librerías YAC (Yeast Artificial Chromosomes), combinando fragmentos de ADN de una longitud de varios cientos de Kb y las librerías de cADN a partir de mRNA aislado de trozos de tejidos o de órganos completos.

Genes aislados. El aislamiento de genes o de regiones que codifican un gen (cADN) puede obtenerse a partir de las librerías de genes, por lo que ya es posible manipularlos, preservarlos y utilizarlos en los programas de conservación. Sin embargo, pueden preverse dos grandes problemas antes de su utilización en los programas citados:

- Los mapas genómicos aún no están lo suficientemente elaborados como para identificar de una forma rutinaria secuencias de ADN responsables de caracteres cuantitativos de importancia económica.
- El uso de ADN almacenado para reconstruir un animal con características específicas aún no es posible, porque la re inserción técnica de ADN en células animales aún produce unos resultados demasiado aleatorios.

No obstante, con una proyección de futuro a largo plazo este método puede convertirse en un efectivo medio de preservación, si se tiene en cuenta que el ADN es una materia que no está considerada por las autoridades sanitarias aduaneras como material biológico que requiera una cuarentena. En estas condiciones podría circular libremente por el mundo, aun por regiones en las que hubiera restricciones de movimiento animal y germoplasma, como consecuencia de riesgos sanitarios.

2.2. La integración de la conservación *ex situ* en los programas de conservación

La conservación es una disciplina dedicada a la preservación, rescate, manutención, estudio y utilización del patrimonio que representa la biodiversidad. Como ya hemos ido viendo a lo largo de este capítulo, la conservación puede realizarse en dos modalidades: *in situ* y *ex situ*. La conservación *in situ* es la conservación, mantención y recuperación de poblaciones viables en sistemas dinámicos y evolutivos del hábitat original y la conservación *ex situ* se define como la conservación de muestras genéticamente representativas de las especies, que se mantienen viables a través del tiempo, fuera de sus hábitats naturales, en ambientes controlados y con el apoyo de tecnologías adecuadas (Frankel y Soulé 1992). Estas dos modalidades son complementarias y permiten garantizar la conservación, en el mediano y largo plazo, del patrimonio genético de las especies y sus poblaciones (Pezoa, 2001).

La conservación debe planificarse de tal modo que se integre con los planes de desarrollo sustentable y de utilización sostenible de los recursos naturales de las diversas regiones. Esta integración sería la única garantía que permita mantener los objetivos de conservar la biodiversidad en el tiempo. Por ello una conservación efectiva y eficiente, requiere aplicar la conservación *ex situ*, en bancos de germoplasma, con la conservación

in situ, en los hábitats de las especies. La conservación *ex situ* aseguraría la variabilidad genética de las especies en el tiempo y la conservación *in situ*, permitiría la evolución y la coevolución natural de las especies. La integración de los sistemas de conservación en los planes de desarrollo sustentable regional, con la participación de las comunidades locales, permitirían garantizar la conservación de la biodiversidad en el tiempo y su aprovechamiento sostenible al otorgar nuevas alternativas para el desarrollo (Pezoa, 2001).

La meta primordial de los programas cooperativos de cría *ex situ* para especies amenazadas y en peligro, es apoyar la conservación *in situ*. Puede ser a través del rescate de especies inminentemente amenazadas de extinción en la naturaleza, a través de la investigación, la educación o la promoción de esfuerzos que apoyan poblaciones *in situ*, o simplemente actuando como reservas genéticas y demográficas que sirven de reserva de soporte para poblaciones en peligro (Waza, 2005).

Un modelo útil para describir las relaciones potenciales entre el manejo de poblaciones *ex situ* e *in situ* es el modelo del manejo de meta-poblaciones que son manejadas bajo unas metas de conservación común. Los componentes de un plan de manejo meta-poblacional, pueden incluir múltiples poblaciones regionales *ex situ* (o una población global *ex situ*), programas de cría en el campo, múltiples poblaciones salvajes, poblaciones reintroducidas, hábitats adecuados disponibles para la reintroducción e incluso bancos de genomas. El manejo de poblaciones se logra a través de transferencias entre instituciones en la población *ex situ*, la reintroducción al medio natural (salvaje) de animales criados en zoológicos, y en lo que a genes se refiere, la inseminación artificial o tecnologías de transferencia de embriones. El papel de las poblaciones *ex situ* puede ir desde servir simplemente como reservas genéticas y demográficas estáticas para las especies, con poca interacción con poblaciones silvestres, hasta ser poblaciones con un extenso flujo de genes en ambas direcciones (reintroducción y adquisición de nuevos fundadores) (Waza, 2005).

2.3. Problemática de la conservación *ex situ*

Desde el máximo apogeo que la conservación *ex situ* de recursos genéticos animales vivos (cría en cautividad) experimentó en la década pasada hasta nuestros días, se han detectado muchos de los problemas que plantea la conservación *ex situ*, entendiendo como tal la recuperación de poblaciones viables de ésta a partir de individuos criados en cautividad (Revilla, 1998):

1. Errores conceptuales de partida a la hora de diseñar una estrategia de conservación adecuada siguiendo criterios de Biología de la Conservación. El elevado coste económico que supone un plan de cría en cautividad puede llegar a suponer muchas veces la no implementación de medidas de conservación *in situ*.
2. Continuidad del proyecto a largo plazo. Los enormes costos que suponen los planes de conservación de especies basados en programas de cría en cautividad, hace que sean poco fiables en la consecución de objetivos a largo plazo, especialmente cuando se trabaja en países poco desarrollados o en democracias inesta-

- bles, en los que la capacidad de inversión económica es escasa y las prioridades son fluctuantes (Primack, 1993).
3. Uso de animales procedentes de un pool genético distinto de la población de destino de la reintroducción. En la mayoría de los casos es difícil usar individuos con igual pasado genético ya que han desaparecido. En otros casos se ignoran las afinidades entre distintas poblaciones.
 4. Mantenimiento de toda la variabilidad genética disponible en la población silvestre. Este es un problema fundamental, ya que normalmente, los proyectos utilizan animales procedentes de otras áreas geográficas (Lande, 1995). El no cumplimiento de esta premisa supone la pérdida de variabilidad genética, básica para la supervivencia de los animales reintroducidos, en ambientes fluctuantes o incluso nuevos.
 5. Tamaño de la población cautiva. Para prevenir los negativos efectos de la deriva genética y para evitar los de la endogamia, el número de animales de la población cautiva ha de ser autosostenibles.
 6. Las densidades que se alcanzan en centros de cría en cautividad son muy elevadas, provocando que los animales sean más susceptibles a enfermedades, tanto las habituales en el campo como a nuevos patógenos.

3. ASPECTOS SANITARIOS PARA LA CONSERVACIÓN EX SITU DE RECURSOS GENÉTICOS ANIMALES VIVOS

La manipulación de poblaciones incluye manejo demográfico, manejo genético, cuidado veterinario y mantenimiento. Es absolutamente necesaria la coordinación entre todos estos campos ya que unos plantean restricciones a otros. Por ejemplo, consideraciones de comportamiento y de manejo a menudo limitan el manejo genético, y consideraciones veterinarias pueden excluir animales de situaciones de cría o impedir algunas transferencias entre instituciones.

La UE presenta un cuerpo de legislación destinado al control sanitario animal dentro de la comunidad que, al ser de obligado cumplimiento, ha sido transpuesta a nuestra legislación nacional y autonómica. Esta legislación cubre todos los aspectos del movimiento intracomunitario y extracomunitario tanto de animales vivos como de sus productos. De la misma forma, existen directivas que regulan aspectos sanitarios del comercio de semen y embriones animales. Así las Directivas del Consejo 64/432/EEC regula el comercio intracomunitario bovino y porcino, mientras que la 72/462/EEC, 79/542/EEC y 91/496/EEC lo hacen para el comercio con terceros países.

La importación y movimiento de semen y embriones bovinos se regulan a través de las Directivas del Consejo 88/407/EEC y 89/556/EEC, respectivamente. En éstas se regulan las condiciones sanitarias del movimiento de germoplasma, así como las condiciones sanitarias que deben cumplir los centros de recolección y almacenaje de este material.

La directiva del Consejo 88/407/EEC fue modificada posteriormente por la directiva del Consejo 2003/43/EC, que permite que los centros del almacenaje del semen además de centros de recolección del semen (teniendo sus propios toros), puedan importar esperma de otros centros de los Estados Miembros.

Similar legislación existe para el resto de especies (esta puede ser consultada en el banco de datos legal de la FAO (FAOLEX: <http://faolex.fao.org/faolex/>).

No obstante, los objetivos de estas Directivas son la regulación del comercio intra comunitario y la importación de semen, en vez de facilitar la crioconservación del material genético. De hecho la aplicación de esta legislación puede ocasionar problemas para la obtención de semen de razas en peligro (FAO, 2006), muchas de las cuales presentan una situación sanitaria deficiente (Molina *et al*, 2004). Estos problemas están relacionados con la dificultad para el movimiento de los animales a los centros de recogida, así como el control sanitario de los donantes. El primer problema podría ser resuelto con la recogida en finca.

Ambos problemas están determinados por la legislación sobre prevención, control, monitorización y erradicación de enfermedades específica, p.e. la lengua azul en el caso de los rumiantes (Directiva 2000/75/EC). Estas directivas tienen como objetivo la erradicación de enfermedades que son endémicas en determinadas regiones y países de la UE. Una de las medidas más restrictivas en este sentido es la del movimiento pecuario que establece severas condiciones para poder intercambiar animales entre ganaderías, desplazarse a centros como los de recogida de semen etc... además del sacrificio de los animales positivos de determinadas enfermedades. Todo esto determina que los condicionantes sanitarios tengan una repercusión muy elevada en programas de conservación, tanto *in situ* (Molina *et al*, 2004) como *ex situ* (FAO, 2006). Conscientes de esta repercusión el Consejo ha elaborado algunas Directivas que permite, en el caso de las razas en peligro, relajar la legislación vigente en esta materia. Así, por ejemplo, la Directiva 2003/85/EC y 92/65/EEC en el caso de los laboratorios, zoológicos, parques zoológicos, institutos de investigación, reservas genéticas de razas en peligro etc. no se exige el sacrificio inmediato. De la misma forma, cuando la situación es crítica, siempre que se den determinadas premisas (relacionadas con la eliminación del riesgo de diseminación a otras explotaciones), se permite el "sacrificio diferido" (pe. sacrificio cuando se haya obtenido al menos una cría sana del animal infectado) en las explotaciones de estas razas (se las consideran "núcleos de cría de animales de especies susceptibles indispensables para la supervivencia de la raza").

Otro claro ejemplo de las repercusiones sanitarias sobre la conservación de razas lo tenemos en el caso del Scrapie ovino. El cumplimiento de las Directivas relacionadas con esa enfermedad (Decisión 2003/100/EC) puede ocasionar una grave disminución del tamaño efectivo de determinadas razas en peligro. Los resultados obtenidos en las razas ovinas andaluzas muestran un porcentaje de animales portadores del alelo VRQ del 5%. También en este caso cuando el rebaño se considera de alto valor genético se pueden relajar las medidas.

Finalmente, existe una legislación de identificación animal, inscripción de animales de elevado valor genético, e identificación de donantes a los efectos de la crioconservación (Ingrassia *et al.*, 2005) que se tendrán en cuenta para la ejecución de este proyecto (pe. EC-1760/2000). En Martin y Danchin-Burge (2003) se puede encontrar una compilación de los requisitos legales para la obtención y establecimiento de colecciones de material genético (semen, óvulos y embriones).

3.1. Requisitos sanitarios de las explotaciones y análisis serológico de los donantes

Las enfermedades de declaración obligatoria que se deben tener en cuenta (según la legislación vigente española) para la selección de donantes serán:

Bovinos

- Pertenecer a un rebaño oficialmente indemne de tuberculosis y de brucelosis (Real Decreto 1716/2000, de 13 de octubre, sobre normas sanitarias para el intercambio intracomunitario de animales de las especies bovina y porcina), y no haber permanecido anteriormente en un rebaño con un estatus inferior. En caso contrario, los posibles donantes de semen se someterán a pruebas serológicas como máximo 28 días antes de la recogida (en el Centro Pecuario Regional de Córdoba). En cuanto a los animales donantes de células, sólo se seleccionarán rebaños indemnes.
- Así mismo, el rebaño debe tener una situación de oficialmente indemne de leucosis bovina enzoótica (Real Decreto 1716/2000, de 13 de octubre). En caso contrario, deben ser hijos de una madre que haya sido sometida, con resultados negativos, a una prueba efectuada de conformidad con el anexo III del Real Decreto 2611/1996, de 20 de diciembre, teniendo en cuenta que los animales deben ser de una edad inferior a dos años. En aquellos animales que hayan alcanzado esta edad, serán sometidos a una prueba diagnóstica en el laboratorio de referencia. En el caso de los donantes de células somáticas se intentará alcanzar el número previsto con los rebaños oficialmente indemnes, caso de no ser posible se someterá, a un lote de madres, a esta prueba.
- Haber sido sometidos los animales donantes de semen a una prueba serológica (con resultado negativo) dentro de los 28 días previos, para virus completo de IBR/IPV. No será necesario realizar esta prueba en caso de células somáticas.
- Haber sido sometidos los animales donantes de semen a una prueba de detección de virus completo o de presencia de antígenos (con resultado negativo) dentro de los 28 días previos, para el virus DVD/MD. No será necesario realizar esta prueba en caso de células somáticas.
- Haber sido sometidos los animales donantes de semen, como máximo 21 días anteriormente a la recogida, a pruebas diagnósticas para la búsqueda de *Campylobacter fetus ssp. venerealis* y de *Trichomonas foetus*. No será necesario realizar esta prueba en caso de células somáticas.

- Las explotaciones de las que se obtenga material genético (semen y células) deben estar situados en el centro de una zona, de un radio de 10 kilómetros, en la cual no haya habido caso alguno de fiebre aftosa, pleuroneumonía contagiosa o carbunco bacteriano desde, por lo menos, 30 días antes.
- Finalmente se descartarán aquellos animales con manifestaciones clínicas de cualquier patología que se sospeche pueda tener una causa infecciosa o genética.

Ovinos y Caprinos

- Se someterá a los animales donantes, con resultado negativo, en el curso de los treinta días anteriores a la recogida a:
 - Una prueba para detección de la brucelosis (*brucella melitensis*), de conformidad con el anexo C del Real Decreto 2121/1993.
 - Una prueba para la detección de la epidemitis contagiosa del morueco (*brucella ovis*), de conformidad con el anexo D del Real decreto 2121/1993.
 - Una prueba de aislamiento del virus de la enfermedad de Border, Maedi-Visna y Pleuroneumonía Contagiosa caprina
 - Una prueba diagnóstica para la Lengua Azul
- Finalmente se intentará que los donantes de semen pertenezcan a los genotipos R1, R2 o R3 del scrapie y en lo que respecta a los donantes de células se excluirá animales con el genotipo VRQ (salvo, como se ha expresado anteriormente, que no existan suficientes donantes que cumplan este requisito).

Équidos

El RD 2459/96 recoge como enfermedades infecto-contagiosas de lo équidos, de declaración obligatoria, las siguientes: La Peste Equina, la Durina, la Encefalomiелitis, el Muermo, la Anemia infecciosa, la Influenza, la Piroplasmosis, la Rinoneumonía, la Viruela y la Arteritis Viral.

Intercambios e Importaciones en la UE de Esperma, Óvulos y Embriones. La Directiva 92/65/CEE del Consejo, de 13 de julio de 1992, por la que se establecen las condiciones de policía sanitaria aplicables a los intercambios y las importaciones en la UE de animales, esperma, óvulos y embriones, modificada en sus anexos C y D por la Directiva 95/176/CE, establece los siguientes requisitos:

- A) Para el movimiento intracomunitario de esperma. El semen debe ser recogido y tratado para la inseminación en un centro autorizado, desde un punto de vista sanitario. Los animales de los que se realice la recogida deben cumplir lo siguiente:

1. Que antes de entrar en el centro, hayan residido ininterrumpidamente durante tres meses en un territorio libre de: Peste equina africana, Encefalomiелitis equina venezolana (en 2 años), Muermo (en 6 meses) y Durina (en 6 meses).
 2. Que el día que se produjo la admisión en el centro, esté libre de estomatitis vesicular (en 6 meses), o bien, se sometieron a una prueba de neutralización del virus de la Estomatitis vesicular durante los 14 días anteriores a la entrada en el centro.
 3. En cuanto a la explotación de prodecencia, desde 30 días antes de la fecha de la recogida del esperma, no debió estar sometida a prohibición alguna por razones zoonosanitarias.
 4. Respecto a los sementales donantes:
 - El día de la recogida del esperma no deben mostrar indicios clínicos de enfermedad infecciosa o contagiosa.
 - Durante al menos los 30 días anteriores a la recogida del esperma, no han sido utilizados para la cubrición.
 - Durante los últimos 30 días anteriores a la recogida del esperma, se han mantenido en explotaciones en las que ningún équido presentó indicios clínicos de artritis equina viral.
 - Durante los últimos 60 días anteriores a la recogida del esperma, se mantuvieron en explotaciones en las que ningún équido presentó indicios clínicos de metritis contagiosa equina.
 5. Los animales deben ser sometidos a las siguientes pruebas zoonosanitarias realizadas en un laboratorio reconocido por la autoridad competente:
 - Prueba de inmunodifusión en gel de agar (prueba de Coggins) para la detección de la anemia infecciosa equina.
 - Prueba de seroneutralización para la detección de la artritis equina viral.
 - Prueba de aislamiento del virus de la artritis equina viral realizada, con resultados negativos, en una parte alícuota de la totalidad del esperma.
- Prueba para la detección de la metritis contagiosa equina, realizada en dos ocasiones a intervalos de 7 días, mediante aislamiento de la *Taylorella equigenitalis* en el fluido preeyaculatorio o en una muestra de esperma de hisopos genitales tomados, como mínimo, de la funda del pene, la uretra y el cuerpo cavernoso de la uretra, con resultados negativos en todos los casos.

- B) Para el movimiento intracomunitario de óvulos y embriones. Deben haber sido tomados por un equipo de recogida autorizado, tratados en un laboratorio adaptado y las donantes tienen que cumplir lo siguiente:
1. El día de la recogida, se encuentren en locales situados en el territorio o, en caso de regionalización, en una parte del territorio de un Estado miembro que esté considerado libre de peste equina.
 2. Se encuentren en explotaciones sometidas a supervisión veterinaria (requisitos del artículo 4 de la Directiva 90/426/CEE).
 3. Antes de la recogida han permanecido en explotaciones en las que no se registró ningún signo de metritis contagiosa equina durante 60 días.
 4. No se han utilizado para la reproducción natural durante los 30 días anteriores a la recogida de los óvulos/embriones.
 5. No han estado en contacto, con équidos que padezcan enfermedades infecciosas o contagiosas durante los 15 días anteriores a la recogida de los óvulos/embriones.
 6. No mostraban signos clínicos de enfermedad infecciosa o contagiosa el día de la recogida.
 7. El esperma utilizado para la inseminación artificial y los óvulos de las yeguas donantes cumplen los requisitos de la Directiva 92/65/CEE 13.4.
 8. Los óvulos/embriones han sido recogidos, tratados, almacenados y transportados en condiciones acordes con los requisitos del Anexo D de la Directiva 92/65/CEE.

Porcino

Las enfermedades específicas de la especie, de mayor trascendencia a tener en cuenta en el ganado porcino son: Peste Porcina Africana, Peste Porcina Clásica, Enfermedad Vesicular Porcina y Aujeszky.

El RD 195/02, por el que se establece el plan de seguimiento y vigilancia sanitaria del ganado porcino obliga a que se realicen los siguientes controles serológicos en los diferentes tipos de explotación:

- En centros de inseminación artificial, de selección y multiplicación. Se realizarán controles con carácter cuatrimestral sobre los reproductores para la Peste Porcina Africana, Peste Porcina Clásica, Enfermedad Vesicular Porcina y Aujeszky.
- En los centros de producción, cría y explotaciones extensivas, los controles se realizarán para la Peste Porcina Africana, Peste Porcina Clásica y la Enfermedad Vesicular Porcina.

cular Porcina. La frecuencia será cuatrimestral para la de recría y sobre todos los animales existentes y anual para las de producción de reproductores.

En cuanto a los requisitos aplicables a la admisión de los animales en los centros autorizados de recogida de esperma (Directiva 90/429/CEE) se debe tener en cuenta lo que se expone a continuación. Todos los verracos que se admitan en un centro de recogida de esperma deberán:

1. Haber sido sometidos a un período de aislamiento de treinta días, como mínimo, en instalaciones especialmente autorizadas a tal fin por la autoridad competente del Estado miembro, en las que sólo se hallen verracos que tengan el mismo estatuto sanitario.
2. Haber sido escogidos, entre los rebaños de las explotaciones:
 - oficialmente indemnes de peste porcina clásica;
 - indemnes de brucelosis;
 - en los que durante los doce meses precedentes no haya habido ningún animal vacunado contra la fiebre aftosa;
 - en los que no se haya detectado ninguna manifestación clínica serológica o virológica de la enfermedad de Aujeszky durante los doce meses precedentes;
 - que no sean objeto de prohibición alguna, de conformidad con los requisitos de la Directiva 64/432/CEE por lo que respecta a la peste porcina africana, la enfermedad vesicular del cerdo y así como la enfermedad de Teschen y la fiebre aftosa.
3. Haber sido sometidos, antes del período de aislamiento y durante los treinta días precedentes, a las pruebas siguientes con resultados negativos:
 - a) una prueba de fijación de complemento en lo referente a la brucelosis de forma que:
 - en el caso de los cerdos no vacunados, una seroneutralización o una prueba ELISA que utilice todos los antígenos virales.
 - en el caso de los cerdos vacunados, una vacuna GI atenuada o una prueba ELISA para los antígenos GI.
 - b) una prueba ELISA para la detección de la fiebre aftosa.
 - c) una prueba ELISA o una prueba de seroneutralización para la detección de la peste porcina clásica.
 - d) una prueba microscópica de aglutinación para la detección de la leptospirosis o haber sido objeto de un tratamiento contra la leptospirosis.

4. BASES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN EX SITU DE BANCO DE GENES

Aunque con normas generales comunes, los criterios teóricos a tener en cuenta cuando se diseña un banco de genes dependerán de las características particulares de la especie/raza/población que se quiera conservar, del material elegido para el banco (células espermáticas, ovocitos, embriones, ...), así como del objetivo que perseguimos cuando decidimos establecer uno de ellos. Como se vio en apartados anteriores, no es lo mismo diseñar un banco de genes, que servirá como complemento a la estrategia llevada sobre la población *in vivo* (como herramienta para aumentar el censo efectivo), que si se mantiene el mismo como copia de seguridad que permita reconstituir la población en caso necesario (o reorientarla en su evolución). Las consideraciones serán también diferentes dependiendo de que trabajemos con semen o con embriones. De cualquier manera, y siempre teniendo presente que el objetivo último de un programa de conservación es el mantenimiento de la variabilidad genética, en este apartado presentaremos (recordaremos) los criterios generales que aplican en la elección de reproductores, dejando particularidades de cada caso para apartados posteriores.

4.1. Elección de donantes

El material que se mantiene en un banco de genes debe garantizar la representación de toda la información genética que se encuentra en la población. Esta necesidad es muy patente cuando pensamos en los casos en los que el banco se ha diseñado para una posible reconstitución por pérdida de la población original. Pero la maximización de la diversidad genética es también crucial para cualquiera de los otros objetivos, como el de reorientar la evolución de una población o servir de complemento incrementando el censo efectivo. Dependiendo de qué medida de diversidad genética utilicemos, podemos hacer una serie de consideraciones sobre la elección de los individuos de los que obtener el material a congelar.

Para la incorporación de cualquier animal se deberán observar los criterios establecidos desde el punto de vista sanitario, a fin de que la documentación sea completa con los certificados veterinarios que garantizan la sanidad del individuo incorporado al Banco de Germoplasma.

4.1.1. Mantenimiento de la heterocigosidad

Cuando no se tiene información previa sobre la población (ni histórica, ni genealógica, ni molecular) y, por tanto, el muestreo se hace de forma aleatoria, la proporción de la heterocigosidad presente en la población, que se mantiene en el banco, cuando se utilizan N donantes que contribuyen con la misma cantidad de muestras es $1 - (1/2N)$, como predice la teoría de la deriva genética (ver Capítulo 4). Por ejemplo, con 25 donantes se espera mantener un 98% de la heterocigosidad que hubiera en la población de partida. Pero esta cantidad puede variar mucho dependiendo de la estructura genética de la población.

Si existen datos genealógicos o las relaciones entre individuos pueden ser inferidas a través de la información molecular, se puede realizar un control más preciso de la heterocigosidad mantenida, realizando una recolección diferencial entre los posibles donantes. De manera similar a como se vio en el Capítulo 4 sobre la estrategia óptima de mantener heterocigosidad esperada de una generación a otra, podemos optimizar la diversidad génica mantenida en un banco haciendo que las contribuciones de cada donante sean proporcionales al parentesco entre ellos. De esa manera se debe recoger muchas muestras de un individuo poco emparentado con los demás, porque debe llevar información genética específica, mientras que de un individuo muy emparentado se deberán coger pocas o ninguna muestra, porque su información es redundante con la que aportan el resto de animales. La fórmula general a utilizar es

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_i c_j f_{ij}$$

donde c_i es la contribución proporcional del individuo i al banco, y f_{ij} el parentesco entre los individuos i y j . En el caso de bancos de semen, aunque los únicos donantes sean machos, teóricamente se debería controlar el parentesco de dichos machos con toda la población (tanto machos como hembras). Pero en el caso de que el banco se diseñe pensando en la regeneración completa de la población, el semen será usado para inseminar hembras de otras poblaciones y, por tanto, no emparentadas con los donantes originales, por lo que el único parentesco a controlar en el muestreo es el existente entre los machos donantes. Incluso cuando el banco se pretenda usar continuamente para incrementar el censo efectivo de la población viva, se asume que la gestión sobre esta última está optimizada y que no habrá grandes diferencias entre considerar el parentesco sólo entre machos o también entre machos y hembras.

4.1.2. Mantenimiento de la diversidad alélica

En ausencia de información previa, lo que hace que el muestreo deba ser aleatorio, la probabilidad de capturar un alelo específico (una de las variantes genéticas que puede llevar un individuo) en el material para el banco depende de la frecuencia específica del mismo en la población (p) y del número de donantes, según la fórmula $1 - (1 - p)^{2N}$. Es por ello, que no se puede hacer una predicción general del número de alelos (o riqueza alélica) que se mantendrá en una determinada muestra si no se tiene idea de la distribución de los mismos en la población.

Si se tiene información molecular, se puede diseñar la recolección de muestras por donante para mantener el máximo número de alelos en los marcadores genotipados. Esto se podría hacer usando una estrategia similar a la que desarrollaron Vales-Alonso *et al.* (2003) para el manejo de poblaciones vivas. De cualquier manera, hay que recordar que el sistema de contribuciones de mínimo parentesco también mantiene una alta diversidad alélica, al reducir la pérdida de alelos por deriva. Es por eso que, en el caso de que se disponga de información genealógica o se puedan inferir las relaciones mediante marcadores moleculares, el método de muestreo más práctico sea el basado en la minimización del parentesco.

4.1.3. Genes de interés

En ocasiones la población que se maneja presenta alguna característica controlada genéticamente que es preciso mantener; puede, incluso, que ese sea el motivo por el que dicha población se conserva. En estas situaciones la elección de donantes para el banco de genes se podría realizar en base a los fenotipos de los individuos o su valor mejorante estimado. Hay que tener cuidado en estos casos porque se podría caer en el error de coger pocos donantes para maximizar la expresión de tal carácter, reduciéndose drásticamente la diversidad genética general que se mantendría.

Cuando se conoce el gen (o genes) específico(s) que controla(n) el carácter, se puede pensar en realizar la selección de donantes basándose en que posean un alelo, genotipo o haplotipo característico. La idea general es mantener en el banco una frecuencia determinada de cada uno de las variantes encontradas en la naturaleza para ese locus (o conjunto de loci). Fernández *et al.* (2006) propusieron que la contribución al banco de cada candidato se decidiese mediante la minimización de un índice cuadrático equivalente a la diferencia (elevada al cuadrado) entre las frecuencias deseadas y las que realmente se mantienen en el banco bajo ese esquema. Independientemente del criterio para el locus de interés, el banco debería maximizar la diversidad genética mantenida en loci no ligados al mismo, especialmente en poblaciones amenazadas como las que se tratan en el presente libro. Se hace, pues, necesario incluir en la función objetivo un término relacionado con la diversidad genética. En la formulación de Fernández *et al.* (2006) dicho término es el parentesco entre los donantes disponibles quedando la fórmula como

$$\sum_{i=1}^n \left[\left(\sum_{j=1}^N c_j g_{ij} \right) - q_i \right]^2 + \lambda \left[\left(\sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N c_k c_l f_{kl} \right) \right]$$

donde n es el número total de alelos en el locus objetivo, N es el número de candidatos (posibles donantes), c_j es la contribución proporcional del individuo j al banco (entre 0 y 1), g_{ij} es la proporción de muestras (por ejemplo gametos) producidas por el candidato j que lleven el alelo i (1 para homocigotos, 1/2 para heterocigotos y 0 para los que no lo llevan), q_i es la frecuencia deseada del alelo i en el banco, f_{kl} es el parentesco entre los individuos k y l , y λ es un factor de ponderación que permite penalizar las soluciones que generen valores elevados de parentesco entre las muestras, si existe un gran interés por mantener diversidad global.

El tipo de formulación anterior es especialmente útil cuando se diseña un banco de genes de una población que está sufriendo un intenso proceso de selección. Un ejemplo lo constituye la especialización de una raza de doble propósito (Verrier *et al.*, 2003) o los procesos de erradicación de enfermedades con determinación genética, como es el caso de la Scrapie (Fernández *et al.*, 2006).

4.2. Material a conservar

El tipo de material a incorporar en un banco de genes va a depender en gran medida de las características reproductivas particulares de los animales que queremos conservar y del desarrollo de la tecnología en la especie que se esté trabajando, lo que incluye tanto la facilidad de obtención y congelación de las muestras, como el porcentaje de

muestras viables que se obtienen tras el descongelado. En la tabla 3 (tomada de ERPF, 2003) se muestra una visión general de la disponibilidad de cada una de las técnicas en las principales especies domésticas.

El uso de uno u otro tipo de material en la elaboración del banco también será función del objetivo primario para el que se va a diseñar el mismo. En la tabla 4 (tomada de Gandini y Oldenbroek, 2007) se puede encontrar la idoneidad de alguno de los anteriores materiales para cumplir los diferentes objetivos que se han discutido con anterioridad, aunque se darán más detalles en los apartados correspondientes.

Tabla 3. Estado actual, por especies, de las técnicas de crioconservación

Especie	Células espermáticas	Ovocitos	Embriones	Células somáticas
Vacuno	+	+	+	0
Ovino	+	0	+	0
Caprino	+	0	+	0
Équido	+	0	0	0
Porcino	+	0	0	0
Cunícola	+	¿?	+	0
Aves	+	-	-	0
Peces (algunas especies)	+	*	*	*
Cánidos	+	¿?	¿?	0
Felinos	0	0	0	0

ERPF, 2003

+ Usada de forma habitual. 0 Resultados de investigación positivos. - No disponible en la actualidad. ¿? Desconocido.* Existen hipótesis para la investigación.

Tabla 4. Objetivos de conservación usando diferentes materiales

Objetivo	Semen	Embriones	Células somáticas
Reconstrucción de la población	SI* (<100%)	SI	SI*
Creación de líneas sintéticas	SI	POCO	POCO
Introgresión de genes	SI	POCO	POCO
Complementación de población viva	SI	POCO	POCO
Estudios de búsqueda de QTLs	SI	POCO	POCO

Gandini y Oldenbroek, 2007

*El ADN extracromosómico no se recupera, por lo que los efectos citoplásmicos se perderán.

El grado de desarrollo de las técnicas de congelación de ovocitos es bajo todavía y no se pueden conseguir de forma eficiente individuos a partir de la descongelación de ovocitos y su posterior maduración (IVM) y fertilización (IVF) *in vitro*. De cualquier manera la mayoría de las consideraciones que se hagan para el uso de embriones son de aplicación

igualmente para ovocitos, con la ventaja de que con éstos últimos todavía se puede elegir el apareamiento después de la descongelación y, por tanto, la eficacia para ciertos objetivos sería mayor.

La creación de bancos de células somáticas es atractiva debido a la facilidad de su obtención y al bajo coste que supone su mantenimiento. El problema de dichos bancos es que el reestablecimiento debe hacerse vía clonación, encareciendo y dificultando enormemente el proceso. Hasta que las técnicas de clonación no estén más desarrolladas los bancos de células somáticas sólo deben plantearse cuando no exista otra solución o como herramienta complementaria.

La facilidad de aislamiento y mantenimiento también hizo pensar en la posibilidad de creación de bancos de ADN para una futura transferencia de genes. Pero dicha técnica todavía es poco eficiente además de muy cara. El mantenimiento de ADN puede ser útil para tomar decisiones sobre el programa de conservación, para determinar la estructura genética (dentro y entre poblaciones), para la caracterización de individuos y para la búsqueda de genes específicos que afecten a la expresión diferencial de algún carácter. A continuación se presentarán las ventajas e inconvenientes del uso de semen o embriones dependiendo del objetivo específico del banco de germoplasma.

4.2.1. Reconstitución de la población

La primera opción en este caso debería ser el uso de embriones, seguido del uso de células somáticas (suponiendo que la técnica se desarrollase suficientemente). En ambos casos el proceso de reestablecimiento generaría individuos en los que todo el material genético proviene de la población original.

Sin embargo, el reestablecimiento a partir de semen de una población extinta pasa por la fecundación de hembras de origen diferente. Para eliminar la información genética de dichas hembras se precisa realizar un determinado número de retrocruces con las dosis espermáticas procedentes del banco. De forma general, la proporción esperada de genes provenientes del banco después de n generaciones de retrocruce es de $1 - 0.5^n$ (por ejemplo, cinco generaciones de actualización corresponden a la recuperación del $97\% \pm 1\%$; Hill, 1993). Es por ello que el reestablecimiento de poblaciones vía semen no sea lo más recomendable, especialmente en los casos en los que el número de machos sea reducido en la población original. Además hay que recordar que los efectos citoplásmicos estarían alterados al no transmitirse más que el ADN nuclear de los individuos donantes.

En el caso de poblaciones con un número reducido de hembras de las que obtener embriones o en especies para las que el restablecimiento requiera un número muy alto de dosis de semen, se puede considerar establecer un banco mixto de embriones y semen. Esta opción además puede reducir el coste total del banco, dependiendo de la adecuada proporción que se mantenga de cada uno de los materiales.

4.2.2. Desarrollo de nuevas líneas, introgresión y reorientación de la evolución de una población

Para cumplir estos objetivos el material idóneo es el material seminal. El uso de embriones o células somáticas es menos eficiente en este caso porque, al regenerar individuos que llevan toda la información de la población original, la “mezcla” de informaciones necesitará de más generaciones, ralentizando y encareciendo el proceso.

4.2.3. Complementación de programas *in vivo*

Cuando las poblaciones sufren un problema genético puntual, por ejemplo un cuello de botella accidental, el material crioconservado puede ser utilizado, también de forma puntual, para hacer que la población recupere los niveles de variabilidad habituales y se eliminen los alelos deletéreos que pudieran haber subido de frecuencia como consecuencia del bajo censo. En estos casos el material elegido debe ser el semen.

Si se plantea un programa de conservación en el que la población *in vivo* sea permanentemente complementada con material procedente de un banco (para aumentar el censo efectivo de la población) se puede utilizar semen o embriones, dependiendo de la disponibilidad de ambos.

4.3. Uso de marcadores moleculares en el diseño y uso de bancos de genes

Los marcadores moleculares pueden ser una herramienta muy útil para la creación y gestión de bancos de genes. A continuación detallaremos los puntos del proceso en los que dichos marcadores pueden ayudar.

4.3.1. Elección de donantes

La información molecular puede permitirnos conocer la estructura genética de la población o poblaciones a conservar, facilitando criterios en la elección de las muestras a preservar. Así, podremos determinar, por ejemplo, la proporción de material a congelar de cada una de varias razas (o ganaderías) disponibles en función del parecido para los marcadores moleculares.

De forma similar, cuando se deciden las contribuciones de cada uno de los individuos dentro de poblaciones en ausencia de genealogía, se puede inferir el parentesco entre candidatos (es decir, la proporción de información genética compartida) a partir de la información molecular, como se explicó en el Cap. 4.

Cuando la elección de los donantes al banco se realiza en base a la expresión de algún carácter concreto y no se conoce los genes implicados en la determinación, los marcadores moleculares pueden ser una alternativa más eficiente que el fenotipo para localizar los individuos que portan los alelos específicos. En estos casos se buscarían mar-

cadores ligados a los genes y se seleccionaría en base al efecto aparente que tienen los primeros sobre el carácter.

4.3.2. Reintroducción del material

Como ya se comentó anteriormente, cuando se usa semen congelado para reestablecer una población extinta se deben inseminar hembras de otra población en primera instancia y posteriormente realizar una serie de rondas de retrocruces con el semen del banco para ir eliminando la información genética foránea. La proporción esperada de material de la población original después de n generaciones puede incrementarse si se dispone de marcadores moleculares para los que existan alelos diferentes en la población original y en la de las hembras receptoras.

El mismo beneficio se puede obtener del uso de marcadores cuando se realiza una introgresión o creación de líneas sintéticas a partir de semen congelado. En el caso de complementación de poblaciones *in vivo*, los marcadores pueden sustituir o reforzar la información genealógica, de manera que se pueda determinar el uso diferencial de las muestras del banco procedentes de diferentes donantes y optimizar los apareamientos en caso de trabajar con gametos.

4.4. Implementación de biotecnologías para la creación de bancos de genes

4.4.1. Técnicas para la obtención/reintroducción de muestras

La inseminación artificial (AI), además de promover el desarrollo y perfeccionamiento de las técnicas de recogida y preparación del semen, es necesaria, obviamente, para poder regenerar el material congelado cuando trabajamos con bancos de semen. Pero también es útil a nivel de recolección de muestras para congelar, porque en ocasiones es necesario un paso previo en el que se generen donantes específicos (por ejemplo con un genotipo especial), labor que se facilita enormemente con el uso de la inseminación artificial.

La inducción a la ovulación múltiple y posterior transferencia de embriones (MOET), es una técnica de gran utilidad cuando lo que pretendemos es crear un banco de embriones. Así ocurre cuando es necesario obtener varios embriones de una misma hembra en especies con largo periodo de gestación y que sólo generan un ovocito en cada ciclo reproductivo. También puede resultar adecuada su utilización en la reintroducción del material almacenado en un banco de semen (con una planificación adecuada), si el número de hembras disponibles para la multiplicación es reducido.

La posibilidad de que los bancos de ovocitos lleguen a ser una alternativa real depende en gran medida del desarrollo de técnicas de obtención, de la eficacia que se consiga en la maduración *in vitro* de los mismos (IVM) para dar óvulos fertilizables, y del grado de éxito en la fecundación *in vitro* (IVF) de la especie con la que trabajemos. Las técnicas de

extracción de óvulos se denominan de forma genérica OPU (siglas de Ovum Pick-Up) y comprenden la aspiración folicular repetida, bien sea guiada por ecografía (vacas, búfalos, caballos) o mediante endoscopia (vacas, ovejas, cabras, cerdos).

A pesar de la sencillez en su establecimiento y conservación, los bancos de células somáticas no se han desarrollado de la manera en que se esperaba porque el reestablecimiento del material congelado pasa necesariamente por la clonación. Aunque dicho proceso se ha demostrado factible en diferentes especies domésticas (por ejemplo en ovejas), todavía no está totalmente controlado, además de que el coste económico de un programa de reintroducción basado en la clonación sería exorbitante.

4.4.2. Fuentes futuras de material

Células embrionarias indiferenciadas: Conocidas tradicionalmente como células madre o ESC (Embrionary Stem Cells), son células indiferenciadas con la ventaja de que pueden ser cultivadas *in vitro* y multiplicadas indefinidamente. Actualmente se usan para conseguir animales transgénicos mediante la inclusión de su núcleo en un embrión muy temprano, lo que influye en la diferenciación y desarrollo de diferentes linajes celulares incluida la línea germinal. Sin embargo, todavía no se han conseguido aislar tales células en animales domésticos. Si se desarrollase adecuadamente esta técnica se podría plantear la congelación de ESC's y su uso para la regeneración mediante el clonaje de sus núcleos.

Espermatogonias: Estas células residen en la capa basal de los tubos seminíferos y son las que darán lugar a los espermatozoides. Presentan una multiplicación activa desde antes de la pubertad y durante toda la vida adulta del animal. Se ha demostrado en ratones que estas células pueden ser transplantadas a testículos de otros animales y dar lugar a espermatozoides viables. El desarrollo de esta tecnología permitiría usar como donantes a machos con algún problema anatómico o de comportamiento que le hiciese no válido para donar semen. También se podría considerar la congelación de este material y su reestablecimiento en la población viva vía machos.

4.5. Aspectos reproductivos

Cada una de las especies consideradas para formar parte de un banco de germoplasma animal deberá ser incluida sobre la base de la fisiología de la especie en cuestión, y considerando las particularidades fisiológicas que cada una de ellas pueda presentar.

Se tiene información, en sentido amplio, sobre la producción espermática, frecuencia de recogidas de semen y viabilidad de las dosis espermáticas a su descongelación. Igualmente importante es el número de dosis aplicables por ciclo estral de la hembra. Estos serán aspectos decisivos para establecer el número de dosis congeladas de espermatozoides.

La media de fertilidad en un rebaño, especie, raza, determinada, así como el número de embriones a desarrollar durante la gestación, determinará las previsiones de dosis conservadas en un banco criogénico.

Es preciso considerar igualmente los datos referentes a fertilidad tras la aplicación de muestras descongeladas, obtenidos en otras latitudes, por una metodología criobiológica determinada. No siempre se obtienen los resultados de fertilidad mencionados en una prueba de campo, la repetición de la misma en países con otras latitudes, puede proporcionar unos resultados totalmente dispares, hasta que sean incluidos en los protocolos las condiciones, meteorología y manejo de los animales objeto de conservación. Los ritmos circadianos, con la intensidad de esas horas de luz, tendrán una repercusión determinada sobre el ciclo de la hembra, y la respuesta hipotálamo, hipófisis, gónadas. Esto es extremadamente cierto en el caso de técnicas aplicadas sobre pequeños rumiantes.

4.6. Aspectos económicos y legales

No existe todavía un estudio económico adecuado para valorar el coste de la conservación “*ex situ*” de germoplasma animal. Existe, evidentemente, la cuantificación del gasto de los productos y el tiempo empleado en la preparación de dosis seminales o de congelación de ovocitos y embriones. Pero no podemos actualmente valorar el coste de recuperación de una raza determinada, especialmente en función de la causa por la cual se desea la recuperación. El desarrollo de los distintos procedimientos tecnológicos y su diversidad aplicativa, tienen un alto coste económico, que debe ser estudiado y conocido, pero no ser considerado un factor limitante en la conservación. Dada la variabilidad existente en recursos genéticos animales, generados a través de selección y adaptación a condiciones diferentes y cambiantes deberemos reconocer la enorme importancia para las generaciones presentes y futuras y la imperiosa necesidad de protegerlos. El reto se establece en encontrar medios para incluir estos costes de conservación entre los presupuestos de las diferentes Comunidades Autónomas interesadas y los de la Administración General del Estado, considerando que estos recursos forman parte del Patrimonio Genético del Estado Español.

España, como país firmante del Tratado Internacional sobre los Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, promovido por la FAO, ha aceptado tanto la conservación como la utilización sostenible de los recursos genéticos, son condiciones esenciales para la seguridad alimentaria y la eliminación de la pobreza, especialmente en las zonas rurales. Nuestro país, con esta adhesión al tratado deberá trabajar para el desarrollo de políticas nacionales e internacionales eficaces en materia de recursos genéticos. Fundamentalmente el Tratado ha sido elaborado sobre la experiencia de los recursos fitogenéticos; pero aún considerando las diferencias, especialmente económicas con los recursos zoogenéticos, estos deberán ser implementados en la misma proporción que los fitogenéticos.

El Parlamento Europeo, en referencia a la protección de los resultados de la investigación, plantea dos tipos de protecciones sobre los resultados de actividad creadora, la propiedad industrial y la propiedad intelectual. En el desarrollo del periodo de duración del actual 7º Programa Marco de la Unión Europea, uno de los aspectos a trabajar y concluir deberán ser los relacionados con el “material biológico”, entendiéndose como tal la materia que contenga información genética autorreproducible o reproducible en un sistema biológico. No serán patentables las variedades vegetales ni las razas animales, ni los pro-

cedimientos esencialmente biológicos de obtención de vegetales o animales. Podría ser patentable un gen específico o una característica peculiar. Se mantiene por tanto el Privilegio del Ganadero, y se precisa elaborar las condiciones en las que cualquier obtención o consecuencia futura de la conservación actual de ese germoplasma, puede repercutir en la economía del ganadero o asociación que haya protegido y mantenido una población racial determinada.

La Tercera Conferencia de los Estados signatarios del Convenio sobre la diversidad biológica (1996) indicaba la necesidad, no cubierta en 2006, de continuar los trabajos para desarrollar una apreciación común sobre las cuestiones relacionadas con la transferencia de tecnologías y la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica y la participación en los beneficios producidos por la utilización de los recursos genéticos en general, pero más desconocidos en lo referente a zoogenéticos. Se hace pues imprescindible el establecer de forma paralela a lo realizado en Recursos Fitogenéticos, un diálogo continuado para destacar las peculiaridades del reino animal, cuando se hace en referencia a la conservación de los recursos y su propiedad intelectual.

No podemos terminar este párrafo sin hacer referencia al Real Decreto 1682/1997 del 7 de noviembre por el que se actualizó el Catálogo de Razas de Ganado de España, completado por la Orden Ministerial del 12 de enero de 1998, por el que se constituye el Comité de Razas de Ganado de España, estableciéndose de esta forma la normativa para incorporar las poblaciones que sobre la base de la diversidad geográfica española, el mantenimiento de razas en su medio edáfico ecológico, la interacción entre el genotipo y ambiente, este todo ello encaminado al logro de producciones económicas, defensa y conservación del patrimonio genético animal de nuestro país.

4.7. Aspectos sanitarios

La sanidad animal se considera un factor clave para el desarrollo de la ganadería, y es de vital importancia tanto para la economía nacional como para la salud pública, así como para el mantenimiento y conservación de la diversidad de especies y razas animales. La actual Ley de Sanidad Animal 8/2003 nos indica no solo las pérdidas directas que la enfermedad produce en las explotaciones afectadas, sino también por las pérdidas indirectas en los animales afectados y en la utilización de sus recursos. La situación de contagio entre las mismas especies de animales domésticos y silvestres por una misma enfermedad, así como la posible creación de reservorios en el medio natural, hacen que sean extremadamente importantes las medidas sanitarias y el cumplimiento de normativa referente a riesgo de difusión de las enfermedades infecciosas de los animales y otras patologías.

En las definiciones establecidas se indica que los productos de origen animal incluyen los ovocitos, semen o embriones. Los programas de Criopreservación de germoplasma deberán incluir los requerimientos nacionales e internacionales que permitan, en el caso de Bancos de Germoplasma, el comercio posterior de las dosis conservadas.

En general, todo el material obtenido, la recogida, y el tratamiento deberán estar de acuerdo con las normativas veterinarias, especialmente con las recomendaciones de la Ofi-

cina Internacional de Epizootias, y las de indicadas por la Sociedad Internacional de Transferencia de Embriones. Podríamos recomendar establecer, lo que en términos fitogenéticos se entiende como “pasaporte”, hacia lo que en veterinaria se aprecia como reconocimiento sanitario de los animales objeto de conservación. Las normas pueden cambiar en situaciones de emergencias sanitarias.

En algunas razas, con tamaño reducido de la población, puede ser muy difícil el cumplimiento de estas normativas. Por lo que se deberá incorporar las recomendaciones adecuadas para un tratamiento posterior, y un aislamiento del recipiente criogénico en el que se mantienen estas obtenciones. Indicando la contaminación encontrada y los riesgos sanitarios de una manipulación inadecuada. También será de interés recordar que el nitrógeno líquido no se considera un desinfectante y por lo tanto se puede conservar la supervivencia y virulencia de las contaminaciones ambientales.

5. DISEÑO DE BANCOS DE GENES

Como en muchos otros aspectos ligados al manejo y mantenimiento de animales, la creación de un banco de genes óptimo va a ser un compromiso entre lo que queremos conseguir (objetivo para el que se diseña), el material de trabajo (características de la especie en cuestión, tamaño y estructura genética de la raza/población) y el coste económico que conlleve todo el proceso.

5.1. Elección de razas, y poblaciones

La limitada disponibilidad de recursos, económicos y materiales, dentro de un programa de conservación, hace necesaria una muy cuidada elección de los grupos de una misma especie que se van a incluir en un banco de genes, y la proporción de muestras de cada una de las elegidas que se va a mantener.

Cuando se trabaja con animales domésticos, la unidad principal de manejo va a ser la raza. Es por ello que el objetivo principal sea determinar la contribución proporcional de cada una de las razas de manera que la diversidad genética mantenida en el banco sea máxima. La estrategia que la FAO propugna es recoger aquellas razas que se piense que son las más distintas genéticamente dentro del rango geográfico que se considere (FAO, 1998a). Implícitamente esto conlleva medir lo diferentes que son dos razas, lo que se puede hacer mediante alguna de las distancias genéticas definidas en otros capítulos de esta serie.

Originalmente propuesto por Weitzman (1992) y adaptado posteriormente a los recursos genéticos animales (Thaon d'Arnoldi *et al.*, 1998), el método de la “diversidad marginal” utiliza las medidas de distancia genética entre parejas de razas para calcular cuál es la contribución de cada una de ellas a la diversidad global y la magnitud de la pérdida si no se tomasen muestras de esa raza. El método también permite incluir la probabilidad de extinción de cada raza con lo que se pueden hacer predicciones de la

diversidad mantenida a un plazo determinado. En el caso de un banco de genes la probabilidad de extinción es prácticamente nula, por lo que almacenar material de una raza con alto peligro de extinción sería una estrategia recomendable.

Diferentes autores (Eding y Meuwissen, 2001; Caballero y Toro, 2002) han criticado el método de Weitzman porque no tiene en cuenta la diversidad genética que hay dentro de cada raza cuando se calcula la diversidad global mantenida al ir eliminando cada una de ellas. Se ha propuesto que en lugar de distancias entre razas el criterio debería ser el parentesco entre individuos (al igual que en una población simple), que permite partir la diversidad en una componente dentro de razas y entre razas. Dependiendo de los objetivos del banco se han propuesto diferentes ponderaciones para estos dos términos de la diversidad con diferentes consecuencias, como revisaron Toro *et al.* (2006).

Más allá de consideraciones sobre la diversidad genética, se puede intentar priorizar las razas por el interés *per se* que supone su mantenimiento. Ruane (1999) propuso una serie de criterios que pueden determinar que razas deben entrar en la constitución del banco: (i) riesgo de extinción; (ii) adaptación a ecosistemas específicos; (iii) expresión de un carácter único o de interés económico; (iv) valor histórico o cultural; (v) constitución genética única.

5.2. Elección de donantes

Además de estar influida por el objetivo último previsto para el banco de genes, la decisión sobre los individuos dentro de una raza o población de los que obtener material a críoconservar va a estar fundamentalmente determinada por la cantidad y tipo de información que dispongamos de la misma. Obviamente los individuos candidatos deben cumplir los requerimientos sanitarios y reproductivos especificados en apartados anteriores.

Si carecemos de información genealógica o molecular sobre los individuos que componen la población, el proceso de muestreo debe ser más o menos aleatorio. La idea subyacente es conseguir la máxima representatividad de la muestra. Para ello se deben incluir individuos de áreas o rebaños variados (idealmente todos) y localizar representantes de todas las líneas existentes. Es importante tener en cuenta en este proceso la información demográfica que poseamos y los registros históricos sobre la raza y su manejo que pueden aportarnos datos sobre posibles flujos genéticos entre rebaños.

En la medida de lo posible (según el grado de conocimiento de la población) se evitará tomar muestras de individuos emparentados en alto grado. En caso de duda, se preferirán individuos más antiguos, porque pueden reflejar la variabilidad genética ancestral, e incluso podrían ser los ascendientes directos del otro candidato. Además, puede que, si no se toma material genético suyo en este momento, su información se pierda porque el animal muera.

Usando la genealogía conocida (o inferida a partir de marcadores moleculares) se puede realizar un control más fino de la cantidad de variabilidad genética que se mantiene

en el banco. Como ya se explicó en un apartado anterior, la estrategia óptima es decidir la contribución de cada donante basándose en las relaciones de parentesco entre ellos, de manera que se produzca el mínimo solapamiento en información genética transmitida.

Cuando la población presente un determinado carácter a mantener obviamente este debe ser el criterio director. La elección de donantes para el banco será similar al proceso de selección artificial en la gestión de una población viva. Si no se saben los genes que controlan el carácter o no se dispone del genotipo para los mismos, la elección se debe realizar en función del fenotipo o una estima del valor mejorante. Cuando sea posible determinar el alelo o genotipo deseado para un locus (o haplotipo para un conjunto de loci), la elección se hará en base al genotipado de los candidatos.

En ocasiones puede que sea necesario generar de forma previa los individuos óptimos para ser donantes al banco. Para ello habrá que recurrir a técnicas reproductivas (inseminación artificial y transferencia de embriones) para obtener dichos individuos de la manera más rápida y segura posible.

En ambos casos, como ya se apuntó con anterioridad, se debe tener cuidado de no reducir demasiado el número de donantes, porque eso induciría una pérdida de variabilidad genética inaceptable en un programa de conservación. Al igual que en los programas de selección, se debe garantizar un censo efectivo mínimo (un límite a la tasa de consanguinidad en la selección) a riesgo de recoger material de individuos que no presenten el fenotipo/genotipo deseado (obtener respuestas subóptimas cuando se trata de selección). La formulación a utilizar debe ser la misma que se ha desarrollado para selección (Meuwissen, 1997; Gowe *et al.*, 1998; Fernández y Toro, 1999) o la que se explicó en el apartado 4.1.3 de este mismo capítulo (Fernández *et al.*, 2006).

5.3. Cantidad de material a congelar

El número de dosis de semen o de embriones susceptibles de incorporación en un banco de genes es función directa del uso que se pretenda dar y de las características reproductivas de la especie que se trate. Aunque *a priori* parezca lo mejor coger cuantas más muestras mejor, no siempre se mantiene más diversidad genética por coger más cantidad de material, por lo que un diseño cuidadoso de la recolección es vital. En este apartado daremos indicaciones de cual puede ser el número mínimo/suficiente para garantizar la funcionalidad del banco.

Para evitar riesgos derivados de accidentes (desastres naturales, fuegos, problemas en la planta de almacenamiento, etc) se debe recolectar el doble de muestras que se haya calculado. De esta manera se podrán establecer dos réplicas del banco en sitios diferentes.

Para los siguientes apartados las normas se presentarán asumiendo que al menos se dispone de un número mínimo de 25 donantes de los que extraer muestras. Esta cifra se ha propuesto basándose en que si individuos tomados al azar contribuyen con la misma proporción al banco, se mantendrá un 95% de la heterocigosidad inicial de la población (ver apartado 4.1.1). Obviamente hay que recoger material del mayor número posible de

individuos que permita la capacidad del banco. Si el número de candidatos es menor que 25 el diseño debe ser, si cabe, más cuidadoso para no provocar una mayor reducción en el censo efectivo, de por sí muy mermado.

5.3.1. Reconstitución de la población

El factor determinante en esta situación es el tamaño que deseamos que tenga la población cuando se reestablezca. Aunque el criterio mínimo de la FAO es regenerar 12 machos y 12 hembras a partir del material almacenado de los 25 donantes, consideraremos las cifras que hay que manejar para reconstituir la población, debe ser de 25 machos y 25 hembras, que equivaldrían a un censo efectivo de 50 (tasa de consanguinidad del 1%), incluso bajo un esquema aleatorio de contribuciones y apareamiento.

Cuando se trabaja con semen, el número de dosis es fuertemente dependiente de las características reproductivas de la especie. Como el reestablecimiento se debe realizar inseminando hembras, el número de pajuelas (D) es proporcional al número promedio de las mismas que es necesario para que se produzca la concepción y el parto (np), al número medio de hembras que puede producir una hembra en su periodo fértil (f) y al número de rondas de retrocruzamiento para conseguir el porcentaje del genoma original deseado (n) según la fórmula

$$D = d \cdot NF \cdot \left[\left(\frac{1}{f} \right)^1 + \left(\frac{1}{f} \right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{f} \right)^n \right] \cdot np$$

siendo NF el número de hembras (y de machos) que queremos recuperar al final del proceso. Si el tamaño familiar a lo largo de todo el periodo fértil de cada hembra usada para el reestablecimiento es menor que dos (un macho y una hembra), el número de hembras a inseminar aumenta exponencialmente con el número de individuos a reconstituir, e igualmente el número de dosis de semen necesario. Si trabajamos con especies de las que se pueden obtener pocas dosis de cada donante (por ejemplo, caballos), puede que no se disponga de machos suficientes en razas amenazadas, por lo que se deberá optar por otra estrategia.

El número de embriones a crioconservar, si asumimos el mismo objetivo de reconstituir 25 machos y 25 hembras, será en este caso dependiente del porcentaje de embriones viables después de la descongelación y de los diferentes porcentajes de supervivencia en los diferentes estadios de implantación, gestación, parto y desarrollo juvenil. Cuando la recolección de embriones se hace sin sexar, hay que considerar cierto grado de variabilidad en torno al esperado 50% de cada sexo, por lo que habrá que conservar un número mayor de embriones. Olliver y Renard (1995) sugieren que un número aceptable sería el de 300 embriones.

En estrategias mixtas de mantenimiento en el banco de semen y embriones el número de dosis de cada tipo dependerá de la proporción que deseamos almacenar de cada tipo, en función de la disponibilidad y coste de obtenerlos.

5.3.2. Desarrollo de nuevas líneas, introgresión y reorientación de la evolución de una población

El número de dosis de semen que se ha de conservar en el banco se puede calcular de forma similar a como se hace en el caso del reestablecimiento. El único factor diferente va a ser que el número de rondas de actualización (retrocruces con el semen congelado) será diferente dependiendo del porcentaje de genoma de la población que dio origen al banco que queremos introducir en la línea sintética. Por ejemplo, si queremos que la nueva línea se genere a partir de un pool de genes que lleve un 75% de la información genética de la población original, se necesitan dos generaciones de retrocruce.

En el cálculo final hay que tener en cuenta que en la mayoría de los casos la creación de una nueva línea o la reorientación de una existente requieren de unas generaciones de selección, por lo que se debe calcular la toma de dosis suficientes para obtener más de los 25 machos y hembras finales. Además, es de esperar que una misma población original pueda formar parte en la creación de diferentes líneas, por lo que habrá que aumentar consecuentemente el número de muestras.

Cuando lo que se pretende es introgresar un alelo específico a partir del semen criopreservado, el número de dosis será también función del genotipo de los donantes, pues todas las dosis obtenidas de un homocigoto para el alelo lo transmitirán, mientras que sólo el 50 % del material obtenido de un heterocigoto llevará el alelo. Por tanto, la cantidad promedio de hembras a fecundar y de dosis a utilizar será mayor. Un ejemplo detallado de la influencia del genotipo en la velocidad de reintroducción de información genética bajo diferentes escenarios en ovejas se puede encontrar en Roughsedge *et al.* (2005).

5.3.3. Complementación de programas *in vivo*

Como ya explicamos en apartados anteriores, el material mantenido en un banco de genes (preferiblemente semen) puede utilizarse de forma puntual para recuperar los niveles de variabilidad genética original en una población que ha sufrido un cuello de botella accidental. Es muy difícil dar unas cifras generales de la cantidad de dosis que se deben mantener bajo este escenario, pues habría que hacer numerosas asunciones o estudiar una casuística muy elevada. FAO (1998a) sugiere que el número de dosis que se debe conservar es el necesario para inseminar 100 hembras en dos generaciones consecutivas.

Cuando la complementación con material del banco es permanente, buscando alargar el intervalo generacional y, en definitiva, aumentar el censo efectivo, las consideraciones sobre el número de dosis a conservar será una función de las características de la población específica y del esquema de manejo adoptado. Los métodos propuestos de utilización y recolección de semen y embriones en estos casos serán tratados de forma más detallada en el apartado 6.2.

5.3.4. Actualización del banco

Cualquiera que sea el objetivo perseguido por el banco de genes se debe tener en cuenta que la población viva irá evolucionando, apareciendo nuevas adaptaciones genéticas que es importante capturar. Es, por tanto, necesario realizar nuevas recolecciones de material incluso aunque el banco no haya sido todavía utilizado.

En el caso de bancos de semen sería recomendable realizar muestreos en todas las generaciones, siguiendo las pautas en lo que respecta a la elección de donantes ya explicadas para la recolección en la fundación del banco.

En el caso de bancos de embriones, debido a la mayor complejidad del proceso, el remuestreo se debería realizar cada 5 – 20 generaciones. La cifra mayor estaría recomendada para capturar las nuevas adaptaciones surgidas exclusivamente por selección natural. En poblaciones sometidas a una fuerte presión selectiva, se debe reducir el intervalo entre tomas de material para que no se pierda mucho del progreso genético conseguido en la población viva en caso de catástrofe.

La mayor parte del coste asociado con la creación de un banco de genes se corresponde a la obtención de las muestras y el proceso de su congelación. El coste de mantenimiento y el espacio necesario para el mismo es mínimo. Es por ello recomendable que no se descarte el material antiguo almacenado en el banco, cuando se incorpora el nuevo.

6. SISTEMA DE GESTIÓN DE BANCOS DE GERMOPLASMA

6.1. Mantenimiento de Bancos: Necesidades logísticas

El establecimiento de una Banco de Germoplasma Animal, no solamente requiere el aporte periódico de nitrógeno líquido. Es preciso un control de los niveles de pérdida del líquido criogénico así como una limpieza adecuada del exterior e interior del recipiente. La contaminación del líquido reduce la temperatura de -196°C en proporción directa, de forma que un inadecuado mantenimiento de las condiciones teóricas, podría proporcionar una pérdida de más de veinte grados sobre la temperatura prevista.

Es muy recomendable la incorporación de sistemas de alarmas sobre los niveles de superficie del nitrógeno líquido. Un recipiente cualquiera, utilizado adecuadamente, puede presentar problemas de conservación debido a los dos puntos más débiles que presentan estos contenedores, a saber, el cuello y el punto donde se cierra la válvula mediante la cual se ha realizado el vacío entre el recipiente interno y el externo. Entre ambas estructuras se incorpora un material aislante.

La velocidad de evaporación en un recipiente deteriorado, es muy rápida, y en veinticuatro horas puede agotar el líquido y descongelar las muestras almacenadas. Es por ello la recomendación de establecer duplicados de las dosis en ubicaciones diversas.

También adquiere una gran importancia la capacidad de un banco para establecer la ubicación exacta de una dosis inmersa en el nitrógeno líquido. La representación gráfica del interior de un recipiente, la utilización de colores con código determinado reportará una serie de beneficios, no solo para la correcta conservación de las dosis, sino también para el recuento adecuado y la manipulación correcta de estos envases en los que se contienen los gametos y embriones. Las muestras nunca deben abandonar el baño de nitrógeno líquido o perderá capacidad fecundante.

Una buena base de datos, en la que sea fácil la incorporación de nuevos datos referentes a las últimas incorporaciones, deberá ser iniciada en el mismo momento en que se inicien los procesos de Criopreservación; adjuntando a cada individuo el pasaporte sanitario vigente en la comunidad autónoma y en Europa.

6.2. Acciones para el apoyo a los programas de conservación in vivo

El esquema más exigente, desde el punto de vista de gestión de un banco de genes, es el correspondiente al caso de complementación permanente del programa *in vivo*, ya que precisa de la determinación del criterio de uso de las muestras y del criterio de reemplazo en el banco de las ya usadas. En los siguientes apartados presentaremos algunos esquemas de gestión propuestos para bancos de embriones y semen.

6.2.1. Embriones

Aunque los tiempos variarán dependiendo del intervalo generacional, de la edad a la que los individuos pueden empezar a ser donantes al banco (madurez sexual) y del tiempo de gestación de la especie concreta sobre la que trabajemos, el protocolo a seguir se explicará sobre un ejemplo tomado de Meuwissen (2007). En el mismo, se trabaja con una especie en la que la producción de embriones se da cuando los individuos tienen 1 o 2 años de edad (para machos y hembras, respectivamente) y los embriones se mantienen en el banco durante 23 años. Este esquema supone un intervalo generacional muy largo, de 25'5 años de media. El procedimiento a seguir comprende dos pasos:

- Descongelar embriones de 23 años e implantarlos en una hembra receptora. Como en un primer momento no dispondremos de embriones de esa edad, tendremos que almacenar embriones en exceso de la población base, e irlos utilizando hasta que haya embriones de 23 años disponibles.
- Obtener embriones para congelar apareando machos de un año de edad con hembras de dos años. Es importante que los individuos que generan las nuevas muestras sean de edades diferentes para que se produzca solapamiento de generaciones. Diferente grado de solapamiento se puede conseguir cambiando las proporciones de machos y hembras de las dos edades consideradas.

6.2.2. Semen

Una forma hipotética de plantear un esquema de uso de semen congelado, más cómoda de implementar, sería almacenar gran cantidad de semen de los machos fundadores (generación 0) y usar estas dosis generación tras generación. Siguiendo esta estrategia los genes de los machos fundadores reemplazarían todos los de la población, con la consanguinidad acercándose asintóticamente a $1/2N$, lo que supone que la tasa de consanguinidad va hacia cero (la deriva se detiene). Sonesson *et al.* (2002) propusieron una mejora que supone almacenar también semen de los machos de la generación 1. A partir de entonces, se usa el semen de la generación 0 para las hembras de generaciones impares y el semen de la generación 1, para las pares. De esta manera, la consanguinidad asintótica será de $1/3N$ y se mantendrán también la mitad de los genes de las hembras fundadoras. Una mayor sofisticación supone el esquema de cruce rotacional de machos propuesto por Shepherd y Woolliams (2004), que consigue rebajar la consanguinidad hasta $1/2N$. Hay que hacer notar que estos esquemas detienen completamente la evolución de la población, por lo que su uso estará limitado a casos muy específicos.

Si pretendemos que el programa complementado con semen permita la evolución de la población, tendremos que implementar esquemas similares al que se explicó para embriones. Usando las mismas características que en el ejemplo anterior, dicho esquema implicaría dos pasos:

1. Hembras de un año (50%) y de dos años de edad (50%) se inseminan con semen de 23 años de edad. El uso de hembras de diferentes edades se realiza para asegurar el solapamiento de generaciones. En este ejemplo el intervalo generacional promedio es de 13'25 años, puesto que todos los machos son de 23 años.
2. Se obtiene semen de machos de un año de edad para congelarlo.

El censo efectivo aproximado de la población, si se mantiene con un sistema de contribuciones y apareamiento aleatorio, vendrá determinado por la fórmula

$$N_e = \frac{4 \cdot L_m N_m \cdot L_h N_h}{L_m N_m + L_h N_h}$$

en la que L_m (L_h) es el intervalo generacional de machos y hembras, respectivamente y N_m (N_h) es el número de machos y hembras que se crean en cada generación. Por ejemplo, si se crean y usan seis machos y seis hembras por generación, el censo efectivo es aproximadamente 54.

El número de años que el semen es almacenado en el banco antes de ser usado debe estudiarse cuidadosamente antes de empezar el programa, porque a partir de un determinado punto la ganancia en censo efectivo es prácticamente nula, mientras que alargar el intervalo generacional de los machos reduce el potencial de adaptación de la población.

En el periodo de tiempo que pasa hasta que el semen alcanza la edad determinada (23 años en el ejemplo que estamos considerando), si sólo utilizamos el semen de los fundadores (en vez de todo el que se está acumulando) tenemos el peligro de representar en exceso la contribución genética de los machos fundadores frente a la de hembras, pu-

diendo incluso reducir a la mitad el censo efectivo. Para remediar este problema se pueden llevar a cabo las siguientes acciones:

1. Usar un número de machos fundadores el doble de lo que se tenía originalmente proyectado.
2. Crear un banco de embriones complementario que se usará (como se explicó en el apartado anterior) hasta que el semen alcance la edad requerida.
3. Implementar un esquema de contribuciones de mínimo parentesco usando las dosis de semen acumuladas como candidatos a la selección con el mismo estatus que los individuos vivos. De nuevo se volverá al esquema original cuando la población tenga la edad adecuada. Proseguir con el esquema de mínimo parentesco después de este punto no tiene mucho sentido porque reduciría la capacidad de evolución de la población a medida que las dosis acumuladas provienen de antepasados más y más antiguos.

7. ESTADO DE CONSERVACIÓN EX SITU DE RECURSOS GENÉTICOS ANIMALES EN ANDALUCÍA

No se pueden establecer unos objetivos de futuro sobre los recursos genéticos sin analizar previamente los antecedentes, la situación actual y la evolución que están experimentando a lo largo de los años. En esta línea y según las directrices de la FAO, se ha constituido en España un Comité Consultivo Nacional para facilitar la elaboración de un informe nacional sobre la situación de nuestros recursos, que contribuirá a la formación del Informe Mundial (MAPA, 2005) y que contendrá:

- a) Evaluación de la situación de la biodiversidad: Panorama general de los sistemas de producción animal, evaluación del estado de conservación de los recursos, sus características y su necesidad y grado de utilización.
- b) Análisis de los cambios y tendencias de la producción pecuaria y sus repercusiones para las políticas, estrategias y programas sobre recursos.
- c) Examen de la situación de la capacidad nacional y evaluación de las necesidades futuras de creación de esta capacidad.
- d) Determinación de las prioridades nacionales para la conservación y utilización de los recursos.
- e) Cooperación internacional en el sector de la Biodiversidad de animales de granja.

7.1. Diagnóstico de la situación de la Conservación EX SITU en Andalucía

En Andalucía, una de las regiones europeas más ricas en recursos genéticos animales (Dad-IS, www.fao.org), a pesar de las medidas que se han instaurado, principalmente ayudas económicas para las razas en peligro (a través de los incentivos en el ámbito del

Real Decreto 997/1999 de 11 de junio y Orden de 18 de octubre de 2005) y el inicio de diversos programas de conservación *in situ*, las investigaciones llevadas a cabo por grupos de investigación andaluces como el MERAGEM (Código del Plan Andaluz de Investigación Agr-158), CORA (Código Agr-134) o el INIA, quien gestiona la concesión de ayudas para la realización de proyectos en el marco del Subprograma Nacional de Conservación de Recursos Genéticos de Interés Agroalimentario, través de los proyectos llevados a cabo (tres razas bovinas: RZ20002-007, RZ2004-00013, RZ2000-017; dos razas ovinas: RZ2003-019 y RZ2004-00024; dos razas caprinas: RZ2001-010-C3 y RZ2004-00010 y las razas equinas de aptitud cárnica RZ2004-00023), muestran que si bien algunas razas han estabilizado sus censos y otras han mejorado su situación, hasta estar a punto de salir de la situación de riesgo (como la raza caprina Florida Andaluza), hay otras que han empeorado en los últimos años su situación (como el vacuno Pajuno) estando incluso al borde de la desaparición inminente (como el ovino Churro Lebrijano).

Es decir, de las 15 razas en peligro andaluzas, tres presentan una situación que exige tomar medidas urgentes de preservación, en tres se aconseja la criopreservación y en dos más es necesario monitorizar su tendencia para determinar si es necesario o no tomar medidas *ex situ*. A pesar de esto, desgraciadamente, no existe en Andalucía ningún banco genético, equivalente a los antiguos “Censyras” de otras Comunidades Autónomas, que garantice la preservación de las razas y de los centros donde se están manteniendo *in vivo* alguna de las razas en peligro, al depender principalmente de instituciones políticas.

Tabla 5. Situación de las razas andaluzas en peligro de extinción

	Ganaderías	Machos	Hembras	Ne	Conservación		
					<i>in situ</i>	ex situ in vivo	ex situ germoplasma
Berrendo en Colorado	88	135	2120	507.7	√		(2)
Berrenda en Negro	69	81	1800	310.0		(2)	
Cárdena	8	4	688	15.9	(1)	(1)	
Negra Andaluza	13	24	746	93.0			
Pajuna	26	27	519	102.7	(1)	(2)	
Churra Lebrijana	2	9	189	34.4			
Merina Grazaalema	34	158	4576	610.9			
Merino Negro	6	24	268	88.1			
Montesina	6	91	1930	347.6			
Blanca Andaluza	26	500	6500	1857.1			
Negra Serrana	28	300	5500	1137.9			
Payoya	56	131	4985	510.6			
Manchado de Jabugo	1	7	14	***			
Asno Andaluz	43	30	144	***		(1) √	
Caballo Marismeño	Desconocida	4	290	****		(1) √	

(1) iniciándose actualmente (2) Existe semen congelado de menos de 5 animales

7.1.1. Situación de las Razas Bovinas Andaluzas

La situación censal actual se puede consultar en la anterior tabla (los datos se refieren exclusivamente a ganaderías inscritas en la correspondiente Asociación de Criadores). La situación actual de cada raza puede ser descrita de manera muy sucinta de la forma siguiente:

Las razas Berrendas se crían ligadas al Toro de Lidia, por lo que se benefician de las asociaciones, del manejo y sustento económico de esta raza. A ello hay que unir que al ser razas ligadas a actos culturales y folclóricos, también se benefician de la colaboración de instituciones públicas y privadas. En concreto, la Berrenda en Colorado (por la que los ganaderos sienten más preferencia), se encuentra actualmente en una posición bastante favorable con respecto al resto de razas bovinas andaluzas (un N_e superior a 500 y un número de reproductores superior a 100, por lo que sólo se exigen medidas de monitorización de la evolución de su censo). La situación es más complicada para la Berrenda en Negro, como puede observarse en la tabla anterior, donde se observan el menor número de ganaderías y animales inscritos ($N_e=310$), aunque la situación de riesgo parece semejante, el número de sementales está ya por debajo de 100.

La raza Cárdena Andaluza ha sido desplazada de sus funciones y hábitats tradicionales, lo que ha motivado que se encuentre en una situación censal extrema ($N_e=15$ y sólo 4 sementales puros). La reserva que se había establecido en la finca La Almoraima (propiedad del Ministerio de Medio Ambiente actualmente) fue sacrificada por razones sanitarias. En la actualidad se está intentando organizar un núcleo de conservación *ex situ* (in vivo) en el "Ecoparque" del Ayuntamiento de Ronda que gestiona la empresa ADQ. Paralelamente se está organizando el Libro Genealógico y desarrollando el patrón racial (gracias al convenio recientemente firmado entre la Asociación de Criadores y los grupos AGR-134 y 158 solicitantes del presente proyecto).

La situación de la raza Negra Andaluza de las Campiñas es también muy grave debido principalmente a la falta de un objetivo claro de cría (la única utilidad ha sido la producción cárnica en la que no puede competir con razas como la Retinta) y la ausencia de una Asociación de Criadores que vele por el mantenimiento y mejora de la raza. En la actualidad, se presentan expectativas de solución pues a iniciativa de algunos miembros de ASAJA-Sevilla y ASAJA-Córdoba, se ha presentado para su reconocimiento a la Junta de Andalucía la "Asociación de criadores de ganado vacuno de Negra Andaluza de las Campiñas", que formada por 20 socios, ya está trabajando en la creación del libro fundacional de la raza.

La raza Pajuna, presenta actualmente una situación censal de riesgo semejante a la anterior raza ($N_e=103$, y un número de sementales en torno a 25) pero en este caso debido a otras causas (Luque *et al.*, 2006), la primera de ellas es el aislamiento geográfico de los núcleos existentes, la pérdida de los pastos de montaña tradicionales a favor de los cotos de caza y finalmente los problemas sanitarios que impiden el flujo genético entre las ganaderías (Molina *et al.*, 2004). Así en la actualidad de las 26 ganaderías con cría en pureza, siete no presentan ningún semental de la raza y cuatro sólo uno. Esta raza también está representada en el Ecoparque de Ronda.

En función de diversos análisis (tamaño poblacional actual, velocidad y tendencia de cambio, grado de cruzamiento con otras razas, grado de organización y distribución geográfica, la pirámide de edades, etc.), el orden de prioridad de las razas bovinas andalu-

zas, en función del riesgo, sería: Cárdena, Negra Ibérica, Pajuna, Berrenda en Negro y Berrenda en Colorado.

7.1.2. Situación actual de las Razas Caprinas Andaluzas

Según nuestros resultados las razas Blanca Andaluza y Negra Serrana presentan un alto nivel de homogeneidad genética y apenas indicios de flujo de genes entre ellas, incluso entre las que existe una gran proximidad geográfica. En cambio existe entre las explotaciones un alto grado de cruzamiento. Esto determina que el nivel de riesgo sea superior al que se deriva de los censos presentados en la tabla anterior para estas razas. En el caso de la raza Negra Serrana este hecho se agrava por la clara tendencia a la disminución del censo de los últimos años. No obstante, el nivel de variabilidad genética con el que cuentan las razas caprinas en la actualidad es suficiente para asegurar su recuperación si se toman las medidas oportunas. Finalmente, la raza Payoya, a pesar de que presenta un censo relativamente elevado se han detectado indicadores preocupantes (edad de los ganaderos de esta raza, incremento del cruzamiento y sustitución por otras razas como la Malagueña, la Murciano-granadina o la Florida).

7.1.3. Situación actual de las Razas Ovinas Andaluzas

La raza Churra Lebrijana presenta un estatus de máximo riesgo, tanto por número efectivo ($N_e < 34$) como por el número de rebaños (dos, de los cuales el de la Diputación de Sevilla, puede considerarse una explotación *ex situ*) y de sementales de (9). La siguiente raza en cuanto a su situación de riesgo es el Merino Negro, para la que también existe una granja experimental de seguridad (Badajoz). En tercer lugar la raza Montesina, que además de tener un censo reducido en pureza, sufre una continua presión de la raza Segureña (con la que compiten en las mismas sierras) y una clara tendencia a la disminución del censo. Finalmente encontramos la raza Merina de Grazalema, que a pesar de presentar un censo relativamente elevado, con clara tendencia a la recuperación (Molina *et al.*, 2005), se está detectando la introducción de sementales otras razas (Lacon y Awasi) para incrementar la producción quesera dado el elevado precio que ha alcanzado su queso. Actualmente están en marcha programas de conservación en el caso de la Merina de Grazalema y la Montesina gracias a la colaboración entre las respectivas asociaciones y el grupo de Investigación MERAGEM (AGR-158).

7.1.4. Situación actual de las Razas Equinas Andaluzas

El movimiento para el reconocimiento y conservación del caballo de raza Marismeña comenzó el año 2003, por parte de los miembros de la Asociación de Criadores de Ganado Marismeño. Desde entonces se ha conseguido, además de la redacción de su patrón racial, su reconocimiento oficial, siendo incorporada al Catálogo Oficial de Razas de Ganado de España en su actualización del año 2006 (Orden APA/661/2006). En él aparece recogido como una raza equina de protección especial, debido al escaso censo que presenta y al elevado nivel de cruzamiento detectado con otras razas como: Caballo Bretón, Pura Raza Español, Pura Raza Árabe, Anglo-Árabe y Pura Sangre Inglés.

Se trata de una población equina reducida, existente en el Parque Nacional de Doñana y diferenciable del resto de razas conocidas (Royo *et al.*, 2005). En la actualidad su censo se encuentra muy limitado, existiendo aproximadamente 300 yeguas y 4 sementales.

La raza Asnal Andaluza se encuentra catalogada en la actualidad como una raza en peligro de extinción, y aparece recogida como raza de protección especial en la última actualización del Catálogo Oficial de Razas de España (Orden APA/661/2006). Según la información recopilada por Herrera y López (2005), esta raza se distribuye por dos Comunidades Autónomas: Andalucía y Extremadura. En Andalucía, la Asociación encargada de su gestión es la “Unión de Ganaderos y Arrieros de la Gran Raza Asnal Andaluza” (UGRA), que engloba a 174 reproductores y 94 animales jóvenes, libres de cruzamiento. En Extremadura, el censo de animales registrados es mayor (660 podrían pertenecer a la raza).

Al ser una raza robusta, de gran alzada, resistente y muy rústica, puede trabajar en unas condiciones y terrenos poco favorables, por ello se utilizaba para el transporte de las cosechas en zonas con red viaria deficiente y para la obtención de mulos de labranza. Sin embargo, tras la mecanización del campo su censo disminuyó, llegando casi a desaparecer. En la actualidad, el Servicio de Cría Caballar y ADEBO (Asociación para la Defensa del Borrico) son los artífices de la conservación de esta raza. Así, entre las últimas medidas propuestas para su mantenimiento, destaca el diseño y creación de un banco de germoplasma en 2006, por parte de la Diputación de Córdoba, la Universidad de Córdoba y UGRA.

7.1.5. Situación actual de las Razas Porcinas Andaluzas

El Manchado de Jabugo, que en el programa sobre recursos genéticos animales de la FAO (DAD-IS) figura con entidad racial propia, tiene su origen a finales del siglo XIX en las localidades onubenses de Cortegana y Jabugo, de la mano de dos ganaderos. Nunca ha gozado ni de una expansión ni de un censo importante debido por un lado a la estrategia adoptada por estos ganaderos de explotar estos animales en ganaderías cerradas, y por otro lado por la pigmentación blanquecina de sus pezuñas, que lo apartaban del tópicamente “pata negra” tan identificado con la calidad del Cerdo Ibérico. No es una variedad de la raza Ibérica.

En su origen han participado cerdos ibéricos y cerdos foráneos (razas británicas). Esta agrupación porcina destaca por su faneróptica, distinguiéndose dos tipos, animales de capa retinta y animales de capa rubia o jara, ambos con manchas negras irregulares distribuidas por todo el cuerpo.

Hoy día esta agrupación se encuentra en una situación crítica, pues su censo no pasa de 14 hembras y 7 verracos, siendo el núcleo más numeroso el tutelado por la Excma. Diputación Provincial de Huelva en sus fincas Huerto Ramírez (El Almendro) y La Dehesa (Galaroza).

BIBLIOGRAFÍA

- Brem G, Brenig B, Müller M, Springmann K. (1989): Ex situ cryoconservation of genomes and genes of endangered cattle breeds by means of modern biotechnological methods. *Fao Animal Production and Health Paper* 76.
- Caballero, A, Toro, MA. (2002): Analysis of genetic diversity for the management of conserved subdivided populations. *Conservation Genetics* 3: 289-299.
- Eding H, Meuwissen, TH. (2001): Marker-based estimates of between and within population kinships for the conservation of genetic diversity. *J. Anim. Breed. Genet.* 118: 141-159.
- ERF (2003): "Guidelines for the Constitution of National Cryopreservation Programmes for Farm Animals", Publication No. 1 of the European Regional Focal Point on Animal Genetic Resources. Hiemstra, S.J. (ed)
- FAO (1998a): "Secondary Guidelines for Development of National Farm Animal Genetic Resources Management Plans – Measurement of Domestic Animal Diversity (MoDAD)", FAO.
- FAO (1998b): "Secondary Guidelines for Development of National Farm Animal Genetic Resources Management Plans – management of small populations at risk".
- FAO (2006): First draft of The State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. Part 3. The state of capacities in animal genetic resource management. *Fao Roma*, November 2006.
- Fernández J, Roughsedge T, Woolliams JA, Villanueva B. (2006): Optimization of the sampling strategy for establishing a gene bank: storing PrP alleles following a scrapie eradication plan as a case study. *Animal Science* 82: 813-821.
- Fernández J, Toro MA. (1999): The use of mathematical programming to control inbreeding in selection schemes. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 116: 447-466.
- Frankel OH, Soulé ME. (1992): *Conservation and evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 327 p.
- Gandini G, Oldenbroek K. (2007): Strategies for moving from conservation to utilisation. En Oldenbroek, K. (ed): "Utilisation and conservation of farm animal genetic resources". Wageningen Academic Publishers. (Holanda), pp 29-54.
- Grundy B, Villanueva B, Woolliams JA (1998): Dynamic selection procedures for constrained inbreeding and their consequences for pedigree development. *Genetical Research* 72: 159-168.

- Herrera M, López A. (2005): El Asno Andaluz. En: Yanes *et al.* (2005). Razas Asnales Autóctonas Españolas. Ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. España.
- Hill WG. (1993): Variation in genetic composition in backcrossing programs. *J. Hered.*, 84: 212-213.
- Lacy B, Vargas A. (2004): Informe sobre la gestión genética y demográfica del programa de cría para la conservación del Lince Ibérico: Escenarios, conclusiones y recomendaciones. Ed. Ministerio de Medio Ambiente. 15 pp.
- Lande R. (1995). Mutation and conservation. *Conservation Biology*, 9: 782-791.
- Luque A, Valera M, Azor PJ, Goyache F, Rodero E, Molina A. (2006): La raza bovina autóctona española Pajuna: Situación actual y programa de recuperación. *Animal Genetic Resources Information*. In press.
- MAPA (2003): Medios de Producción (Capítulo 22). Análisis Sectoriales (Tomo 3). En: Libro Blanco de la Agricultura y el Desarrollo Rural. Ed. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Madrid.
- Martin A, Danchin-Burge C. (2003): Chapter 7 Sanitary/veterinary requirements. In: Guidelines for the Constitution of National Cryopreservation Programmes for Farm Animals. Publication No. 1 of the European Regional Focal Point on Animal Genetic Resources. ED. S.J. Hiemstra. FAO.
- Meuwissen TH (1997): Maximizing the response of selection with a predefined rate of inbreeding. *J. Anim. Sci.* 75: 934-940.
- Meuwissen TH (2007): Operation of conservation schemes. En Oldenbroek, K. (ed): "Utilisation and conservation of farm animal genetic resources". Wageningen Academic Publishers. (Wageningen, Holanda), pp. 167-193
- Molina A, Casas JP, Azor PJ, Valera M, Torres R. (2005): Productive and demographic characteristics of the Grazalema Merina sheep breed. *EAAP Publication Animal production and natural resources utilisation in the mediterranean mountain areas*. 115: 324-327.
- Molina A, Luque A, Valera M, Azor PJ, Crespo MC, Gómez MD. (2004): Repercusión de los condicionantes sanitarios al movimiento pecuario sobre la supervivencia de las razas en peligro de extinción: simulación en la raza bovina Pajuna. 2ª Reunião da Sociedade Portuguesa de Recursos Genéticos Animais IV Congresso Ibérico sobre Recursos Genéticos Animais. Elvas. Portugal.
- Ollivier L, Renard, JP (1995): The costs of cryopreservation of animal genetic resources. Proc. 46th Annual Meeting of EAAP.

- Pezoa A. (2001): Estrategias de Conservación de la Diversidad Biológica. En Libro Rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: Región de Coquimbo (F.A. Squeo, G. Arancio y J.R. Gutiérrez, Eds.). Ediciones Universidad de La Serena, La Serena, Chile 18: 273 - 280.
- Ralls K, Ballou JD, Templeton A. (1988): Estimates of lethal equivalents and the cost of inbreeding in mammals. *Conservation Biology* 2:185-93.
- Revilla E. (1998): Estrategias de Conservación en Vertebrados: El papel de la conservación "Ex situ". *Galemys* 10:20-31.
- Richa J, Lo CW. (1989): Introduction of human DNA into mouse eggs by injection of dissected chromosome fragments. *Science* 245(4914): 175-177.
- Roughsedge T, Villanueva B, Woolliams JA. (2005): Determining the relationship between restorative potential and size of a gene bank to alleviate the risks inherent in a scrapie eradication breeding programme. *Livestock Production Science* 100: 231-241.
- Royo LJ, Álvarez I, Beja-Pereira A, Molina A, Fernández I, Jordana J, Gómez E, Gutiérrez J.P, Goyache F. (2005): The origins of Iberian horses assessed via mitochondrial DNA. *J. Hered.* 96 (7): 663-669.
- Ruane J (1999): Selecting breeds for conservation En Oldenbroek, K. (ed): "Genebanks and the conservation of farm animal genetic resources", ID-DLO, (Wageningen, Holanda), pp 59-74.
- Santiago-Moreno J, Pulido-Pastor A, López-Sebastián A. (2006): Creación de un Banco de Germoplasma en la Población de macho montés de la Axarquía. BICHOS: III Encuentros con la Fauna en el Parque Natural Sierras Tejeda, Almijara y Alhama. Canillas de Aceituno (Málaga).
- Shepherd RK, Woolliams JA (2004): Minimising inbreeding in small populations by rotational mating with frozen semen. *Genetical Research* 84: 87-93.
- Sonesson AK, Goddard, ME, Meuwissen, TH (2002): The use of frozen semen to minimize inbreeding in small populations. *Genet. Res.* 80: 27-30.
- Thaon d'Arnoldi, C, Foulley JL, Ollivier L. (1998): An overview of the Weitzman approach to diversity. *Genet Sel Evol* 30: 149-161.
- Toro, MA, Fernández J, Caballero, A. (2006): Scientific basis for policies in conservation of farm animal genetic resources. Proceedings 8th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production, CD-ROM Communication No. 33-05.
- Vales-Alonso J, Fernández J, González-Castaño FJ, Caballero A. (2003): A parallel optimization approach for controlling allele diversity in conservation schemes. *Math. Biosci.* 183: 161-173.

- Verrier E, Danchin-Burge C, Moureaux M, Ollivier L, Tixier-Boichard M, Maignel MJ, Bidanel JP, Clement F. (2003): What should be preserved: genetic goals and collection protocols for the French National Cryobank. En D Planchenault (ed): "Workshop on Cryopreservation of Animal Genetic Resources in Europe", Paris,
- Waza (2005): Building a Future for Wildlife. The world zoo and aquarium conservation strategy. Ed. Olney, P.J., Berna, Suiza.
- Wiener G (1999): Animal genetic resources: a global programme for sustainable development Wiener, G. (ed). Proceedings of an FAO Expert Consultation, Rome, September 1989, FAO Animal Production and Health Paper 80, 318p

CAPÍTULO 9

DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE RIESGO Y PRIORIDADES DE CONSERVACIÓN DE LAS RAZAS ANDALUZAS EN PELIGRO DE EXTINCIÓN

Evangelina Rodero Serrano

Departamento de Producción Animal, Universidad de Córdoba. Campus de Rabanales.
Carretera de Madris, km. 396. 14071. Córdoba.

1. INTRODUCCIÓN

Considerando la raza como unidad para salvaguardar la biodiversidad de los animales domésticos en el mundo, la FAO ha estimado que existen unas 3000 razas de las siete principales especies (bovinos, porcinos, ovinos, caprinos, caballos, asnos y búfalos), amén de aquellas que aún no han sido identificadas. Sin embargo, según el último documento divulgativo elaborado por esta organización para llamar a la acción, un 20 por ciento de ellas se encuentran en peligro de extinción (FAO, 2006), y en el caso de las aves, que cuentan con 800 razas reconocidas de las cinco especies más significativas (gallinas, patos, patos moscovitas, gansos y pavos), la proporción de razas en peligro podría estar próxima al 52 por ciento (Scherf, 1995).

Con cerca de 14.000 razas o poblaciones de animales domésticos reconocidas en el mundo (Scherf *et al.*, 2005) es indudable la necesidad de conservarlas. Nos encontramos en un momento crucial para lograrlo, pero dado que los medios, especialmente los financieros, con los que se cuentan son limitados (Drucker y Scarpa, 2003), resulta necesario en primer lugar definir si una raza se encuentra en peligro de extinción, y en segundo lugar priorizar las que así resulten. Es decir, es urgente desarrollar unos criterios de decisión que sean seguidos inmediatamente por actuaciones de conservación.

La aplicación de estos criterios debería de permitir optimizar la conservación y utilización de los Recursos Genéticos de Animales Domésticos (RGAD) y tener un impacto positivo, ya sea directa o indirectamente, sobre la vida humana para que estos recursos queden asegurados por mucho tiempo como un bien público y de todos (Hannote *et al.* 2005).

Con más de 14.000 razas reconocidas y más del 50% de ellas en situación de peligro, es urgente desarrollar criterios que permitan categorizar y priorizar las razas de cara a su conservación.

La necesidad de fijar unos criterios para determinar si una raza se encuentra en diferentes estados de riesgo de desaparecer ha creado una gran inquietud en el ámbito ganadero de la Unión Europea y un grave problema a las autoridades políticas y económicas de las Administraciones de los diferentes países que la componen. El problema surgió cuando se intentan trasladar los criterios para la clasificación de las razas de animales domésticos de la FAO, plasmados en la Lista Mundial de Vigilancia (LMV) (Scherf, 2000), a las normas que, en el marco de los Programas Agroambientales, determinan las ayu-

das europeas para la conservación de las razas en peligro de extinción (CE 2078/92 y CE 1257/99).

Los parámetros numéricos que maneja la FAO para definir el estado de riesgo de las razas (Tabla 1) resultaban extraordinariamente restrictivos para la realidad productiva que impone la situación económica y social europea (Vigil, 2002), pero fueron asumidos inicialmente por la UE por imposición presupuestaria. Posteriormente, en el Reglamento CE 445/02, fueron modificados en el sentido de elevar los umbrales para el número de cabezas necesario para considerar una raza fuera de peligro (Tabla 2).

Sin entrar en la consideración de si lo correcto científicamente ha de ser válido para determinar las ayudas económicas a percibir por los ganaderos, lo que interesa es no tanto decidir si una raza está en peligro, como clasificarla según las distintas posibilidades que de su situación se pueden dar.

En este capítulo expondremos las diferentes propuestas que en los últimos años se han realizado para priorizar las razas según su situación de riesgo, analizaremos los factores contemplados en sus requisitos y, finalmente, aplicaremos en cada una de las razas bovinas andaluzas el método propuesto por la Sociedad Española de Zooetnología (SEZ, 2001) que integra un gran número de estos factores.

2. PROCEDIMIENTOS PARA DEFINIR EL ESTADO DE UNA RAZA

Paralelamente a la política de conservación de recursos genéticos de animales domésticos (RGAD) desarrolladas a nivel supranacional por la FAO y por la UE, la Convención entre países para la Biodiversidad de Río de Janeiro (CBD, 1992) deja en manos de cada país la gestión de sus propios RGAD, siendo los estados completamente libres de establecer las medidas necesarias para su conservación.

En consecuencia, además de los Coordinadores Nacionales para los RGAD nombrados por la FAO que formarían los cuerpos de intercambio internacional, se considera de gran ayuda para los países el estableciendo de un cuerpo de responsabilidad nacional (Feldman, 2005). Para ello, la mayoría de los países, y tal es el caso de España (BOE 20-01-1998), han creado Comités Nacionales de expertos para el asesoramiento a sus respectivos gobiernos en la toma de decisiones sobre la gestión de las razas ganaderas. Corresponde a estos comités informar las modificaciones del Catálogo Oficial de razas de Ganado, lo cual implica decisiones sobre las especies que lo constituyen y sobre la catalogación de cada raza dentro de las diferentes categorías de que consta.

Parecería lógico que esta labor se rigiese por procedimientos únicos y oficiales; no obstante, junto con las propuestas admitidas por las instituciones oficiales, encontramos otras de organizaciones no gubernamentales y particulares, de tal manera que la consecución de un sistema adecuado de clasificación de las razas con vistas a su conservación, pasa, en primera instancia, por determinar a qué nivel deben establecerse las propuestas y quién tiene las competencias.

Durante los últimos años, las distintas organizaciones implicadas en los programas de conservación emplean diferentes sistemas. Por ello, los procedimientos para la identificación y categorización de las razas se han desarrollado de manera inconsistente. Esto conduce a dificultades y confusión, si se pretenden realizar comparaciones. Se precisa un sistema completo y aceptado de manera general que permita un intercambio de información entre las bases de datos nacionales e internacionales (Alderson, 2003).

El sistema, en coincidencia con Ruane (2000), Gandini *et al.* (2005) y Hall (2004), tendría que contener unos criterios simples, claros, objetivos y comparables, para que la toma de decisiones sea transparente.

2.1. Propuestas de los cuerpos gubernamentales

2.1.1. Propuestas de la FAO

Inicialmente la FAO (1992) marcaba cuatro estados de riesgo diferentes atendiendo al número de hembras reproductoras y que se concretaban en (Tabla 1):

Tabla 1. Clasificación del estado de riesgo según la FAO (1992).

Número de hembras	Estado de riesgo
<100	Crítico
100-1000	En peligro
1000-5000	Vulnerable
5000-10000	Escasa

Posteriormente, clasificó las razas en siete categorías (FAO, 1998), según se muestran en la Tabla 2. La FAO emplea esta clasificación en la 3ª edición de la LMV (Scherf, 2000):

Tabla 2. Clasificación del estado de riesgo según la FAO (1998).

Categoría	Número hembras	Número machos	Total reproductores	Criterios adicionales
Extinta:	0	0		Imposible de recuperar
Crítica:	≤100	≤5	≤120 y tiende a disminuir <80%.hembras puras	
Crítica mantenida:				Como la Crítica, pero con programa de conservación.
En peligro	>100 ≤1000	>5 ≤20	80 y < 100 y en aumento <80%.hembras puras	
En peligro mantenida:				Como la Mantenida, pero con programa de conservación
No en riesgo	> 1000	>20	> 1200 y en aumento	
Desconocida:				

Si la inclusión de una raza en una clase está en el límite, se atiende a otros factores, tales como el número de animales que están en activo bajo inseminación artificial, o bien el número de dosis seminales o embriones que se conserva, o el número de ganaderos.

2.1.2. Propuestas de la Unión Europea

La Comisión de la Unión Europea (Avon, 1992), utiliza inicialmente como criterio los efectivos de las hembras reproductoras por especies y la tendencia del censo en los últimos cinco años, según se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Límites del estado de riesgo según la UE (1992).

Especie	disminuyendo	estable	aumentando
Bovinos y equinos	7500	5000	4000
Ovinos y caprinos	9000	7500	6000

Se puede apreciar que los aumentos o disminuciones de las cifras correspondientes a la situación de estable, cuando se pierde la estabilidad, no representan los mismos porcentajes en los dos grupos de especies. Así, mientras el cambio en bovinos y equinos de 5000 a 7500, supone un aumento del 50%, en los ovinos y caprinos sólo es de un 20%.

En esta propuesta, junto al factor censal, se considera requisito imprescindible el poder disponer de un organismo de gestión reconocido que pueda certificar la pertenencia de un animal a la raza en cuestión (libro de registro, instituto técnico o asociación especializada).

Más tarde, a demanda del Comité Zootécnico Permanente, la UE (Regulación CE 445/2002 Art. 14) simplifica los criterios para considerar una raza autóctona como amenazada de abandono en función solamente de las cifras de hembras reproductoras inscritas en un libro genealógico reconocido por el país, quedando definidos los límites para cada especie en (Tabla 4):

Tabla 4. Límites del estado de riesgo según la UE (2002).

Bovinos	7500
Ovinos	10000
Caprinos	10000
Equinos	5000
Porcinos	15000
Aves	25000

2.1.3. Propuestas a nivel nacional. El caso de Alemania.

En Alemania, Simon y Buchenauer (1993), consideraban el tamaño efectivo (N_e) de la población como principal criterio clasificador, a matizar con otros como la tendencia, ausencia de libros de registro, número de ganaderías, porcentaje de animales en pureza y porcentajes de cruzamientos con otras poblaciones.

La propuesta basada en el tamaño efectivo (N_e) quedó recogida a nivel oficial en Alemania, donde se ha creado una base central de datos (<http://www.genres.de/tgrde/>) para la documentación y registro de las razas domésticas, las cuales se categorizan según los criterios acordados por el Programa Nacional, del modo que exponemos a continuación (Tabla 5) (Feldmann, 2005):

Tabla 5. Criterios para el estado de riesgo en Alemania.

Categoría	Criterio	Descripción
1a) Conservación de la población	$N_e < 200$	Población fuertemente amenazada que precisa actuaciones urgentes (programa de conservación para estabilizar el tamaño efectivo y minimizar la pérdida de genes)
1b) Conservación fenotípica de la población	$N_e < 50$	Razas con pocas posibilidades de ser conservadas a largo plazo por sí mismas. Se recomienda aplicar la criopreservación y la integración con otras razas mayores, culturalmente importantes.
2) Población a controlar	$200 < N_e < 1000$	Población en peligro que tiene que estar siendo observada. Si el número de machos llega ser menos de 100 se necesita iniciar un programa de criopreservación.
3) Población no en peligro	$N_e < 1000$	Población no en peligro en el momento actual en la que el tamaño efectivo debe ser calculado de manera regular

2.2. Propuestas de organismos no gubernamentales

2.2.1. Propuesta de la Asociación Internacional para la conservación de razas (RBI)

El procedimiento formulado por el RBI (Alderson, 2003) está basado en el concepto de razas de especial importancia genética. Para ser consideradas dentro de los programas de conservación, reconoce tres tipos de razas:

- Razas con características distintivas (distintividad). Ya sean determinadas mediante ADN, o mediante caracteres externos y funcionales.
- Razas de especial adaptación (adaptación local). Cuyo genotipo está especialmente diseñado para adaptarse de manera muy efectiva a ambientes muy particulares locales.

- Razas numéricamente escasas. Con un bajo número de hembras reproductoras y que precisan programas de conservación para que no se pierdan los alelos fundadores. Necesita que se determine en ellas el efecto fundador y la variabilidad genética (Alderson, 1992).

Los seis factores que tiene en cuenta el sistema son: número de hembras registradas anualmente, categoría de prioridad según número de hembras por especies, adaptabilidad, distintividad, tamaño total de la población, nivel de consanguinidad. Algunos de ellos, tales como la distintividad para ciertos caracteres y la adaptabilidad requieren elementos de juicio subjetivos.

El sistema es simple desde el punto de vista de la recogida de información, pero es complicado en cuanto al análisis e interpretación. Se asume que todas las razas tienen un programa de gestión y de registro individual; algo que aún no ha sido plenamente logrado en algunos países en vías de desarrollo. Incluso en Andalucía, encontramos casos como el de la raza bovina Cárdena, donde en tal proceso este requisito se encuentra aún en trámite.

2.2.2. Las propuestas de la Asociación Europea de Producción Animal (EAAP)

Inicialmente el grupo de trabajo de la EAAP, para dar la consideración de riesgo, tuvo en cuenta: la especie, el número de hembras y de machos y la tendencia a aumentar o disminuir el censo (Tabla 6) (Maijala y et., 1984).

Tabla 6. Límites del estado de riesgo según EAAP en 1984.

Especie	Censos y condiciones
bovino	<1000♀ ó 1500-5000♀ y disminuyendo ó <20♂
ovino y caprino	<500♀ ó 500-1000♀ y disminuyendo ó <20♂
porcino	<200♀ ó 200-500♀ y disminuyendo o <20♂

Posteriormente, ha desarrollado un sistema basado en el incremento de consanguinidad por año ($\Delta F/\text{año}$), más que en el $\Delta F/\text{generación}$.

Las categorías de riesgo basadas en el ΔF empleadas por la EAAP (1998) serían las siguientes (Tabla 7):

Tabla 7. Categorías para el estado de riesgo según la EAAP en 1998.

Categoría de riesgo	ΔF en 50 años
En peligro crítico	> 40%
En peligro	26-40%
En peligro moderado	16-25%
Posiblemente en peligro	5-15%
No en peligro	<5%

Las categorías son ajustadas también por un sistema llamado NFN que es el producto de:

- a) Número de hembras reproductoras
- b) La proporción de ellas que están en pureza
- c) Un factor que marca la tendencia en las hembras y que es igual a 0,7 si la población tiende a disminuir, y a uno si no es el caso.
- d) Un factor que representa al número de ganaderos y que vale 0,5 si son menos de 10, y a uno si no es el caso.

Un grupo de trabajo de la rama alemana de la EAAP (DGFZ, 1991) ha sugirió la utilización de un conjunto de criterios para considerar a una raza en una situación de peligro:

- El tamaño efectivo y las tendencias del censo total y por rebaños
- El número de rebaños.
- La proporción de acoplamientos con otras razas.
- La situación de que el valor económico de las producciones sea menor que las de otras poblaciones.

Finalmente, el Comité para los RGAD de la EAAP (EAAP, 2001/2) utiliza el número de hembras reproductoras como el elemento principal de los criterios, pero calcula un valor corregido de este parámetro tras aplicar factores modificadores relativos a: número de hembras reproducidas en pureza, tendencia del censo de hembras, número de rebaños y tendencia del número de rebaños.

2.2.3. Las propuestas de la Asociación Británica para la Conservación de razas (RBST)

Uno de los primeros procedimientos para identificar a las razas fue formulado por Lawrence Alderson en 1975 (citado en Alderson, 1994), éste fue asumido por la RBST y empleado, con escasas modificaciones, en Reino Unido hasta el 2001 para clasificar las razas británicas.

La propuesta evaluaba en primer lugar la raza para determinar, su estado y si era merecedora de ser reconocida como una población distinta, y después era categorizada en función de criterios numéricos y del grado de vulnerabilidad.

El RBST diferenciaba en tres secciones los criterios para dar a una raza la categoría de raza en peligro, de forma prioritaria (Alderson, 1978).

En la primera sección, se incluían cuestiones sobre: la existencia de libros de registro y de estándar racial, la pureza de la raza (de forma que el aporte de otra raza no supere el 20% del patrimonio genético en las últimas seis generaciones) y, por último si

era conocida la raza desde hace 75 años. Si al menos tres de las cuestiones de esta sección eran respondidas afirmativamente, se aceptaban para la siguiente sección.

En la segunda sección, se refería al número de hembras reproductoras que no debían superar en el ganado vacuno las 750 unidades, las 1000 en equinos, las 1500 en ovino y las 500 en porcino y caprino. También se tenía en cuenta en esta sección si el número de líneas paternas era inferior a cuatro. Después se pasaba a la siguiente sección.

En la tercera y última sección, se tenía en cuenta si hay una tendencia a disminuir el número de animales y si la raza estaba constituida por al menos cuatro ganaderías separadas por 50 millas o más.

El RBST más recientemente, opera con un sistema donde se estima que una raza es “rara” si el número de hembras adultas es ≤ 3000 para las especies equina y ovina, 1500 para el vacuno y 1000 para cabras y cerdos.

Se pasa a los estados de “riesgo”, “vulnerable”, “en peligro”, o “crítica”, si los números indicados pasan al 1/2, 3/10, 1/10 de los límites, respectivamente. De tal modo que las razas bovinas con menos de 300 hembras reproductoras son consideradas como críticas, las de menos de 500, en peligro y las de menos de 1500, en riesgo. Se considera también el término “minoritaria” para aquellas que no llegan a estar en la lista de prioritarias pero que necesitan seguimiento. Además, el RBST conserva la categoría de “feral” o poblaciones asilvestradas considerando que éstas necesitan una categoría propia porque son más difíciles de gestionar que aquellas que están en sistemas tradicionales.

2.2.4. Propuesta de la Asociación Americana para la Conservación de razas (ALBC)

La Asociación Americana para la conservación de razas (AMBC, hoy ALBC) segregó las razas en cuatro categorías según su tamaño a nivel nacional o internacional: “crítica”, “rara”, “segura” y “en estudio”. También se clasificaban en “locales”, “estandarizadas”, “industriales” y “asilvestradas” (Cristman *et al*, 1997).

La ALBC considera como “críticas” a aquellas que tienen en Norteamérica menos de 200 registros anuales y una población total inferior a 2000, como “raras” aquellas que registran anualmente menos de 1000 y su tamaño es inferior a 5000, y por último, “seguras” son las que registran menos de 2500 y la población está por debajo de 10.000.

2.2.5. La propuesta de la Sociedad Española de Zooetnología (SEZ)

En el año 2001, la SEZ traslada a la Dirección General de Ganadería del MAPYA un posible modelo para la catalogación de las razas (Rodero *et al*. 2002). Se trata de un procedimiento dicotómico y secuencial (Figura 1) para diferentes factores (ser autóctona, estar reconocida, tener asociación de gestión, poseer libro genealógico, número de gana-

derías, pureza de la raza, sistema de cría, censo de machos y hembras, tendencia del censo y medidas de conservación) de tal manera que por los diferentes posibles caminos se llega al final, a la determinación del estado de riesgo, estando éste categorizado en los mismos grupos y términos que la propuesta oficial de la FAO. En el último apartado de este capítulo aplicamos dicho procedimiento a las razas bovinas andaluzas.

La pluralidad de organismos gubernamentales y no gubernamentales implicados en la conservación de razas de cada país ha propiciado la existencia de múltiples y diferentes procedimientos para la priorización de las razas. Se hace preciso un sistema único oficialmente aceptado que permita el intercambio de información entre todos los agentes.

3. CRITERIOS EMPLEADOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE RIESGO DE LAS RAZAS BOVINAS ANDALUZAS

3.1. Criterios demográficos y sus parámetros genéticos relacionados

Aunque los aspectos demográficos y genéticos interactúan en la mayoría de los procesos de extinción, de tal manera que la tasa de consanguinidad está en función del tamaño de la población y de su estructura, y la depresión consanguínea puede afectar negativamente al crecimiento demográfico de la población (Gandini *et al*, 2005). No obstante, procederemos a su consideración de manera independiente.

3.1.1. El tamaño efectivo (N_e)

Como se ha indicado, no es el censo total de animales el criterio que hay que manejar, sino el conjunto de animales que se reproducen y que viene determinado por su N_e . La necesidad de contar con este parámetro no está sólo motivada por el hecho de que una población con un pequeño número de animales presenta una probabilidad, por puro azar, de desaparecer, sino porque además permite estimar la intensidad de los efectos de la deriva genética y de la consanguinidad.

Es conocida la ecuación de Wright (1931) en la que el tamaño efectivo de una población es igual a:

$$\frac{4Nm.Nf}{Nm + Nf}, \text{ expresado de otro modo: } \frac{1}{N_e} = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{Nm} + \frac{1}{Nf} \right)$$

, siendo N_m = número de machos que se reproducen y N_f = número de hembras que son capaces de dejar descendientes.

Esta expresión presupone que los animales se reproducen al azar, la población no está subdividida en partes, no se aplica la selección entre grupos de descendientes y no se produce incremento de las relaciones genéticas entre los parientes, lo cual no es lo común en las poblaciones de animales domésticos.

No obstante, como ya hemos expuesto, este parámetro ha sido aceptado por algunos sistemas oficiales que consideran que en los criterios de priorización, es necesario tener en cuenta el número de animales de los dos sexos y no de uno solo de ellos (Simon y Buchenauer, 1993).

3.1.2. La tendencia del censo (r)

A nivel elemental, debemos considerar que el tamaño de una población que, partiendo de un tamaño N_0 , se reproduce durante un periodo de un año. Al cabo de ese tiempo se habrá multiplicado por r y tendrá un tamaño de $N_1=N_0r$, y al cabo de t años será $N_t=N_0r^t$. Esta ecuación también es aplicable a la estructura de edades. Cuando $r=1$, la población es estable; los casos en los que $r<1$, se corresponderán con tendencias o tasas de crecimiento positivo; y en los casos en los que una población avanza hacia la extinción, $r<1$.

Se ha estimado (Simon y Buchenauer, 1993) que habría que duplicar el número de hembras reproductoras, si se da una tendencia a disminuir este número, pero, en principio, sería necesario fijar el procedimiento para estimar tal tendencia. Habría que contar con datos correspondientes al menos a cinco generaciones y a partir de los censos obtener la línea de tendencia y calcular el significado y valor de ella, al mismo tiempo que se obtiene este parámetro de los reproductores machos.

Mediante la fórmula $t = \frac{(\log N_x - \log N_0)}{\log r}$

donde N_0 es el tamaño de la población en el tiempo cero y N_x el tamaño que se considera crítico, se puede calcular el tiempo que falta para que una raza en estudio alcance ese tamaño crítico

Para acotar el marco temporal, es imprescindible examinar la situación pasada (10 años atrás), la presente y la futura (10 años adelante) para obtener una perspectiva de dónde se encontraba el país, dónde se encuentra ahora y hacia dónde va.

FAO (2001)

Directrices para la elaboración de los informes de los países sobre el estado de sus recursos zogenéticos.

Las fuentes de variación del crecimiento demográfico para los animales de granja son:

- Los nuevos nacimientos y la eliminación de rebaños y de individuos dentro de los rebaños.
- Las variaciones de la demanda de mercado que está en función de la competitividad económica.
- Enfermedades o posibles epidemias y catástrofes.

En un sistema con un ambiente estable o muy controlado, las varianzas deberían de ser cero. De tal manera que, conociendo los valores medios del crecimiento de la población, se podría lograr estimar el tamaño de ésta al cabo de un tiempo determinado.

En realidad, el desconocimiento actual de la dinámica de los procesos de extinción de las razas, no nos permite hacer una estimación de r .

Gandini *et al.* (2005), a partir de los datos habidos en la base mundial de datos de RGAD de la FAO (DAD-IS), analiza la tendencia demográfica de las razas europeas, encontrando que r se ve significativamente afectada por el tamaño de la población y por el país, lo cual puede estar muy relacionado con la diferente competitividad y la estabilidad económica de los países. Propone que, para emplear los factores demográficos en la priorización de las razas, hay que ajustar estos factores corrigiendo según el tipo de país. Establece para ello tres categorías:

- Aquellos que mantienen las razas por medio de programas activos con intervención de compañías comerciales e instituciones de investigación.
- Los que tienen una estructura agrícola muy desarrollada y permiten dar una seguridad y estabilidad económica para la conservación.
- Los países con estructuras agrícolas en vías de desarrollo y con inestabilidad económica.

Conocer la tendencia del censo no sólo tiene interés desde el punto de vista de la conservación de razas, sino que también sirve de base para esbozar las diversas posibilidades de que dispone el sector de los animales de granja para hacer frente a la evolución de la demanda y a los nuevos desafíos y para examinar los distintos modos y grados de conservación y utilización de los RGA en los diversos entornos del país (FAO, 2001).

3.1.3. La estructura de la raza y la selección que en ella se realiza

No es lo mismo el cálculo de los efectivos del tamaño poblacional dentro de un solo conjunto racial, sobre el que va a actuar la deriva y la posible selección, que si lo que se considera es un conjunto de ganaderías que constituyen el total de la raza. No hay que olvidar tampoco que el tamaño y la estructura poblacional van a estar condicionados por la posible acumulación de mutaciones deletéreas.

3.1.4. El número de ganaderías

Es un factor también muy importante. El número efectivo de una raza no sería igual si el censo total se refiere a una población única, que si se encuentra dividido entre diferentes rebaños, más o menos aislados reproductivamente. Además hay que considerar que si el número de ganaderías es pequeño, se incrementa el riesgo de que, por diversos motivos, desaparezca la raza.

Si el aislamiento reproductivo de las ganaderías es muy fuerte, se producirá la división de la raza en distintas líneas o estirpes, con los consiguientes efectos sobre la variabilidad genética racial.

Se incrementará también la consanguinidad dentro de cada ganadería, con la consiguiente fijación de alelos y una diferenciación cada vez mayor entre ganaderías.

Unos datos aceptables serían poder contar con al menos 10 ganaderías y un número de reproductores en cada una de 25.

3.1.5. La consanguinidad esperada (F) en función del tamaño efectivo.

Las poblaciones de pequeño tamaño están expuestas durante generaciones a fluctuaciones aleatorias de las frecuencias génicas (deriva genética) que tienden a reducir la variación genética, la consanguinidad es el parámetro más utilizado para medir la deriva genética.

La consanguinidad es inevitable en poblaciones finitas, pero la tasa a la que se produce (DF) puede ser una medida del riesgo de la población (Woollians, 2004). Esta tasa ha sido definida en función del tamaño efectivo de la población mediante $N_e = 1/2\Delta F$, donde el incremento de consanguinidad viene dado por generación.

Si se supone que la reproducción es al azar y el número de machos y hembras son iguales, la F al cabo de un tiempo t será:

$$F_t = 1 - \left(1 - \frac{1}{2N}\right)^t$$

(Eding y Laval, 1998), siendo N el tamaño de la población y t el número de generaciones.

Si el número de machos y hembras fuera desigual, la citada expresión quedaría igual a:

$$F_t = 1 - \left(1 - \frac{Nm + Nf}{8NmNf}\right)^t$$

Para Menwissen (1997) y Menwissen y Luo (1992). el tamaño efectivo crítico, o mínimo, debe estar entre 50 y 100 animales en cada generación, pero ello en el supuesto de igualdad censal entre los dos sexos, reproducción al azar y ausencia de selección, lo cual determinaría un incremento de la consanguinidad de un 1 % por generación.

La EAAP-AGDB ha empleado una medida del riesgo en función de la consanguinidad acumulada durante 50 años (Tabla 7), pero precisa especificar los objetivos de la conservación, ya que el tiempo y el intervalo entre generaciones estarán condicionados por la especie y por el objetivo.

Pero en las poblaciones de animales domésticos, sometidas a selección, no sólo hay diferencias aleatorias, sino también causadas por las ventajas selectivas, de manera que los padres que son superiores genéticamente para los caracteres deseados, contribuirán más a la progenie de la siguiente generación, y la consanguinidad será superior a la de aquellas poblaciones en las que no se realiza selección.

La tasa de consanguinidad también está en función de la heredabilidad de los caracteres seleccionados, así como del tipo y de la intensidad de selección. Se han propuesto diferentes métodos para la estimación de la de la consanguinidad bajo selección masal, pero para ser aplicados precisan información de esos otros parámetros (Bijna et, al. 2000).

En poblaciones que realizan selección masal con BLUP, la consanguinidad supera a la selección al azar en 2,5 veces si la heredabilidad es de 0,4, y en cuatro veces, si la heredabilidad es 0,1 (Wray y Thompson, 1990).

La FAO (1998) indica que los otros factores demográficos pueden tener mucho más impacto en poco tiempo que el riesgo genético. Entre estos otros factores estarían, por ejemplo, la distribución geográfica, el número de ganaderías y los factores sociológicos (p.e. la edad del ganadero) que están más estrechamente relacionados con el tamaño del censo que con N_e .

3.1.6. La existencia de Libro de registros

En algunas razas, son pocos los animales registrados en el libro genealógico, por lo que si solamente se tienen esos en cuenta, se puede dar una falsa impresión sobre el estado de peligro de la raza.

Simon y Buchenauer (1993) estiman en un 25% la proporción mínima de animales registrados. Sin embargo, las cifras son muy distintas de una raza a otra. Se pueden tomar dos medidas: a) Si se cuenta con un número relativamente elevado de animales reproductores, se debe contabilizar un límite de reproductores (para una proporción de 25%) cuatro veces superior a la cifra que correspondería a una situación en la que todos los animales estuvieran registrados, que sería la frontera entre situación normal y en peligro. b) En otro caso, es decir, cuando se trata de una raza de escaso censo, habría que tomar medidas para cambiar la situación y lograr el registro de todos ellos.

3.1.7. La Pureza de la raza

En muchas de nuestras razas la pureza de los animales es dudosa. No es raro que nos encontremos poblaciones con al menos un 20% de animales cruzados.

Cuando una raza se encuentre en una situación censal mínima, de forma que esté próxima a desaparecer, no se puede ser excesivamente exigente, sino que habría que admitir animales de los que no se tiene seguridad de su pureza, si bien siempre que se tomen medidas de control respecto a su reproducción futura y siempre que ello no suponga pérdida de variabilidad genética.

El efecto del cruce de una raza con otra en extinción depende de la tasa de entrada de los reproductores fuera de la raza, y de la distancia genética entre ambas poblaciones.

Si embargo, la planificación de la reproducción de animales cruzados con otros puros, hace posible corregir la situación en pocas generaciones. Admitiendo un 25% de genes ajenos a la raza en cuestión, en dos retrocruzamientos se conseguiría una pureza de un 94%.

3.2. Contribución de las razas a la diversidad (Distintividad)

Otro de los atributos que han sido considerados fundamentales para la priorización de la conservación es el de la “distintividad”, término introducido por Weitzman en base al concepto de distancia o desigualdad entre especies salvajes. La idea de la distancia genética entre dos individuos, puede ser extrapolable a la distancia entre un grupo de individuos y un individuo de ese grupo que se considera por separado, y cuya posición relativa respecto al grupo vendrá dada por la distancia con el elemento del grupo más próximo y el más lejano. La función de la diversidad de Weitzman (1993), estima además la diversidad del grupo sin el individuo en cuestión.

Thaon d'Arnoldi *et al.* (1998) aplica esta teoría a la diversidad de razas de animales domésticos. La pérdida de diversidad resultante de la extinción de una raza k puede ser evaluada mediante la función:

$$V_k = 1 - V(s/k) / V(s)$$

V_k es la contribución de esa raza a la diversidad genética (CB) y puede suponer una medida de su singularidad genética dentro en un grupo o set de razas determinado (s).

$V(s)$ es la diversidad total del set, y $V(s/k)$ es la diversidad total pero sin k .

Para esta misma finalidad, se han propuesto otros métodos, como el de Petit *et al.* (1998), que emplea los parámetros de Nei (1978); o del Caballero y Toro (2002), basado en la coancestralidad. Pero la función V se ha considerado como el más apropiado para trabajar a nivel de razas gracias a su “monotonidad” que permite que la diversidad total nunca pueda resultar incrementada tras la retirada de un raza.

El método ha sido aplicado sobre diferentes especies domésticas (Ollivier *et al.*, 2005), siendo grandes las diferencias en las contribuciones de las distintas razas. Derban *et al.* (2002) desarrollan un software para obtener la contribución de cualquier raza a partir de la matriz de distancias.

En estos estudios la diversidad de una raza se estima mediante las distancias genéticas con respecto a otras, lo cual supone una medida de la diversidad entre razas (CB). Pero la diversidad dentro de razas también debe ser considerada.

Caballero y Toro (2002), partir de ADN de mircosatélites, emplean la heterocigosidad media esperada dentro de razas como una medida de la diversidad que permite calcular, al igual que se hacía con la función V , la contribución de cualquier raza a la diversidad dentro de razas (CW).

Podemos obtener la relación entre la diversidad total entre razas y la existente dentro de razas, definiendo la “diversidad agregada” (D) como una combinación de la contribución relativa de ambas, CB y CW.

$$D=aCB+bCW.$$

La importancia relativa de estos dos componentes es crucial y determina la decisión sobre qué medida de la diversidad debe ser empleada con vistas a su maximización. Ollivier y Foulley (2005), trabajando con ADN de microsatélites, estiman la diversidad a partir de parámetros tales como los F de Wright o la riqueza alélica. En su estudio sobre 11 razas porcinas encuentran una elevada correlación positiva entre la diversidad total y la agregada, lo que parece indicar que ambos parámetros tienen el mismo peso relativo en los componentes entre y dentro de razas.

Si sólo consideramos la diversidad entre razas, el método de Weitzman sería el apropiado; sin embargo, para atender a ambas (entre y dentro), se tiene que emplear el método ponderado. En los planes de conservación, la varianza entre razas sería el factor más ponderado; pero para planes de creación de razas sintéticas (p.e. para hacer frente a cambios ambientales), o para trabajar en la mejora de razas de gran tamaño que no están en peligro, la diversidad dentro de razas sería el elemento preferente. El grado de ponderación debería adaptarse a las particularidades de cada situación (Benewitz *et al.* 2007).

Como se ha indicado, los caracteres empleados para estos estudios son generalmente marcadores de loci neutrales; sin embargo, esos marcadores representan la parte no codificadora del material genético y no pueden tener el mismo valor para determinar diferencias entre razas que las partes codificantes. Estas últimas son en realidad las responsables de la mayoría de las diferencias visibles entre razas susceptibles de selección artificial, la cual es un factor importante en la formación y evolución de las razas (Rodero y Herrera, 2000). Las distancias entre razas, obtenidas en función de uno u otro tipo de caracteres pueden ser diferentes (Brito, 2002). De tal manera, que en el caso de dos razas, procedentes de un mismo origen, pero que se han diferenciado en base a la selección hacia dos especializaciones productivas distintas, p.e. carne y leche, las distancias genéticas para loci neutrales, podrían ofrecer grandes similitudes entre ellas, pero, sin embargo, ser muy distantes en función de los loci correspondientes a los caracteres objeto de selección (Ruane, 2000). Si las razas están caracterizadas por aspectos morfológicos, de comportamiento, productivos, etc., para establecer las distancias entre razas lo más apropiado sería buscar los genes responsables de esos caracteres e identificar los alelos que producen esos fenotipos específicos (San Primitivo, 2003)

Ollivier y Foulley (2005) consideran que para establecer la prioridad de las razas se debería de tener en cuenta tanto la contribución de las razas a la diversidad genética como su probabilidad de extinción. Se trata por lo tanto de un nuevo factor a tener en cuenta.

3.3. Probabilidad de Extinción (z)

La Probabilidad de Extinción de una raza se define como la probabilidad de que la raza se extinga en un horizonte de tiempo dado (p.e. 25-50 años).

Asumiendo que se parte de un grupo de razas N, al final del tiempo horizonte habrá 2N combinaciones posibles de razas presentes y extintas. Cada raza tendrá una probabilidad Pk determinada que dependerá únicamente de la probabilidad de extinción de la raza.

Cada grupo k de razas mostrará una diversidad DK, que al final del tiempo horizonte t será:

$$E(D_t) = \sum_k P(k) D_k$$

Esta expresión nos daría una previsión de la diversidad futura en función de la actual y de la probabilidad de extinción z y de la deriva genética, si se tienen en cuenta la pérdida de diversidad dentro de razas (Simianer, 2005 y Bennewitz y Meuwissen, 2006).

El efecto de una raza debería ser determinado en función del cambio producido por una modificación en la probabilidad de extinción de la raza, tras la introducción de alguna medida o esfuerzo para su conservación.

Esta es la base del concepto de Diversidad Marginal de Weitzman (1998) que puede ser estimada como:

$$mdi = -\delta E(Dt) / \delta z$$

La Diversidad Marginal de una raza es independiente de su Probabilidad de Extinción, y si multiplicamos ambas nos proporciona el Potencial de Conservación de la raza (CPi), $CP_i = mdi \times z$.

3.4. Máxima Utilidad (V)

El Potencial de Conservación es eficaz para priorizar las razas si el objetivo de la conservación es conservar la diversidad (Reist-Marti *et al.*, 2003); para otros objetivos tales como la inclusión en áreas rurales o la sostenibilidad, se ha propuesto la estrategia de máxima utilidad que contempla tanto la diversidad neutral como la de caracteres específicos.

La Utilidad conservada por un grupo de razas (k), en un tiempo horizonte, puede ser formulada, según Simianer *et al.* (2003), de la siguiente manera:

$$V_k = W_D D_K + \sum_{j \in K} W_{Fj} + \sum_i k_i W_{Bi}$$

Donde:

V_k es la utilidad del conjunto de razas k .

WD es el valor relativo de una unidad de diversidad neutral

D_k la diversidad neutral del grupo de razas k

WFi es el valor relativo del carácter especial j en la raza i

$j \in K$ tiempo que j estará presente en el grupo de razas k

WBi valor relativo de la raza i (valor de utilización de la raza)

K_i es un indicador variable, que será igual a uno si la raza i está presente en el grupo k (p.e. no extinta); ó a 0, si ya no está presente (p.e. extinguida en el tiempo horizonte) y dependerá de la probabilidad de extinción.

De la misma manera que en el apartado anterior, la utilidad esperada al final de tiempo horizonte t , considerando la probabilidad de que la raza esté presente en grupo k , será:

$$E(V_t) = \sum_{\forall k} P(k) V_k$$

Y la utilidad marginal para disminuir, mediante los esfuerzos de conservación durante el tiempo horizonte, en una unidad la probabilidad de extinción de una raza, vendrá expresada por:

$$m_{ui} = -\delta E(ut) / \delta z_i$$

El potencial de conservación (CP_i) de una raza también puede ser estimado como el producto de la utilidad marginal y de la probabilidad de extinción, $CP_i = m_{ui} \times z_i$.

La utilidad marginal de una raza depende en gran medida de la composición del grupo de razas. Por ejemplo, un carácter especialmente útil que está presente en un número de razas y una de ellas está perfectamente salvada, propiciará que el resto de las razas tengan una utilidad marginal baja o próxima a cero. En otro caso en el que sólo quede una raza que presentase ese carácter deseable, su utilidad marginal sería muy alta, porque si esa raza se extinguiese, el carácter en cuestión desaparecería de toda la especie.

Este procedimiento de la máxima utilidad parece más apropiado para elegir a la razas que el de máxima diversidad, cuyo objetivo de conservación sería únicamente el mantenimiento de la diversidad. Pero presenta el problema de que además de los estimadores de la diversidad, requiere estimadores del valor económico relativo de los caracteres especiales, y éstos, como es el caso por ejemplo del valor histórico, son muy difíciles de estimar en cuanto a su peso económico (Bennewitz *et al*, 2006).

3.4. Criterios culturales

Por otra parte, las razas también pueden ser apreciadas por sus méritos culturales o históricos, ya que además de ser por sí mismas una propiedad cultural, a lo largo de los años han desempeñado un papel importante en el desarrollo de la vida agrícola y so-

cial de las poblaciones rurales contribuyendo a preservar sus tradiciones. Son éstos unos aspectos escasamente desarrollados en la literatura en lo que se refiere a la metodología que permite evaluarlos.

La contribución que han tenido las razas como testigos del devenir histórico de una comarca y el propio valor de la raza como custodia de tradiciones locales, son considerados por Gandini y Villa (2003) como criterios para establecer las prioridades de conservación, plantea una metodología basada en estos dos valores que es aplicada las razas bovinas Italianas, encontrando diferencias importantes entre ellas.

Para valorar en qué medida una raza ha sido a lo largo de los años testigo de la trayectoria histórica de una zona, este autor propone que se deberían considerar siete parámetros:

- Antigüedad de la raza en la zona
- Sistemas agrícolas de producción ligados a la raza (p.e. incluyendo técnicas de cría)
- Contribución al paisaje
- Papel en la gastronomía
- Papel en el folklore local y tradiciones religiosas (p.e. leyendas, locales, indumentarias, etc)
- Papel en la artesanía (p.e. carpintería y otros materiales)
- Presencia en formas de expresión artística (p.e. arte figurativo, poesía, prosa, etc)

Para determinar el valor de la raza como custodia o conservadora de tradiciones locales existentes, propone los cuatro parámetros siguientes:

- Papel en el mantenimiento del paisaje
- Papel en el mantenimiento de la gastronomía
- Papel en el mantenimiento del folklore
- Papel en el mantenimiento de artesanías

El papel en el mantenimiento del paisaje lo calcula a partir del porcentaje de ganaderías de la zona que cría la raza de manera tradicional. El resto de los aspectos son medidos de manera apreciativa, en función de las evidencias, según tres niveles “inexistente”, “limitado” y “notable”.

3.5. Criterios económicos y sociales

Las metodologías para la valoración económica de los RGAD pueden ser clasificadas en tres grupos según el propósito práctico que se persigue (Drucker *et al*, 2001):

La elección del criterio de priorización pasa por definir previamente los objetivos de la conservación que se persiguen. Si el objetivo es simplemente conservar la diversidad, el Potencial de Conservación (CPI), podría ser de gran eficacia. Pero para atender otros objetivos tales como la integración de las razas en programas de desarrollo rural o de gestión sostenible del territorio y de conservación de tradiciones culturales, se debe recurrir a otros parámetros.

- Las que determinan si los costes de los programas de conservación son considerados oportunos. Entre éstas destaca el Método de Valoración del Contingente (CVM) que relaciona, mediante cuestionarios, a los ganaderos la Voluntad para Pagar (WTP) y la Voluntad para Aceptar el Pago de la Conservación (WTA).
- Las que valoran la importancia económica actual de la raza. Requieren estimaciones econométricas que incorporan curvas de demanda y oferta, así como funciones de la evolución de los caracteres productivos de la raza y de los cambios en los consumidores y productores. Otra posibilidad de este grupo es el potencial valor que tienen las razas en Derechos de Propiedad Intelectual.
- Las metodologías empleadas para determinar la prioridad en los programas de cría. Se han empleado para evaluar los costes y beneficios de los programas de cría con razas mejoradas en base a la diferencia entre los beneficios del uso de una raza y los costes de las operaciones de producción (capital, trabajo, etc). Estos procedimientos dan lugar a simulaciones del reemplazo por razas de diferentes niveles productivos o por diferentes sistemas, logrando estimar la combinación que proporciona el máximo beneficio.

Estos sistemas no están exentos de dificultades y requieren modificaciones que los adapten a los modelos de producción de los países en vías de desarrollo. En esta línea, Tano *et al.* (2003) y Scarpa, (1999), realizaron aproximaciones sobre caracteres fenotípicos difíciles de valorar y que son interesantes en las razas autóctonas, tales como resistencia a enfermedades, capacidad de pastoreo o capacidad traccionadora. Consideran que los sistemas convencionales de cálculo de la productividad, son inadecuados para estos sistemas de subsistencia y desarrollan un modelo analítico capaz de agregar funciones de producción (física y socioeconómica) a los valores monetarios, independientemente de si los productos son eventualmente comercializables

Drucker y Scarpa (2003) consideran que las decisiones para la priorización de los RGAD requieren desarrollar técnicas capaces de atribuir valores a los gastos y beneficios de las funciones de producción de sistemas de tipo familiar, ya que la mayoría de estos recursos se encuentran en zonas donde predominan los sistemas de producción marginales y de subsistencia. En estos sistemas los análisis de los gastos son difíciles y constituyen un obstáculo para los estudios.

Pero, como se ha venido insistiendo, la cuestión es previamente identificar para qué se quiere conservar (definir el objetivo de la conservación), y no el valor económico del animal en sí. Si los animales son valiosos, será el propio mercado quien los preserve. Los esfuerzos de conservación deben centrarse en identificar y cuantificar el beneficio social potencial de los RGAD que fueron abandonados por el mercado. Es decir, se debe de considerar porqué la sociedad tendría que pagar por mantener unos RGAD que no prefiere.

Por otra parte, no hay que olvidar que las decisiones deben tomarse teniendo en cuenta las circunstancias particulares que concurren en cada raza y los objetivos que se pretendan alcanzar, ya que éstos son los que condicionan la modalidad de conservación a aplicar (Mendelsson, 2003 y Bennewitz *et al.* 2007). Por ejemplo, si el objetivo es estar preparados para afrontar un cambio futuro mediante la creación de una nueva raza, la cantidad de diversidad genética dentro de razas podría ser el criterio preferente, pero si el

objetivo es el mantenimiento de ecosistemas agrícolas singulares, entonces las características de adaptación al medio proporcionarían el lugar preferente.

Tal como indica Mendelsson (2003), los proyectos deben diseñarse teniendo en cuenta los deseos de la sociedad, y la definición de los objetivos es el paso previo a la cuantificación de los beneficios de la conservación.

3.6. Propuestas con criterios integrados

3.6.1. La solución formal al Arca de Noe

Conociendo la utilidad (U_k), la distintividad (D_k), el incremento deseado en la supervivencia (ΔP_k) y el coste (C_k) de cada raza k , Weitzman (1998) propone que las políticas sean radicales, de tal manera que cada raza pueda quedar asegurada de ser salvada de la extinción. La priorización debería de hacerse según el siguiente criterio:

$$R_k = (U_k + D_k)P_k / C_k$$

Para ver su efecto, se podrían considerar dos situaciones:

- Que el coste sea proporcional a la mejora de la posibilidad de supervivencia, entonces la fracción P_k/C_k es una constante y la priorización estará basada sólo en la utilidad y en la distintividad y, en algunos casos, la raza que más en peligro se encontrara, podría aparecer como la menos distintiva. Se debe optimizar para procurar que, independientemente de que la raza esté más o menos en peligro, se consiga su seguridad.
- Por otro lado, si C_k es igual para todas las razas, y si P_k toma su valor máximo, por ejemplo cuando hay razas que tienen igual probabilidad extinción (E_k), entonces la priorización cuyo objetivo sea optimizar la diversidad, estará basada en el producto $D_k E_k$, que es denominado Potencial de Conservación Óptimo. Este parámetro es considerado por Weitzman como el indicador más simple para ser empleado cuando hay ausencia de conocimientos específicos sobre los costes de la conservación. Se podrá aplicar cuando asumimos que la criopreservación es posible en todas las razas y al mismo coste.

En conservación *in vivo* es más difícil vincular los costes con las posibilidades de supervivencia. Se puede considerar la posibilidad de aplicar algoritmos interactivos para priorizar las razas en base a los costes de conservación, tal como lo hace Simianer (2005) con razas africanas.

Dada la dificultad para valorar los cuatro ingredientes necesarios con suficiente precisión, la ecuación planteada no es fácil de aplicar en el mundo real (Ollivier y Fouley, 2005), más aún cuando los criterios para definir el grado de peligro están continuamente cambiando.

3.6.2. El método del polarógrafo

Considerando que además de clasificar las razas en diferentes categorías, se deben diseñar métodos que permitan ordenarlas o priorizarlas, en aquellos casos en los que numerosas razas coincidan en una misma situación de riesgo, Rodero *et al.*, (1992 y 1994) determinaron el orden de prioridad de las razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción mediante el cálculo de un índice de prioridad (IP) que se estimaba a partir de las dimensiones de la superficie de los polígonos trazados sobre un polarógrafo cuyos ejes contenían las valoraciones obtenidas por cada raza para los aspectos de situación genética, censo y su tendencia, valores históricos y antigüedad, aspectos sociales y ecológicos, número de ganaderías, localización de las ganaderías e interés productivo. En las razas andaluzas en peligro de extinción, los IP oscilaban entre el valor de 73,1, obtenido por la raza caprina Payoya, al de 121,3 de la ovina Churra lebrijana. En la Figura 1 se expone, a modo de ejemplo, los resultados obtenidos mediante este método para las razas bovinas andaluzas.

3.6.3. Otras propuestas

Se han hecho otras propuestas como la de Ruane (2000) que ha utilizado un sistema de clasificación de razas noruegas basado en la conjunción de siete criterios: grado de peligro, caracteres de valor económico en la actualidad, valor paisajístico, caracteres de valor científico en la actualidad y ser única dentro de la especie (“unicidad”). Considera que el grado de peligro ha de ser el criterio más importante dado que el resto de caracteres poseen cierta incertidumbre sobre su potencial interés en el futuro, por lo que el principal objetivo ha de ser evitar la pérdida de las razas. No obstante, indican que el peso de cada uno de estos siete criterios tiene que ser determinado por un comité de expertos.

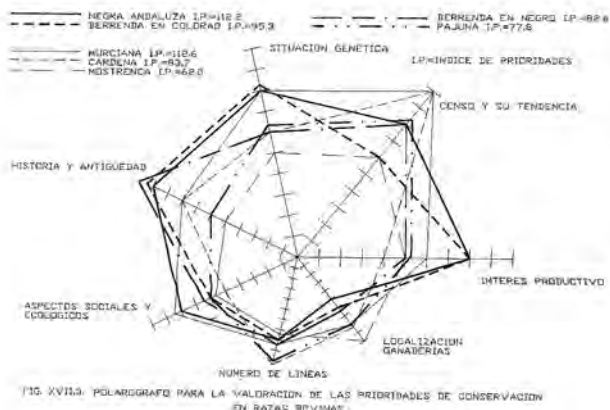


Figura 1. Estimación del Índice de Prioridad en las razas bovinas andaluzas según el método del polarógrafo

Hall (2004) estima que la priorización en la conservación de razas debe depender de la capacidad de distinción genética de la raza, así como de otros factores que deben ser combinados. Esta priorización se puede deducir si las razas se comparan unas con otras, contrastando la capacidad de distinción genética, con la capacidad de distinción funcional (en relación a las funciones económicas, sociales y culturales). Representa estos dos valores mediante sistema de ejes cruzados y aplica el método a 31 razas nativas británicas e irlandesas, sin resultados concluyentes. Indica que el grado de peligro estimado a través del censo debería de ser otro parámetro a añadir, mediante un tercer eje z, pero advierte de la influencia que la estructura de la raza puede tener sobre ese parámetro.

Queda claro que definir un sistema de clasificación de las razas según su estado de peligro es algo complejo y que depende de factores de diferente tipo y que se manifiestan de distinta manera según la especie. Por ello, se hace necesario que se llegue a un acuerdo que uniformice el conjunto de sistemas y nomenclatura propuestos por los distintos organismos, y ello pasa por decidir previamente en qué contexto tiene que emitirse esta propuesta integradora.

4. EL ESTADO DE RIESGO DE LAS RAZAS VACUNAS AUTÓCTONAS DE ANDALUCÍA

Los criterios que hemos señalado se han aplicado a las razas autóctonas de Andalucía de la especie bovina. Para ello, se han tenido en cuenta las razas Berrenda en Negro, Berrenda en Colorado, Pajuna, Cárdena y Negra Andaluza de las Campiñas. Son, todas ellas, razas que han sido clasificadas oficialmente como razas autóctonas minoritarias y, por lo tanto, se encuentran bajo determinadas y diferenciadas situaciones que exigen medidas de conservación.

Sus características están incluidas en el Banco de datos de la FAO (DAD-IS), si bien en este trabajo se han actualizado, completado y precisado. La información procedente de las respectivas asociaciones de ganaderos, así como la generada a partir de los proyectos RZ-00-017, RZ-02-007 y RZ-04-00013 financiados por el INIA han sido determinantes para lograr datos sobre algunos de los criterios que se consideran en este trabajo, así como la correspondiente caracterización genética por marcadores de ADN (Rodero *et al*, 2005) y fenotípica (Rodero *et al*, 2002).

Aunque los sistemas de explotación de estos animales suelen ser parecidos, los usos o producciones se diferencian netamente entre unas razas y otras. Así, aunque en todos los casos se trata de razas bovinas rústicas y con formato ambiental que durante años fueron empleadas como motor animal, luego, tras la mecanización del agro, constituyeron la base del sistema de producción de carne extensiva, mediante el empleo de estas razas como madres para ofrecer al mercado los terneros F1 procedentes del cruce con sementales de razas estandarizadas (Charolaise y Limousine).

Además, las razas Berrenda en Negro y Berrenda en Colorado, se utilizan paralelamente para producir bueyes que son empleados en las faenas de manejo del ganado de Lidia, tanto en el ruedo como en el campo. Algunos de estos bueyes son también adiestrados para el tiro de las engalanadas carretas que adornan nuestras “Romerías”.

La información de cada una de las razas bovinas en peligro de extinción de Andalu-

cía para cada uno de los criterios considerados en este trabajo, se exponen en la Tabla 8.

Como se ha indicado, se pueden apreciar situaciones muy distintas entre las razas para la mayor parte de los criterios, lo que está condicionado especialmente por el tamaño censal de cada una.

Los porcentajes de consanguinidad esperados dentro de 10 generaciones no parecen muy alarmantes, pero éstos se han estimado suponiendo reproducción al azar entre toda la población. En realidad son muy pocos los casos en los que se practican intercambio de reproductores entre ganaderías, por lo que si consideramos como modelo de explotación aquella que consta de 50 hembras reproductoras y 2 machos, la consanguinidad esperada en 10 generaciones alcanza un nivel del 48,9%, muy próximo al 50% que se plantea como crítico. Por lo tanto, resulta imprescindible planificar un esquema de reproducción inter-ganaderías.

Dos razas pudieran alcanzar un mismo estado de riesgo, pero las circunstancias que han llevado a cada una de ellas a esa situación han podido ser diferentes. Las medidas de conservación a desarrollar han de corresponderse con su verdadero estatus.

A partir de los resultados expuestos en la Tabla 8, procede determinar la situación de peligro en que se encuentra cada raza, para ello se ha recurrido al método propuesto por la SEZ (2001). De esta forma en la Figura 2. La aplicación de esta sistemática a cada una de las razas bovinas andaluzas consideradas en peligro de extinción, coloca a las razas Berrenda en Negro y Berrenda en Colorado en el nivel de Escasa, y a las razas Negra de las Campiñas y Pajuna en situación Crítica. También está en situación Crítica la raza Cárdena, si bien ésta alcanza este estatus por diferente vía que las anteriores, por lo que los factores sobre los que hay que incidir para su conservación pasan por distintas medidas.

Tabla 8. Características de las razas bovinas andaluzas en peligro de extinción según los criterios empleados para la determinación del estado de riesgo.

Raza	Nf	Nm	Ng	Ne	%F10	TC	Asociación de ganaderos	pureza >80%	LG	PC
Berrenda en Negro	1222	73	68	275,5	1,7	descendente	SI	NO	ET	NO
Berrenda en Colorado	1461	81	78	306,9	1,6	descendente	SI	NO	ET	NO
Pajuna	790	10	50	39,5	11,9	descendente	SI	NO	ET	SI
Cárdena	515	5	5	19,8	22,5	descendente	SI	NO	ET	SI
Negra Andaluza de las Campiñas	400	8	10	31,4	14,8	descendente	SI	NO	ET	NO

Nf=número de hembras; Nm= número de machos; Ng= número de ganaderías; Ne= tamaño efectivo; %F10= porcentaje de consanguinidad esperada tras 10 generaciones;

TC= tendencia del censo; AG= Existencia de asociación de ganaderos; LG= existencia de libro genealógico (ET= en trámite); PC= Existencia de programa de conservación.

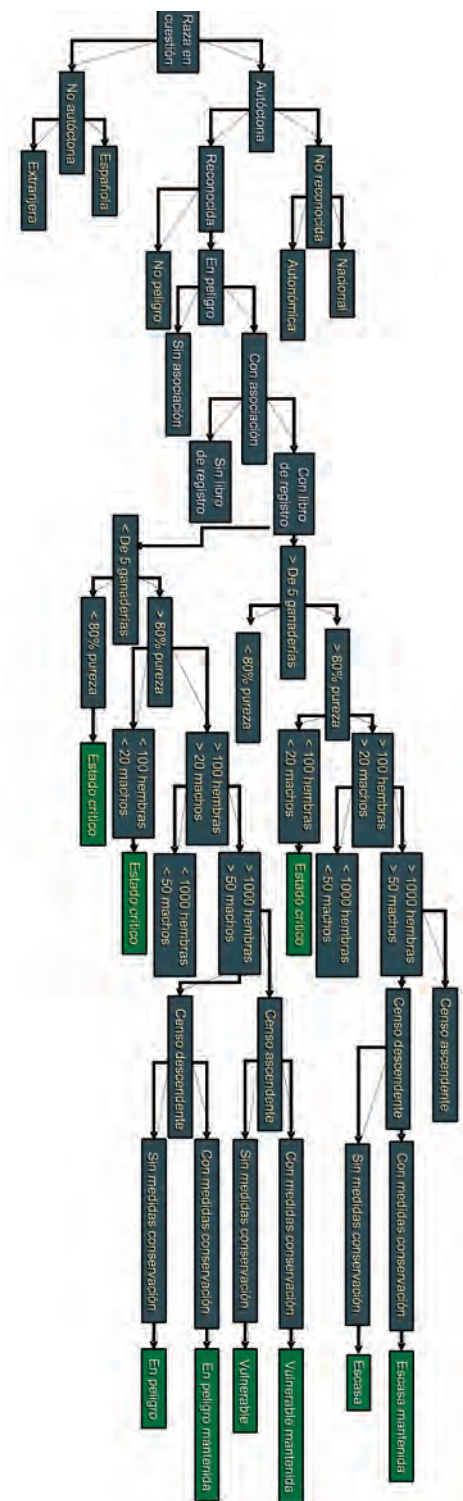


Figura 2. Procedimiento para la determinación del estado de riesgo en las razas bovinas andaluzas.

BIBLIOGRAFÍA

- Alderson, L. (1992). A system to maximise the maintenance of genetic variability in small populations. En: Alderson & I. Bodo (Eds) Genetic Conservation of Domestic Livestock Vol. 2. CABI. Wallingford: 18-19
- Alderson, L. (1978). The chance to survive. AH. Jolly (Editorial). pp. 142
- Alderson, L. (1994). The Chance to Survive. Pilkington Press Ltd. Yelvertoft.
- Alderson, L. (2003). Criteria for the recognition and prioritisation of breeds of special genetic importance. AGRI. FAO No. 33:1-10
- Avon, L. (1992). Survey about small breeds of cattle sheep and goats. Département Génétique et Contrôle des performances, Paris. France
- Bennewitz, J. and Meuwissen, T.H.E. (2006). Breed conservation priorities derived from contributions to the total future genetic variance. Proceeding 8th World Congress on Genetic Applied to Livestock Production. CD Rom Communication No. 33-06
- Bennewitz, J.; Eding, H.; Ruane, J.; Simianer, H. (2007). Selection of breeds for conservation. En: Utilisation and conservation of farm animal genetics resources. Oldenbroeck (Ed.). Wageningen. Netherlands. 131-146
- Bennewitz, J. Kantanen, J.; Tapio, I.; Li, M.H.; Kalm, E.; Vilkki, J.; Ammosov, I.; Ivanova, Z.; Kiselyova, T.; Popov, R. and Meuwissen, T.H.E. (2006). Estimation of breed contributions to present and future genetic diversity of 44 North Eurasian cattle breeds using core set diversity measures. Genetic Selections Evolution 38: 201-220.
- Bijma, P. van Arendonk, J.A.M. and Woolliams, J.K. (2000). A general procedure to predict rates of inbreeding in populations undergoing mass selection. Genetics. 154: 1865-1877
- Brito, A.N. (2002). Contribuição para o estudo de algumas raças bovinas autóctonas do noroeste de Portugal. análise do sistema productivo e caracterização biométrica, productiva, genética das raças bovinas Arouquesa, Barrosã e Cachena: perspectivas e evolução. Tesis Doctoral. Universidad de Trás-os-Montes e Alto Douro. Vila Real. Portugal.
- Caballero, A. and Toro, M.A. (2002). Analysis of genetic diversity for the management of conserved subdivided populations. Conservation Genetic. 3: 289-299. CBD (1992)
- Christman, C.J.; Sponenberg, D.P. and Bixby, D.E. (1997). A Rare Breeds Album of American Livestock. ALBC, Pittsboro.
- Derban, S.; Foulley, J. and Ollivier, L. (2002). WEITZPRO: a software for analysing genetic diversity. INRA. Paris. (<http://www-sga.jouy.inra.fr/diffusions.htm>)

- DGFZ (1991). Ausschub der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde zur Erhaltung genetischer Vielfalt bei Land wirtschaflichen Nutztieren. Empfehlungen zur Erhaltung genetischer Vielfalt bei einheimiscehn Nutztieren. Züchtunskunde 63, (6): 426-430.
- Drucker, A.G.; Gómez, V. and Anderson, S. (2001). The economic valuation of farm animal genetic resources.a survey of available methods. Ecological Economics. 36: 1-18
- Drucker, A. G. and Scarpa, R. (2003). Introduction and overview to the Special Issue on animal genetic resources. Ecological Economics 45:315-317
- EAAP (1998). Assessment of the degree of endangerment of livestock breeds. Working Group of Animal Genetic Rsources, 49th Annual Meeting European Association of Animal Production. Warsaw.
- EAAP (2001)/2. A proposal of EAAP for selection criteria in the rural development measures of EC regulation 1257/99 and 1750/99
- Eding, J. H. and Laval, G. (1998). Mearsuring genetic uniqueness in Livestock. En: Genebank and the Conservation of farm animal genetic resources. Oldenbroek, J.K. ed. Netherlands: 33-58
- FAO (1992). Animal Genetic Resources Information FAO. Animal Production and Healt paper 10.
- FAO (1998). Primary guidelines for development of national farm animal genetics resources management plans. FAO. Rome. Italy
- FAO (2001). Segundo Documento de Líneas Directrices para la Elaboración de Planes Nacionales de Gestión de los Recursos Genéticos de Animales de Granja. Gestión de pequeñas poblaciones en peligro. FAO. Roma. Italia
- FAO (2006). Protección de la diversidad Zoogenética para la agricultura y la alimentación. Tiempo de actuar. FAO. Roma. Italia
- Fedlmann, A. (2005). *in situ* conservation: requirements for long-term conservation policy and conservation measures. International Workshop "Option and Strategies for the Conservation of Farm Animal Genetics Resources". AGROPOLIS. Montpellier. France.: 104-107
- Gandini; G.C. and Villa, E. (2003). Analysis of the cultural value of loal livestock breeds: a methodology. Jornal of Animal Breeding and Genetics. 120: 1-11
- Gandini, G.C., Ollivier, L.; Danell, B.; Distl, O.; Georgudis, A.; Groenelved, E.; Martiniuk, E. van Arendonk, J.; and Woolliams, J. (2005). Criteria to assess the degree of endangerment of livestock breeds in europe. Livestock Production science 91: 173-182

- Hall, S. (2004). Conserving animal genetic resources: making priority lists British and Irish livestock breeds. En: Farm Animal Genetic Resources. Nottingham University Press, England: 311-320
- Hanotte, O.; Toll, J.; Iñiguez, L. and Rege, E. (2005). Farm animal genetic resources: why and what do we need to conserve. International Workshop "Option and Strategies for the Conservation of Farm Animal Genetics Resources". AGROPOLIS. Montpellier. France.: 11-14
- Maijala, K.; Cherekaev, A.V.; Devillard, J. M.; Reklewski, Z.; Rognoni, G.; Simon D.L and Steane D. (1984). Conservation of animal genetic resources in Europe. Final report of EAAP Working Party. Livestock. Production Science. 11:3-22
- Mendelsohn, R. (2003). The challenge of conserving indigenous domesticated animals. Ecological Economics. 45:501-510
- Meuwissen, T.H.E. (1997). Maximising the response of selection with a predefined rate of inbreeding. Journal of Animal Science, 75: 934-940
- Meuwissen, T.H.E. and Luo, Z. (1992). Computing inbreeding coefficients in large populations. Genetics, Selection and Evolution, 24:305-313.
- Nei, M. (1978). Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. Genetics, 583-592.
- Ollivier, L. and Fouley, J.L. (2005). Aggregate diversity: New approach combining within and between-breed genetic diversity. Livestock Production Science. 95: 247-254
- Ollivier, L.; Alderson, L.; Gandini, G.C. *et al* (2005). An assessment of the European pig diversity using molecular markers: partitioning of diversity among breeds. Conservation Genetic 6 (5): 729-741
- RBST (1997) Priority List. The Ark 25, 1.
- Reist-Marti, S.B.; Simianer, H; Gibson, J.; Hanotte, O. Y Rege, JEO. (2003). Weitzman's approach and conservation of breed diversity: an application to African cattle breeds. Conservation Biology, 17:299-301.
- Rodero, E.; Camacho, M. E.; Delgado, J. V. y A. Rodero (1992). Study of the Andalusian Minor breeds: Evaluation of the Priorities of conservation. Animal Genetic Resources Information. FAO. Vol 10:41-52.
- Rodero, E.; Delgado, J.; Rodero, A. y Camacho, M.E. (1994). Conservación de razas autóctonas andaluzas en peligro de extinción. Serie Monografías nº 11. Ed. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

- Rodero, E.; y Herrera, M. (2000). El concepto de raza. Un enfoque epistemológico. Archivos de Zootecnia. 49:5-16
- Rodero, E.; Herrera, M. Martínez, A., Molina, A.; Martínez, M., Peña, F., Fernández, C. y Luque, M. (2002). Avance de los estudios para la conservación de las razas Berrenda en Colorado y Berrenda en Negro. El Arca nº5, Vol 1. Serv. Publica. Universidad. de Córdoba. España
- Rodero, E.; Herrera, M.; Molina, A.; Valera, M.; Peña, F.; Sepúlveda, N.; Fernández, C. y Luque, M. (2002). Determinación de la situación de riesgo en las razas bovinas autóctonas andaluzas según varios criterios. V Congreso Nacional y III Ibérico de las sociedades española y portuguesa SERGA y SPREGA. Madrid. España.
- Rodero, E., Azor, P.J., Luque, M., Molina, A., Herrera, M., Valera, M. y Rodero, A. (2005). Genetic ships betwen of Andalusian bovine local breeds in danger of extinction from polymorphism microsatellites of DNA. World Meeting of the EAAP. Uppsala. Suiza.
- Ruane, J. (2000). A Framework for Prioritizing Domestic Animal Breeds for Conservation Purposes at the National Level: a Norwegian Case Study. Conservation Biology, 14 : 1385-1393.
- SanPrimitivo, F. (2002). Criterios genéticos para la definición de poblaciones animales. V Congreso de la Sociedad Española para los Recursos Genéticos Animales. Madrid: 49-54
- Scarpa, R. (1999). Revelated preference valuation methods for farm animal genetic material: principles, strengths and weaknesses. Valuation of Animal genetic resources-An ILRI-FAO plannig workshop. FAO. Rome
- Scherft, B.D. (Ed), (1995). World Watch List for Domestic Animal Diversity, 2nd edition. FAO. Rome. Italy
- Scherft, B.D. (Ed), (2000). World Watch List for Domestic Animal Diversity, 3rd edition. FAO. Rome. Italy
- Scherft, B.D., Richkowsky, B. and Hoffmann, I. (2005). Status of the farm animal genetic resources conservation. – Time for actioons'. International consultation on Options and Strategies for the conservation of FAnGR. Workshop Documentation. AGROPOLIS. Montpellier. France
- SEZ (2001). Sociedad española de Zooetnología. Procedimiento normalizado de trabajo para el reconocimiento y catalogación de razas ganaderas. Departamento de Producción Animal, Facultad de Veterinaria.
- Simianer, H. (2005). Decision nmaking in livestock conservation. Ecological Economics. 54:559-572.

- Simianer, H., Marti, S.B.; Gibson, J., Hanotte, O. and Rege, J.E.O. (2003). An approach to the optimal allocation of conservation funds to minimize loss of genetic diversity between livestock breeds. *Ecological Economics*. 45: 337-392
- Simon, D. L. and Buchenauer, D. (1993). Genetic diversity of European livestock breeds. EAAP Publication No. 66
- Tano, K.; Faminow, M.; Kamuanga, M. and Swallow, B. (2003). Using conjoint analysis to estimate farmers' preferences for cattle traits in West Africa. *Ecological Economics*. 45: 393-407
- Thaon d'Arnoldi, C.; Foulley, C.J.-L. and Ollivier, L. (1998). An overview of the Weitzman approach to diversity. *Genetic Selection Evolution*. 30:149-161
- Vigil, E. (2002). Criterios FAO vs realidad europea. V Congreso de la Sociedad Española para los Recursos Genéticos Animales. Madrid. 145-163
- Weitzman, M.L. (1993). What to preserve? An application of diversity theory to crane conservation. *The Quarterly Journal of Economics* CVII: 157-183
- Weitzman, M.L. (1998). The Noah's ark problem. *Econometrica*. 66: 1279-1298.
- Woollians, J. (2004). Managing population at risk. In: *Farm Animal Genetic Resources*. Nottingham University Press, England: 85-106.
- Wray, N.R. and Thompson, R. (1990). Advances in selection theory. *World Congress of Genetic Applied. Livestock Production*. 13: 167-176.
- Wright, D.S. (1931). Evolution in Mendelian populations. *Genetics*. 16, 97-159.

EL FUTURO DE LAS RAZAS GANADERAS DE ANDALUCÍA



CAPÍTULO 10

BÚSQUEDA DE NUEVAS POSIBILIDADES PARA LAS RAZAS ANDÁLUZAS. IMPLICACIÓN CON LAS MANIFESTACIONES CULTURALES, LA ARTESANÍA, LAS TRADICIONES POPULARES, PRODUCTOS DE CALIDAD, TURISMO RURAL, ETC.

A. Luque¹, J.L. Muñoz², y J. Terroba³

1 Asociación de Criadores de Ganado Vacuno de Raza Pajuna , c/ Fray Luis de Granada, 6, 14008 Córdoba;

2 Oficina Comarcal Agraria de Ronda;

3 Centro Agroambiental "Algaba de Ronda".

1. INTRODUCCIÓN

Entre las distintas razones para la conservación de las razas andaluzas, están las de tipo cultural en las que la sustitución de nuestros animales por los de razas foráneas supondría una mutilación de nuestras costumbres. La unión entre costumbre y raza autóctona es indisoluble, y esto debería ser motivo suficiente para justificar su conservación. Ahora bien, desde un punto de vista pragmático, no debemos olvidar que las razas domésticas tienen un componente antropológico, y que en su formación siempre se ha buscado un fin, la mayoría de las veces lucrativo.

Las razas autóctonas están ligadas a numerosas manifestaciones culturales, siendo en sí mismas un reflejo vivo de la historia del hombre.

Hasta la década de los sesenta del pasado siglo, la adaptación de cada raza a su entorno hacía de esta la mejor transformadora de los recursos que tenía a su alcance, siendo resultado de una selección a veces natural, a veces artificial, que hacía innecesario preocuparse por su estado de vulnerabilidad. Los principales peligros que acechan a la conservación de nuestras razas, se han ido incrementando a medida que crecía el fenómeno de la Globalización

A medida que se iban implantando programas de selección en distintas razas, y era cada vez más accesible la adquisición de reproductores o germoplasma, los ganaderos, frecuentemente con ayuda de la propia Administración, iban sustituyendo sus razas autóctonas por otras más selectas que aparentemente les ayudaban a incrementar sus ingresos. De hecho, la FAO estima que los sistemas de producción animal industriales crecen al doble de la velocidad que los sistemas tradicionales mixtos, y seis veces más rápidamente que los sistemas de pastoreo extensivo.

Esta situación lleva a que la mayor parte de la producción animal mundial provenga de un número muy limitado de especies y razas. Ejemplos de esto son, en la producción láctea, el empleo casi exclusivo de la raza Frisona en todo el mundo, o en la de huevos, la Leghorn.

La intensificación de la producción ganadera, la desaparición de su hábitat y las modificaciones de los hábitos alimenticios humanos han determinado la sustitución de las razas tradicionales por un número muy escaso de razas selectas.

Dentro del amplio abanico de iniciativas conservacionistas (“in situ”) de razas de ganado doméstico, podemos establecer dos extremos; en uno de ellos estaría la conservación por parte de la Administración de la raza en su estado más puro, que puede conservar los animales de forma estática, con idénticas características a las que tenían antaño, y en el otro extremo, estaría la conservación de las razas de una forma dinámica, en la que la raza sigue siendo propiedad del ganadero independientemente de ayudas puntuales que pueda recibir, y que, como empresario, debe buscarle una utilidad, si quiere que ésta no desaparezca en caso de que la Administración decidiera retirar su apoyo.

Si el ganadero consigue, que a pesar de la competencia Global de las producciones pecuarias, sus producciones tengan hueco en el Mercado, la conservación de la raza estará “casi” asegurada.

Para que las producciones procedentes de la ganadería andaluza puedan comercializarse de forma competitiva, deben buscarse nuevas posibilidades y diferenciarse.

2. ANÁLISIS DEL ENTORNO

No puede hablarse de producciones ganaderas en Andalucía sin hacer mención expresa a la Política Agraria Comunitaria, la PAC, que es un pilar básico en la construcción de la Unión Europea, siendo la Agricultura y la Ganadería un Sector Estratégico de cualquier Estado, pues la alimentación de sus ciudadanos es primordial, y el autoabastecimiento de los alimentos es un principio básico de la Unión Europea, al menos en productos de primera necesidad.

Haciendo una breve reseña histórica de la PAC, se percibe que nuestra agricultura es costosa en términos presupuestarios, conflictiva en relaciones internacionales y perniciosa en términos medioambientales, principalmente por:

1. Paso de una agricultura de autoabastecimiento a excedentaria.
2. Los excedentes se deben a las producciones intensivas
3. No frena la despoblación rural.
4. La CEE se convirtió en una gran exportadora de productos agrarios y se percibe cierta deslealtad en los mercados internacionales.
5. Hay desequilibrios internos en las rentas y subvenciones percibidas por los agricultores de la propia UE.
6. Las ayudas directas a la producción han motivado la intensificación de las producciones y la contaminación de las comarcas agrícolas. Un ejemplo de ello ha sido la ayuda al aceite de oliva, que, durante años, “ha premiado” a los agricultores que más fitosanitarios han usado.

Por lo que en el año 1992, en el informe MC Sharry, la Comisión propuso una reforma de la PAC, en la que se intentaba restablecer los principios inspiradores, haciendo especial hincapié en:

1. Mantener la unidad de mercado, preferencia comunitaria y solidaridad financiera.
2. Restablecer equilibrios de mercados, ajustando la producción agraria a la demanda del mercado.
3. Reducción de la política proteccionista del mercado.
4. Reformas de las OCMs.
5. Sostenimiento de precios por ayudas directas.
6. Integración de Alemania unificada y PECO.
7. Implantación de las Medidas Horizontales de acompañamiento que pretendían hacer del agricultor y ganadero, gestores del medio ambiente y medio rural, mediante:
 - a) Mejorar el Medio Ambiente.
 - b) Conservación de los Espacios Naturales.
 - c) Mejora de la viabilidad de la explotación.

Para ello se instauraron una serie de ayudas agroambientales, recogidas en el Real Decreto 51/1995, de 20 de enero, y reguladas por una batería de órdenes posteriores en cada C.A. Con ello se consiguió firmar los acuerdos que pusieron fin a la Ronda de Uruguay del GATT, pero se instauró un modelo de ayudas desligadas de la producción que desmotivan y propician la aparición de productores “cazaprimas”, no necesariamente ligados al medio rural.

La actual orientación de la PAC (Política Agraria Comunitaria) tiene como ejes prioritarios:

- La mejora del medioambiente.
- La conservación de los espacios Naturales.
- La mejora de la viabilidad de la explotación, diversificando las fuentes de ingresos.
- Garantizar la seguridad y la calidad de los alimentos ante los consumidores.
- Fomentar la ganadería sostenible y el bienestar animal.

En esta nueva situación, las razas autóctonas deben recuperar todo el protagonismo perdido.

Posteriormente, con la Agenda 2000 se persigue:

1. Establecer las orientaciones a seguir para la integración de los PECO.
2. Reestructurar los fondos comunitarios.
3. Profundizar en la reforma de 1992 para:

- a) Aumentar la competitividad en beneficio de los productos en el mercado mundial.
- b) Crear puestos de trabajo alternativos y diversificar fuentes de ingresos.
- c) Simplificar la Normativa comunitaria.
- d) Asegurar una renta adecuada a los agricultores.
- e) Garantizar la seguridad y la calidad de los alimentos ante los consumidores.
- f) Integrar los objetivos medioambientales en la PAC.
- g) Fomentar la agricultura y ganaderías sostenibles.

En repetidas ocasiones la UE ha manifestado su intención de crear un estado unido, fuerte y solidario con las zonas más desfavorecidas, interesado en el Medio Ambiente y no dependiente del exterior en los sectores estratégicos. En este sentido, la agricultura y la ganadería cumplen funciones como las del autoabastecimiento de alimentos de primera necesidad, mantenimiento del paisaje rural, economía y sociedad. Hay que recordar que a pesar del fuerte descenso experimentado en la población activa en el sector primario, en la actualidad es del 5% (unos diez millones de empleos directos).

Finalmente la reforma a medio camino o reforma intermedia de la PAC, aprobada el 26 de junio de 2003, presentaba como claves:

1. La introducción del desacoplamiento en las ayudas a la producción.
2. Mecanismos de disciplina financiera que garanticen el presupuesto agrario hasta el 2013.
3. Revisión de la PAC a través de las OCMs.
4. Modulación de las ayudas agrarias.
5. Reforzar el desarrollo rural.
6. Incentivar la calidad.
7. Legislar en materia de medio ambiente, salubridad de los alimentos, sanidad animal y vegetal y bienestar animal.
8. Condicionalidad.

A la vista de las sucesivas reformas acometidas, se puede deducir que la UE desea que el campo, al igual que otros sectores, esté estructurado por empresarios familiares, capaces de generar riqueza, empleo y vivir dignamente en el entorno rural, aprovechando

sus recursos y manteniendo el paisaje. No desea empresarios cuya principal actividad no sea la agrícola y ganadera, prueba de ello es la modulación, con topes máximos a las ayudas, para evitar que se beneficien de ellas agentes ajenos al sector y que ven aquí una diversificación o que tiendan a especular. Tampoco le interesan los empresarios agrícolas cuyas rentas sean insuficientes para mantener una calidad de vida digna, pues suelen ser poco competitivos, tendentes a la atomización del sector y a buscar otra actividad para complementar sus ingresos, quedando la actividad agrícola relegada a segunda actividad o actividad marginal.

Hay que resaltar también el interés mostrado por la UE en la búsqueda de nuevas fuentes de ingresos, sin duda ante la amenaza de la apertura inminente de los mercados internacionales, en los que la producción de alimentos, principal producto de la ganadería, hará bajar los precios de los productos no diferenciados a niveles que harán peligrar la rentabilidad de las explotaciones.

3. SITUACIÓN DE NUESTRAS RAZAS

Andalucía puede presumir de un envidiable abanico de razas domésticas, perfectamente adaptadas a su gran variedad de condiciones edafoclimáticas. Sin embargo, a pesar de que las razas autóctonas son las mejor adaptadas a su entorno, las cualidades que las hacen fuertes, como adaptación al terreno y clima, aprovechamiento del terreno, resistencia a enfermedades y rusticidad en general, pueden ser insuficientes a corto y medio plazo para competir, conforme se vayan abriendo los mercados, y con razas extranjeras que se han ido implantando paulatinamente, y que hoy por hoy comparten habitats y están perfectamente adaptadas.

Se han organizado Asociaciones de Criadores de las razas andaluzas, y se han ido preparando para hacer frente a las nuevas amenazas. Así las razas de fomento principalmente, como la Retinta en vacuno, Merino o Segureño en ovino, Malagueña, Murciano-Granadina y Florida en caprino, cerdo Ibérico y caballo Andaluz, tienen implantados sus respectivos Esquemas de Selección desde hace años, con notable éxito; en cambio, el resto de razas, no sólo no tienen Esquema de Selección, sino que en su estado, es impensable pensar en ello, conformándose con la implantación de Planes de Conservación en el mejor de los casos, y la raza bovina Cárdena Andaluza, aún está en fase de organización de la Asociación de Criadores para la llevanza y gestión del Libro Genealógico.

Andalucía puede presumir de un envidiable abanico de razas autóctonas perfectamente adaptadas a una gran variedad de condiciones agroclimáticas. No obstante, en las actuales condiciones de mercado muchas de ellas no son económicamente competitivas

Pero aun las razas de fomento con Esquema de Selección implantado, con objetivos claros y concisos, y con procedimientos ampliamente documentados, no deben dejar de buscar nuevas posibilidades, pues la innovación constante, es una de las claves para lograr ventajas competitivas.

Las razas en Peligro de Extinción, tienen como prioridad lograr los objetivos de su Plan de Conservación, o implantarlo en el caso de no poseerlo aún, pero esto no es incompatible con la innovación o búsqueda de nuevas posibilidades, pues como hemos apuntado anteriormente, la supervivencia a largo plazo de una raza no debe depender de ayudas puntuales de la Administración o mecenas, sino que debe ser capaz de ofrecer un producto demandado por el mercado, y que este asegure una renta digna al productor que le permita conseguir los objetivos de la PAC.

En este sentido, la PAC es clara cuando incita a la búsqueda de nuevas fuentes de ingresos, ya que siendo la producción de alimentos el producto “estrella” de nuestra ganadería, está bien situada para ofrecer otros productos distintos a los que no pueden acceder de momento razas extranjeras o españolas no autóctonas o que no han contemplado los Esquemas de Selección ya implantados.

A pesar del desacoplamiento de las ayudas de la PAC, hay un nivel mínimo de buenas prácticas ganaderas que se denomina condicionalidad, que no es un hecho diferencial entre la crianza de razas de ganado autóctonas y extranjeras, pero que si es más fácil de cumplir para nuestras razas.

En la actualidad, no se puede pensar en ninguna actividad ganadera sin tener presente al menos el respeto al medio ambiente, el bienestar animal, la sostenibilidad del sistema productivo, y en el caso de productos alimenticios, la calidad de los alimentos y seguridad de los consumidores, siendo estas las fortalezas que pueden emplear nuestras razas para las nuevas oportunidades que se presentan.



Foto 1. Vaca de raza andaluza en peligro de extinción: Pajuna.

4. NUEVAS OPORTUNIDADES PARA LAS RAZAS ANDALUZAS

A continuación concretamos algunas de estas nuevas oportunidades para las razas andaluzas:

4.1. Producción ecológica.

Las razas autóctonas andaluzas, y de forma especial las razas en peligro de extinción, están localizadas en zonas marginales de pastos pobres, debido a que los pastos de mejor calidad, son aprovechados por razas selectas. Esta situación, es una desventaja más que hace que no puedan competir en producción extensiva convencional con las demás razas, sin embargo, la adaptación a estas zonas de alto valor biológico, puede ser un aliciente en sistemas de producción no convencionales, por ejemplo la producción ecológica.

Las razas autóctonas, por su adaptación a los sistemas extensivos ligados al medio, son ideales para la producción ecológica, reforzando su papel en la producción de calidad, salubridad y protección del medio.

El Reglamento (CEE) 2092/91 del Consejo sobre la producción agrícola ecológica, permite que cualquier raza, aunque no sea autóctona, pueda acogerse al sistema de producción ecológica. Al margen de la legislación actual que distingue entre productos ecológicos y no ecológicos, la producción con razas autóctonas dentro de este sistema de producción, tiene un valor añadido, que no lo tienen las otras razas, pues cumple en mayor medida con otros criterios reconocidos internacionalmente, relacionados con la ecología, bienestar animal, respeto al medio ambiente, etc. Estos criterios pueden ser valorados como lo hacen los grados de libertad de Webster, maap, etc.

En cualquier caso, el desarrollo de las razas autóctonas en condiciones ecológicas persigue la obtención de productos de calidad y la práctica de los sistemas productivos bajo condiciones menos intensivas (Upon, 1997), más respetuosos con el medio y que aseguren la sustentabilidad del sistema, favoreciendo el mantenimiento de la población en las zonas rurales menos desarrolladas (Brown, 1998). La utilización de estas razas es imprescindible si queremos conservar usos tradicionales en la gestión del territorio, la fauna, flora y ecosistemas más valiosos de la Península Ibérica (De Miguel, 1997) y esto sólo se puede garantizar desde la producción tradicional y ecológica.

No obstante, la verdadera recuperación de una raza presenta pocas posibilidades de éxito a largo plazo si no se rompe la dinámica socioeconómica que ha llevado a la situación actual. Se debe por tanto favorecer las investigaciones que estén dentro de un plan de promoción viable de la raza a través de la puesta en marcha de ideas innovadoras, capaces de competir con garantías de futuro, favoreciendo las producciones familiares de productos artesanales de calidad frente al modelo de explotaciones altamente productivas, con producciones altamente industrializadas.

Es esencial la promoción de productos de calidad de nuestras razas autóctonas frente al modelo industrial del resto.



Foto 2. La producción ecológica es un sistema de producción en auge en el que las razas autóctonas tienen un papel relevante.

4.2. Granjas-parques.

Hoy día el concepto de zoológico ha evolucionado muy favorablemente y se ha desechado de la carga negativa que implicaba la mera muestra como atracción de animales enjaulados, para pasar a entenderse más como un lugar integrado donde cada animal tiene su lugar apropiado y su función. Muy relacionados con estos han surgido unas estructuras productivas mixtas conocidas como granjas-parque o granjas-demostración, poco conocidas aún en nuestro país.

Las granjas-parque cumplen con tres funciones principalmente, que son, la oferta de turismo rural, la conservación de razas en peligro de extinción “ex situ” y la sensibilización y recreo del público en general.

La población rural es cada vez menor, y dentro de ésta, la ligada a la agricultura y ganadería aún menor, a pesar de los esfuerzos de la UE a través de la PAC. Sin embargo, cada vez somos más conscientes de la necesidad de aprovechar los recursos naturales de forma responsable, como se ha hecho de forma tradicional, con un legado cultural que junto con algunas razas autóctonas están en peligro de extinción.

Una forma de conservar este legado, y difundirlo de una forma dinámica y capaz de implicar a un sector de la población más amplio, es a través de las granjas-parque.



Foto 3. Las prácticas ganaderas tradicionales pueden ser enseñadas en granjas-parques como parte de nuestro patrimonio cultural.

Uno de los principales problemas de las razas autóctonas de animales domésticos, en relación, por ejemplo, de sus hermanas salvajes, es su desconocimiento por parte del público, ya que no suelen estar presentes en los medios de comunicación masivos, resultando en la mayoría de los casos unas perfectas desconocidas y cuando leemos o escuchamos los términos “peligro de extinción”, “raza amenazada” u otros similares, automáticamente los asociamos a los animales de vida salvaje.

Si nos cuestionamos el porqué de esta sensibilización, la explicación que cabe, pasa por la labor que sobre nosotros han realizado los diversos medios de comunicación acercándonos a lugares y parajes exóticos, así como al conocimiento de primera mano que de estos animales nos han aportado los zoológicos.

Las granjas parque deben asegurarse que los animales estén en un ambiente apropiado y fiel al medio natural que le es propio a su raza, con condiciones satisfactorias, que contribuyan a los programas de conservación genética y que las instalaciones son buenas para el bienestar y la seguridad de los animales y de los visitantes.

Actividades tales como sesiones de ordeño, trabajo con perros pastores, distribución de alimentos, parideras, sesiones educativas de acercamiento de animales y niños, sesiones de equitación, etc., son ofrecidas en estos centros.

Un ejemplo digno de mención, es el centro de Educación Ambiental “La Algaba de Ronda”, ubicado en una finca a 4 km de Ronda (Málaga), de 150 Has de monte mediterráneo perfectamente conservado y en el que se puede disfrutar de su variedad biológica que incluye numerosas especies de flora y fauna silvestre, incluyendo reptiles, anfibios, mamíferos y aves en convivencia con la crianza de distintas razas autóctonas de animales domésticos (Razas Pajuna, Cárdena Andaluza, Negra de las campiñas y las dos Berrendas en vacuno, oveja Merina de Grazalema, cerdo Ibérico, burros de “pequeña raza Asnal Andaluza”, gallinas Andaluzas, etc.) de forma ecológica y tradicional.

“La Algaba de Ronda” es una iniciativa empresarial que cuenta con un centro de educación y congresos en un cortijo restaurado de más de doscientos años de antigüedad, un poblado prehistórico en la que se desarrollan actividades de difusión de nuestro patrimonio cultural con programas de educación ambiental, formación en materias de agricultura y ganadería ecológica, turismo rural, y participa activamente en labores de investigación en sus talleres de arqueología experimental.

4.3. Marcas de calidad.

Los objetivos primarios de la PAC de autoabastecer de alimentos de necesidad básica a los mercados de cada país miembro, han sido sobrepasados hasta el nivel alcanzado en la década de los años 90, en el que la producción de carne en España comenzó a ser excedentaria y con la globalización mundial de los mercados es de esperar que la concurrencia de oferta sea cada vez mayor. En este sentido, los productos de calidad reconocidos con un distintivo de garantía alimentaria están teniendo cada vez más acogida en el mercado.

En los países desarrollados, el abastecimiento de la población ha dejado de ser la prioridad productiva, para intentar satisfacer las necesidades cada vez más exigentes de los consumidores.

A los consumidores de los países desarrollados, y cada vez más también en los países en desarrollo, les preocupa el origen de los productos y las condiciones de producción. Se crea así una demanda de productos especializados de alta calidad, muchas veces provenientes de razas locales bajo sistemas tradicionales.

La calidad es un concepto que se percibe de forma distinta para cada producto y consumidor, de forma que si en Andalucía entendemos como un producto de alta calidad el jamón serrano y de baja calidad las salchichas, si nos desplazamos a Alemania, nos encontramos que la escala está invertida. En cualquier caso, se puede definir como calidad de un producto a sus caracteres propios e invariables, independientemente del gusto o apreciación subjetiva. La escala de niveles de calidades en alimentación es:

1. Necesidades fisiológicas
2. Placer sensorial
3. Placer psicológico
4. Calidad de vida y precios
5. Temor a enfermedades

En la actualidad, cualquier producto alimentario que quiera encontrar un nicho de mercado, debe tener unas características invariables que lo diferencie de las demás marcas.

En el punto 1, no vamos a encontrar ninguna calidad diferencial en un mercado saturado con excedentes de alimentos.

La diferenciación horizontal de los productos alimenticios procedentes de nuestras razas autóctonas, que puedan ser apreciados por el consumidor por el nivel 2 de calidad, placer sensorial, es difícil, no por la indudable calidad que nos ofrecen, sino porque en este nivel la competencia es muy fuerte, y frecuentemente el gusto está marcado por otros actores de la cadena, como pueden ser los carniceros, intermediarios, grandes superficies, etc. No obstante, tenemos muchos ejemplos que lo han logrado y están muy bien posicionados, como pueden ser las distintas marcas de productos ibéricos o el queso payoyo.

En el tercer nivel encontramos a mi juicio grandes oportunidades para posicionar las marcas de calidad de nuestros productos, por varios motivos. Proporciona un placer adicional el degustar un producto en origen, donde el concepto de seguridad alimentaria del “establo a la mesa” cobra su máximo apogeo (incluye connotaciones de la última escala de calidades: salud). Es una forma vertical de diferenciación del producto.

La creación de marcas de calidad a partir de nuestras razas autóctonas presenta grandes dificultades por la falta de capacidad financiera, la heterogeneidad de sus producciones y la incapacidad para mantener una oferta mínima a lo largo de todo el año.

Uno de los principales problemas que nos encontramos a la hora de lanzar una marca al mercado, con un pliego de calidades basado en la raza, es la dificultad de abastecer de forma continuada a un cliente como un supermercado, o de ofertar suficiente producto a una gran superficie. En cambio, con una red de distribución local, formada principalmente por los restauradores o pequeños comercios del área de influencia de la raza, podemos obtener una marca de calidad apreciada precisamente por el placer que proporciona consumir el producto en el origen, incluso en una época concreta en caso de ser productos estacionales, sin que esto suponga un problema. Hay que destacar la labor del movimiento antiglobalización denominado “slow food” que promueve esta forma de preparar y comercializar alimentos y que tiene un auge relevante.

En un escalón superior está la calidad de vida y precios, en la que sirve todo lo dicho en el punto anterior, siempre y cuando el precio esté acorde con la oferta. La importancia del precio radica en que si es apreciado como bajo, se asocia a producto de mala calidad, en cambio, si se aprecia como alto por parte del consumidor, se tenderá a compararlo con productos “Delicatessen”, u ofertados en guías y tiendas especializadas, creando un impacto negativo si no está acompañado del marketing frente a sus eventuales competidores.

En el nivel superior de la escala de calidades, nos encontramos con todo lo relacionado con la salud. Es una calidad que hay que mimar con extremo, pues a raíz de los escándalos alimentarios de la encefalopatía espongiiforme bovina (coloquialmente conocido como mal de las vacas locas) y en menor medida las dioxinas y otras posteriores (incluso sin tener relación con la alimentación como la gripe aviaria), una intoxicación alimentaria asociada a un producto cualquiera puede suponer el fin de esa marca.



Foto 4. La altísima calidad de nuestros productos aporta el factor diferencial frente a las altas producciones de los sistemas intensivos.

La seguridad alimentaria es una condición necesaria pero no suficiente, y nunca será un hecho diferencial, pues la legislación europea obliga a todas las empresas del sector a asegurarla mediante un sistema de autocontrol basado en los principios del APPCC (Reglamento (CE) nº 852/2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios).

Es una ventaja competitiva los beneficios que puedan tener para la salud la composición o la inclusión en la dieta del alimento. Por ejemplo, el perfil de ácidos grasos ricos oleico de cerdos ibéricos alimentados en montanera, puede argumentarse como reclamo frente al perfil de grasas saturadas de cerdos blancos alimentados a base de piensos compuestos.

Desde este punto de vista, la realización de estudios encaminados a descubrir estas propiedades es esencial para diferenciar e incrementar las expectativas de una marca de calidad relacionada con cualquiera de nuestras razas autóctonas criadas de un modo tradicional.

Solo hay que echar una ojeada a la prensa para ver como se publicitan infinidad de productos anunciando efectos beneficiosos derivados de su consumo para el colesterol, presencia de omega-tres, carotenos, vitamina E, etc. Hay un succulento negocio en torno a la salud de los consumidores, en el que sin duda pueden situarse muy bien los alimen-

tos producidos a partir de las razas autóctonas andaluzas criadas de una forma tradicional o ecológica.

Para que una de estas marcas de garantía llegue a obtener beneficio de esta situación, debe proporcionar información suficiente al consumidor mediante un plan de marketing en el que tenga en cuenta:

1. Poder de atracción hacia el comprador
2. Capacidad de satisfacción
3. Campañas promocionales, teniendo en cuenta que los principales motivos de compra que incitan al cliente son la seguridad, la garantía y la salud.

4.4. Turismo rural.

Se conoce de forma general al “turismo rural” como la forma de turismo relacionada con la Naturaleza, y dentro de él, cuando el turista en vez de la naturaleza en su estado más puro, persigue conocer como se adapta el hombre de manera primaria y aprovecha sus recursos directamente, hablamos de “agroturismo”, que es la actividad mercantil en la que se comercia con la cultura rural. La formación de las razas domésticas se debe a la actuación de los campesinos sobre los animales para conseguir sus objetivos de cría y adaptación al medio.

A pesar de las perspectivas que se le supone al agroturismo, actualmente no está contribuyendo de forma significativa al incremento de ingresos de nuestros ganaderos ni a la recuperación de nuestras razas. No obstante, su potencial sigue siendo enorme.

A medida que ciertas razas se han ido imponiendo, la biodiversidad ha ido disminuyendo, de tal forma que las razas que no son de fomento, pueden ser un reclamo importante para una actividad en auge como es el turismo rural, por ser pieza clave del “paisaje cultural”, contribuyendo al incremento de los ingresos de los ganaderos y al desarrollo sostenible de una comarca.

De esta forma la cría de razas menos competitivas o rentables en la producción de carne, aportan un valor añadido a esta actividad convirtiéndose en seña de identidad de un determinado paisaje. Su desaparición supondría un desequilibrio en el ecosistema, que en el caso de las razas de abasto andaluzas se traduce en una alteración del monte, riesgo de incendios, etc, por ser las razas que mejor aprovechan los recursos locales, aparte de la imposibilidad del turista de probar un choto de Blanca o Negra Serrana en Jaén, corredo de Montesina en Granada o Chuletón de Pajuna en Ronda o Sierra Nevada.

Vemos como el factor raza es un importante componente económico de comarcas antes deprimidas o marginales, y ahora en franco progreso como Despeñaperros, Sierra Mágina, Cazorla, Segura y las Villas, Marquesado, Cogollos, Guadix, Sierra de las Nieves, Serranía de Ronda, Alpujarras, Grazalema o Doñana por citar algunas.

Mientras que en otras actividades empresariales, como las granjas escuelas, el factor raza no es un hecho diferencial relevante, en el Turismo Rural es imprescindible, pues cada raza autóctona es la que mejor garantiza el mantenimiento del paisaje gracias a su adaptación.

Entre los condicionantes que hacen posible el éxito del turismo rural, podemos citar un paisaje cultural de pequeños espacios con atracciones culturales, históricas o de historia natural. Grandes superficies de monocultivos ofrecen pocos atractivos.

Además, contar con buenos accesos, la existencia de una cierta infraestructura, p.e. posibilidades de transporte, alojamiento, restaurantes, etc. y aceptación entre la población de los fines turísticos, es crucial, pues si bien la raza es uno de los atractivos más importantes y peculiares de una comarca por ser seña de identidad (Max Kasparek *et al*, 2006), por sí sola no deja de ser una actividad marginal de una zona deprimida.

Cuanto más extraña, minoritaria o exótica es una raza, mayor atractivo turístico tiene, y puede ser ofrecida por restaurantes locales en sus menús con un mayor valor añadido que aprecia el turista por su valor y contexto sociocultural.

La oferta por tanto no incluye solo un paisaje natural, un plato de cocina o producto artesanal tradicional, un alojamiento rústico o una fiesta popular, sino que la integración de todo, en un ecosistema, es un producto único más rentable cuanto mayor es la integración de las diferentes partes que lo componen, y cada vez que falta una de sus partes, disminuye el valor de cada parte del conjunto. Cuanto mayor sea esta integración o más transectorial sea la oferta, mayor será la sostenibilidad del sistema y mayor el desarrollo rural que se puede obtener.

Andalucía cuenta no solo con una gran riqueza de razas domésticas como ya se ha apuntado, sino con una enorme agrodiversidad y potencial para su desarrollo, que debe ser fomentada al tiempo que se sensibiliza a la población, al tejido empresarial y autoridades, para que colaboren en su identificación y promoción, no siendo olvidados a medida que se urbanizan o industrializan nuevas superficies.

4.5. Implicación de la Administración

Las distintas Administraciones han tomado conciencia del rápido descenso de los censos de las Razas Autóctonas, y del importante Patrimonio Natural y de Biodiversidad que estas representan. Concretamente, la Junta de Andalucía, siguiendo las recomendaciones de la FAO sobre Conservación de Recursos Genéticos Animales, en el año 1992 ya inició una serie de actuaciones encaminadas a garantizar la conservación y preservación del Ganado Autóctono Andaluz, que consistían en la incitación al asociacionismo de ganaderos para la puesta en marcha de planes de mejora cofinanciados con la CEE y el Ministerio de Agricultura.

Además puso en marcha una serie de medidas legislativas con el mismo fin, y daba soporte a ganaderos en forma de acuerdos con ellos, programas específicos de conser-

vacación y ayudas al mantenimiento de rebaños de cabezas de razas en Peligro de Extinción (González, A, 1992).

Fruto de estas primeras actuaciones, hay que destacar el papel que tuvo la Explotación “La Almoraima” en Castellar de la Frontera (Cádiz), que llegó a tener una reserva ganadera de las cinco razas de vacuno en peligro de extinción (Pajuna, Cárdena Andaluza, Negra de las Campiñas, Berrenda en Colorado y Berrenda en Negro) y de gallinas Andaluza Azul.

En la actualidad, la Administración ha ido adecuando las iniciativas y ayudas a las razas andaluzas, y en concreto las razas en peligro de extinción, tienen unas ayudas adicionales que no poseen las razas de fomento y que compensan en parte la devaluación que sufren sus producciones, así como otras carencias.

Las ayudas a las que hacemos referencia son dos: una directa a los ganaderos por cada cabeza de ganado de raza en peligro de extinción que mantienen en su rebaño por una parte, y otra a la asociación de criadores reconocida, para realización de estudios y vigilancia de la situación de cada raza, y para la puesta en marcha de programas de conservación.

Estas ayudas tienen un doble beneficio: por un lado compensa en parte el déficit de renta que tienen los ganaderos de las razas amenazadas, y por otro lado le obligan a su agrupación en asociación de criadores, creando una estructura que les ayuda en su profesionalización.

Además, los estudios elaborados por las asociaciones de criadores financiados por estas líneas de ayudas, son el desarrollo de algunas de las prioridades nacionales que establece la FAO:

- Elaborar inventarios completos de las razas y controlar su evolución.
- Implementar la caracterización de razas.
- Establecer programas nacionales de conservación.
- Mantener el conocimiento de las prácticas y los modos de vida tradicionales que contribuyen a las actividades de conservación.
- Mejorar la capacidad de gestión, de investigación e institucional para el seguimiento y la caracterización.

Las ayudas económicas de la Administración para las razas en peligro persiguen compensar en parte su falta de competitividad y favorecer el asociacionismo de los ganaderos como única vía de asegurar la pervivencia de la raza a corto-medio plazo.

No obstante, mientras las otras actividades que puedan hacer rentables a las razas en peligro de extinción no despeguen, estas ayudas son insuficientes para cambiar la dinámica que las han llevado a esta situación, pues los censos han detenido su descenso, pero no logran aumentarlo ni animan a nuevos ganaderos a su cría. Es necesaria una política más agresiva que premie a los ganaderos que aumentan sus censos, o son capaces de vender sus cabezas excedentes de raza pura en el mercado de “vida”.

La implicación directa de las Administraciones en la conservación de las razas andaluzas en peligro de extinción, supone una nueva oportunidad que aunque por sí sola sea insuficiente para compensar el lucro cesante respecto a la cría de razas selectas, unidas a otras oportunidades con las que son totalmente compatibles, puede llegar a hacer su cría interesante.

No obstante, sin un cambio en la estructura socioeconómica de la explotación de nuestras razas, no se asegura su pervivencia a largo plazo.

Además, las razas en peligro de extinción deben tener un papel relevante en redes ecológicas, en especial la Red Natura 2000, y en todos los planes de ordenación de recursos naturales que desarrollen las Administraciones Públicas.

Cada vez más las Administraciones, a nivel mundial, se implican en la conservación de su patrimonio ganadero por motivos expuestos en otro capítulo de este libro, y la Junta de Andalucía, subida a este carro, en colaboración con la encomiable labor de los ganaderos, ofrece una nueva oportunidad. Sin embargo, como hemos apuntado antes, la gestión sostenible de los recursos zoogenéticos debe complementarse con la capacidad de los productores de ofrecer productos demandados por el mercado.

Finalmente, el deterioro ecológico en determinadas zonas es evidente, y cada vez son más frecuentes los desastres ecológicos (Vertidos tóxicos como los de las minas de Aznalcollar, grandes incendios forestales,...). Las distintas Administraciones tienen el compromiso de agilizar la “reconstrucción ecológica” de las zonas afectadas, y de evitar la introducción y proliferación de especies, subespecies o razas geográficas distintas a las autóctonas, en la medida que puedan competir con éstas, alterar su pureza genética o los equilibrios ecológicos.

4.6. Otras actividades

4.6.1. Prevención de incendios forestales.

La evolución de la cobertura vegetal en el medio rural durante las últimas décadas ha sido espectacular. Hasta 1960, la mayoría de la población andaluza vivía dispersada por el campo, en pueblos y cortijos. La actividad principal era la agraria y se dependía en gran medida de los animales, y de la leña como fuente energética. Tanto campiñas como sierras estaban labradas, no se desaprovechaba ninguna parcela, por remota y áspera que fuese. Se sembraba cereal y leguminosas en todas partes, por difícil que fuera. La presión sobre la arboleda también era considerable, pues se necesitaba madera para fabricar muebles y leña para calentar y cocinar.

Sin embargo, tuvo lugar la crisis de ese mundo rural, de esa economía de subsistencia; un fenómeno social extraordinario ocurrió, la emigración y el abandono del campo. Fue un proceso que se intensificó durante las décadas de los años 60 y 70 del pasado siglo. La vegetación natural se ha ido regenerando, sobre todo en las zonas de montaña, donde la agricultura moderna no ha sido posible. Además, se han plantado muchas miles de hectáreas de cultivo maderero por parte de la administración, en montes públicos que

hasta entonces eran pastoreados. La ganadería extensiva, por otra parte, ha visto mermada su rentabilidad progresivamente, lo que ha significado una menor presencia de ganado en nuestros montes; y la pérdida hubiese sido muy superior de no ser por las primas europeas, responsables del mantenimiento de grandes rebaños ovinos en extensivo.

El resultado, en definitiva, es el paisaje que podemos ver hoy día en la Andalucía no cultivada ni urbanizada, en las zonas de montaña, como Sierra Morena y la Penibética. En muchos parajes, un espeso matorral mediterráneo cubre lo que antaño eran pastizales; en otros, pinares de repoblación dominan los espacios naturales; y los rebaños cada vez caminan menos kilómetros, cada vez se mantienen más tiempo en las inmediaciones de las instalaciones ganaderas; esto es lógico, para aumentar la producción, se suplementa el ganado en pesebre a diario y como la mano de obra es cara, apenas quedan pastores dispuestos a andar por la sierra.

Al contrario de lo ocurrido en pasadas décadas, hoy día está demostrado que el riesgo de incendio en áreas sensibles por excesiva cubierta vegetal se incrementa muy peligrosamente si se ponen trabas al pastoreo del ganado.

Al principio, una de las preocupaciones de algunas juntas rectoras de parques naturales andaluces era la sobrecarga ganadera; sin embargo, ahora está ocurriendo lo contrario, la escasa presencia de ganado y el riesgo de incendio en áreas sensibles por excesiva cubierta vegetal... Por parte de la Consejería de Medio Ambiente, en colaboración con la de Agricultura, se ha puesto en marcha un proyecto muy interesante, “el ganado bombero”. Para mantener cortafuegos y limpiar predios se usa ganado; se lleva a cabo un acuerdo previo con los ganaderos de la zona interesados en participar y se les ofrecen las majadas donde pueden llevar su rebaño, delimitando y racionalizando el pastoreo. Se han llevado a cabo experiencias satisfactorias, por ejemplo, en la Reserva de la Biosfera Sierra de las Nieves y en el Parque Natural de Sierra Tejeda y Almijara con ganado bovino de raza Pajuna. Asimismo, sería interesante que en la adjudicación de pasos públicos se priorizaran aquellos rebaños con razas autóctonas en peligro de extinción.

El proyecto de reducción de biomasa mediante el pastoreo está incluido dentro de uno global a nivel europeo, PASTOMED, que España comparte con Francia, Italia y Grecia, países mediterráneos con similares problemas respecto a los incendios forestales. Se han organizado congresos y jornadas para reconocer y valorar la importancia de la ganadería extensiva en el mantenimiento de los ecosistemas, para analizar el uso dirigido y específico de ganado en la prevención de incendios y para compartir experiencias por técnicos y ganaderos. En noviembre de 2006, por ejemplo, tuvieron lugar las jornadas “Pastores por el monte mediterráneo andaluz”, en Yunquera, Málaga, con gran éxito de asistencia.

Las razas autóctonas, ovinas y caprinas, son las adecuadas para llevar a cabo este objetivo. El pastor ha de dirigir el rebaño no a los mejores pastizales sino a donde se le ha indicado, donde las especies vegetales pueden ser menos apetecibles y la orografía más difícil. Por tanto, las razas autóctonas adquieren una nueva funcionalidad, un nuevo trabajo, hasta ahora poco conocido y valorado, el de la contribución al medio natural mediante el pastoreo; en particular, como queda dicho, el de la prevención de incendios forestales en determinadas zonas.

En muchos espacios protegidos donde se prohibió la entrada de ganado con ánimo conservacionista, se ha tenido que buscar ganado ahora para evitar los graves perjuicios que la ausencia de grandes herbívoros estaba ocasionando sobre la flora y la fauna de interés. Por tanto, este “beneficio intangible” de las razas autóctonas hay que tenerlo presente cada vez más, y ponerlo en valor desde administraciones y asociaciones ganaderas.



Foto 5. En aquellos Parques que se ha prohibido la entrada de razas autóctonas se ha incrementado alarmantemente el riesgo de incendio por la falta de limpieza del matorral y del sotobosque.

4.6.2. Aptitud trabajo: Romerías y festejos.

Hasta la década de los 50, en la que llegó la mecanización del campo, las razas bovinas en Andalucía se seleccionaban normalmente hacia doble aptitud, carne-trabajo o leche-trabajo, o triple aptitud carne-leche-trabajo. Posteriormente la aptitud trabajo cayó en desuso y la doma de animales para labores agrícolas por gañanes se realizaba de forma testimonial.

La aptitud leche en las razas autóctonas bovinas andaluzas, también fue abandonada con la llegada de las razas frisonas o las populares “vacas suizas” (Pardas alpinas), no ocurrió así en el ganado caprino, en el que algunas de nuestras razas como la mala-gueña, murciana-granadina o florida son selectas para su producción.

Sin embargo, aunque se abandonara la actividad trabajo, la aptitud de la raza preva-lece, y en la actualidad supone una cualidad apreciada, principalmente por su relación cul-

tural con festejos populares y folclóricos como es la tira de carretas en romerías en toda Andalucía, principalmente “El Rocío” en Huelva.



Foto 6. El ocio como valor añadido para nuestras razas: Los festejos populares en los que intervienen las razas autóctonas atraen cada vez más público, siendo un reclamo muy importante para las ciudades donde se celebra. Fotografía del acto del Caracol del Borne en la fiesta de Sant Joan en Ciudadelá (Menorca, Junio 2006). Fotografía cedida por la Asociación de Criadores y Propietarios de caballos de raza Menorquina.

Además, la aptitud trabajo es apreciada puntualmente por pequeños agricultores artesanales en zonas costeras de Málaga, Granada y Almería, que de forma romántica, emplean estos animales como tracción animal de igual forma que se hacía antes de la mecanización del campo, y de forma deportiva, realizan competiciones entre ellos, valorando la fuerza, doma y precisión en el arrastre de pesos.

Cabe mencionar la estructuración en asociaciones culturales, en la Comarca de la Axarquía, de ganaderos que realizan diversos cruces con base genética de razas Pajuna o Retinta, buscando obtener animales de gran formato para llevar el tiro de una carreta u otros aperos, fuertes, dóciles e inteligentes, en definitiva con marcada aptitud trabajo.



Foto 7. En las romerías andaluzas aun se puede apreciar la aptitud trabajo de algunas razas autóctonas. (Foto cedida por D. Ricardo J. Calvo León).

4.6.3. Otras consideraciones.

De tipo científico: En la variabilidad genética que poseen las razas autóctonas andaluzas, pueden contenerse genes únicos que expresen características valiosas para distintas industrias.

Existen empresas dedicadas a la caza y captura de estos genes en distintos animales o plantas de todo el mundo. La propiedad intelectual de la secuencia de ADN de estos hipotéticos genes únicos plantea un dilema moral: ¿Se puede patentar algo tan íntimo e intrínseco como un código genético?.

En la actualidad es posible patentar secuencias génicas, y de hecho algunas multinacionales pretenden cobrar cánones a los agricultores que empleen semillas de variedades que posean las secuencias que han patentado y que aporten alguna cualidad como aumento de la producción o resistencia a enfermedades.

El descubrimiento de una de estas cualidades en un gen único de alguna de nuestras razas autóctonas supondría un beneficio para ella.

De tipo económico: La aceptación del principio cada vez más extendido de “quien contamina, paga”, nos lleva a pensar que es lógico, que los sistemas de explotación más respetuosos con el medio ambiente, como la producción en extensivo, en ecológico o con razas autóctonas, deben tener beneficios de tipo fiscal.

BIBLIOGRAFÍA

- Brown, L. (1998). The future of growth. In: the state of the world 1998, World Watch Institute, USA, pp 21-40.
- De Miguel, E., (1997). Razas ganaderas: su importancia ambiental y estratégicas. Cap. 8. En: El campo y medioambiente: Un futuro en armonía. Ed. Cadena S.A. Madrid.
- González, A., M.C. Bravo, F. Valera and R. Bolivar, (1992) Policy of the andalusian goverment in the conservation of endangered native breeds (1992). Archivos de zootecnia, vol. 41, núm. 154 (extra), p. 594.
- FAO (1999). Secondary guidelines for development of National farm animal genetic resources. Management Plans. Measurement of Domestic animal Diversity (MODAD): Working group Report. FAO, Roma.
- FAO (2005). Protección de la diversidad zoogenética para la agricultura y la alimentación. Tiempo de actuar”. www.FAO.ORG/DAD-IS.
- Max Kasperek, Yvonne Mabilie, Annette von Lossau, Rolf Mack (2006), Proyecto Sectorial "People and Biodiversity in Rural Areas". Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GMBH. (Unidad organizativa 4411).
- Reglamento (CE) N 852/2004 del parlamento europeo y del consejo de 29 de abril de 2004 relativo a la higiene de los productos alimenticios. DO L 139 de abril de 2004.
- Reglamento (CEE) 2092/91 del Consejo sobre la producción agrícola ecológica y su indicación en los productos agrarios y alimenticios (1991). DO L de 25 de junio de 1991.
- Upon, M. (1997). Intensification or extensification: Which has the lowest environmental burden. World Animal Review 88: 21-29.

CAPÍTULO 11

LOS PROBLEMAS DE LA CONSERVACIÓN DE LAS RAZAS AUTOCTONAS EN PELIGRO DE EXTINCIÓN EN ANDALUCÍA. CONDICIONANTES SOCIO-ECONÓMICOS Y ORIENTACIONES ACTUALES EN RELACION CON LA PRODUCCIÓN AGRARIA, IMPORTANCIA DE LA SANIDAD ANIMAL EN LA CONSERVACIÓN DE LAS RAZAS EN PELIGRO DE EXTINCIÓN

**José María Pastor Fernández¹, Miguel Pineda Rodríguez²,
Antonio Rodero Franganillo³**

1 Dep. Sanidad Animal, Delegación Provincial de Agricultura y Pesca en Cádiz, Plaza de la Constitución nº 3 , 11071 Cádiz;

2 Oficina Comarcal Agraria, C/ Ronda de los Alunados s/n 11406, Jerez de la Frontera, Conserjería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía.

3 Dep. Genética, Campus Rabanales C6-1-N5, 14071 Córdoba

1. INTRODUCCIÓN

Por diversidad biológica, o biodiversidad, se entiende la variedad total de estirpes genéticas, especies y ecosistemas.

A nivel de comunidades biológicas, la biodiversidad ha sido determinada basándose en los componentes que la pueden definir en un tiempo y lugar determinados. Algunos de estos son: su riqueza; la abundancia relativa y la dominancia de especies. Se han propuesto diferentes índices para estimarla, tales como el de Simpson o el de Shannon-Wiener. Cada uno de éstos índices estiman la biodiversidad de acuerdo al componente que se pretende resaltar, y el objetivo que se persigue en la estimación de ésta (Segnini S., 1992). Así, por ejemplo, la estimación de la biodiversidad a partir de la diversidad específica proporciona valores que fluctúan entre 10 y 100 millones de especies distintas en el planeta (Alonso, Me., 1992).

La diversidad biológica cambia continuamente como consecuencia de las fuerzas evolutivas, entre ellas, la selección natural y las mutaciones genéticas que pueden originar nuevas especies y, a su vez, las nuevas condiciones ecológicas ocasionan la desaparición de otras especies. Según los criterios de la Unión Internacional para Conservación de la Naturaleza (UICN), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y del Fondo Mundial para la Vida Silvestre (WWF, World Wildlife Fund), la diversidad biológica debe conservarse como una cuestión de principio, pues todas las especies merecen respeto, independientemente de si son o no de utilidad para la humanidad (UICN, PNUMA, WWF, 1991). Desde el punto de vista económico la biodiversidad tiene valores tales como: el de uso y el de opción. El primero se refiere a los beneficios en productos o servicios que se obtienen de vegetales, animales, hongos y microorganismos

para el bienestar de la humanidad. El segundo representa el beneficio potencial que tendrían poblaciones que actualmente no tienen demanda económica, tales como el caso de vegetales considerados malezas, los cuales tienen una función importante en la estabilidad de agrosistemas, recogida en la publicación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, Food and Agriculture Organization) en el año 1995.

Las poblaciones que tienen rasgos genéticos particulares y únicos, se denominan recursos genéticos. Atendiendo al valor de uso que tienen los recursos genéticos, las poblaciones de animales domésticos y de especies silvestres relacionadas, constituyen los recursos genéticos animales (RGA) (Hodge J., 1990; Hammond K., 1994).

Algunos de estos recursos poseen características que son únicas, adaptadas a ambientes específicos y que, además, están sufriendo una dilución genética o extinción. Estos recursos, a través de la selección natural y de la selección realizada por el hombre, han desarrollado características que les hacen estar bien adaptados a las condiciones ambientales, bajo las cuales los animales tienen que vivir y producir.

Si se analiza la dinámica de la erosión de estos recursos genéticos animales, en Europa, en las últimas décadas, probablemente revelaría como factores desencadenantes un gran cúmulo de los mismos, más o menos interrelacionados, como pueden ser: los socioculturales, los cambios en la demanda de alimentos y, por último, la transformación en la cadena productiva y los cambios tecnológicos que afectan, de varias formas, al declive de las razas locales. En la mayoría de los casos estos factores determinan una pérdida de competitividad económica de las razas locales en comparación con otras razas especializadas o con otras actividades económicas de la región. Debido a esto, se inicia así una cadena de hechos muy difícil de parar como son: la disminución tanto en el censo animal como en el censo de ganaderos; la entrada de otras razas foráneas más productivas, y otras causas similares, lo que conlleva a estas razas a sufrir un deterioro tal, que su situación se hace insostenible y finalmente desaparece la raza. En el caso de la disminución del censo ganadero, se provoca, además, consecuentemente un abandono del entusiasmo por promocionar sus razas y por realizar programas conjuntos con otros ganaderos como puede ser, por ejemplo, la comercialización bajo la forma de cooperativa de los productos. Prueba de ello está el hecho constatable de que cada vez existen menos ganaderos, dispuesto a continuar con la cría de estas razas. Una vez que se inicia la cadena de sucesos, antes descrita, es muy difícil trastocar la situación, de tal manera, que se puede decir que, en muchos casos, es imposible invertirla. Por lo tanto, lo recomendable será efectuar una prevención al inicio del declive, ya que es mucho más fácil y económicamente más rentable efectuarla en ese momento antes que aplicar una terapia de conservación (Oldenbroeck, 1999).

Todos estos argumentos justifican la aplicación de los programas genéticos de conservación. La aplicación adecuada de estos planes, como describen Ricardeau y Flamant (Ricardeau et al., 1976) deben tener en cuenta los siguientes puntos:

- Conocer la estructura de la población.
- Controlar la paternidad de la cría en pureza.

- Asegurar el desarrollo del control de aptitudes.
- Hacer un inventario de todos los machos y determinar las líneas existentes en la población.
- Poner en funcionamiento un programa de acoplamientos usando todas las familias disponibles y asegurando una rotación de reproductores para limitar la consanguinidad.
- Organizar la producción y difusión de dicha raza pura, asegurando el máximo de garantías respecto a su estado sanitario y a sus cualidades de reproducción.
- Analizar la variabilidad de la raza utilizando los marcadores genéticos.

Actualmente los métodos de conservación disponibles para el mantenimiento de dicha variabilidad genética pueden resumirse en:

- Mantenimiento de razas puras.
- Cautelosa selección minimizando la pérdida de genes.
- Identificación de marcadores genéticos aplicables a la conservación de alelos destacados.
- Establecimiento de uno o varios pools de genes.
- Creación de bancos de semen congelado, embriones o tejidos gonadales (bancos de germoplasma).
- Almacenamiento de ADN.

En este sentido los estudios y acciones que según Oldenbroeck (Oldenbroeck, 1999) hay que poner en marcha, para evitar el inicio de esta dinámica o intentar invertirla una vez iniciada, son los siguientes:

- Determinación del potencial productivo de los recursos genéticos. La determinación del potencial productivo de los recursos genéticos se realiza mediante la caracterización de su sistema de producción, complementada con un análisis de los principales factores que lo condicionan. Además, se considera aconsejable contar con un rebaño experimental en el que se puedan modificar y optimizar las condiciones productivas para ver si pueden mejorarse las producciones y, por tanto, la rentabilidad y competitividad de la raza. Actualmente en Andalucía hay los siguientes rebaños experimentales:
 - Rebaño de la Raza Caprina Payoya de la Excma Diputación de Cádiz.
 - Rebaño de la Raza Caprina Blanca Andaluza de la Excma Diputación de Sevilla.

- Rebaño de Raza Bovina Pajuna en la finca la Almoraima, Patrimonio del Estado, situada en Castellar de la Frontera, Cádiz.
- Ecoparque del Ayuntamiento de Ronda, situado en la finca Diego Duro de Cortes de la Frontera, Málaga.
- Mejora de las infraestructuras y de la asistencia técnica. La mayoría de las razas en peligro de extinción están en áreas de bajo desarrollo socioeconómico que impide una infraestructura y asistencia técnica adecuada.
- Optimización del sistema productivo y de la selección genética. En la situación actual de algunas razas es impensable cualquier tipo de estrategia de este tipo.
- Desarrollo de actividades para incrementar el valor económico de sus productos. Tales pueden ser la diversificación y diferenciación hacia productos genuinos que incrementen el valor añadido de éstos. Otras actuaciones que se pueden desarrollar son adoptar sistemas ecológicos de producción, que son compatibles con su tipo de explotación extensiva. Por último, su unión a parques naturales, ecoparques o granjas-parque puede determinar un incremento de los ingresos por turismo.

En este tipo de conservación *in-situ*, las estrategias del marketing que promueva el turismo -ecoturismo o rebaños mantenidos en espacios protegidos, granjas-parque, granjas-escuela, etc...-, así como la obtención de productos genuinos de alta calidad, ecológicos, "hechos a mano", etc. juegan un papel fundamental. Probablemente haya que abordar todo este tipo de estrategias, en fases posteriores, una vez superada la crítica situación actual. Esto permitiría el desarrollo sostenible de la raza y estaría en consonancia con la corriente (al menos en el mundo desarrollado) orientada hacia la calidad de los productos y los sistemas productivos bajo condiciones menos intensivas (Upon, 1997), más respetuosas con el medio, y que aseguren la sustentabilidad del sistema, a la vez que favorezca el mantenimiento de la población en las zonas rurales menos desarrolladas (Brown, 1998).

Todo lo comentado en los párrafos anteriores se recoge en la actual Política Agraria Comunitaria.

2. PROBLEMAS QUE AFECTAN A LA CONSERVACIÓN DE RAZAS EN ANDALUCÍA

Pero la conservación de razas está sometida a los peligros de un conjunto de factores que la dificultan. Los vamos a relacionar, detallando algo más aquellos que han sido poco tratados en otros capítulos de esta obra. Se recogen también en los cuadros nº 1 y nº 2, dentro del contexto más amplio del cuadro nº 3.

Cuadro nº 1. Problemas críticos para las razas en peligro

1. Dificultad para el Asociacionismo
 - Variabilidad en el grado de formación del ganadero.
 - Variabilidad en el grado de renta del ganadero.
 - Baja importancia de este sector en el territorio.
 - Problemas de gestión de documentación.
 - Trabas administrativas para el reconocimiento.
 - Problemas en la elección del prototipo racial.
2. Dificultad en el manejo de animales
 - * Manejo/apareamiento irracional.
 - * Falta de tecnificación.
 - * Instalaciones poco adecuadas.
3. Dificultad en uso de tecnologías de conservación.

2.1. Los cambios de las relaciones hombre-animales domésticos y de los correspondientes valores

La domesticación implica la implantación de las relaciones entre el hombre y los animales de forma permanente y aceptable por ambas partes, de esta forma, los animales domésticos liberaron al hombre del duro trabajo del campo; le ayudaron en el transporte de personas y productos; le proporcionaron alimentos de alta calidad desde la más tierna infancia, como ocurre durante la lactancia, hasta la vejez; igualmente le proporcionaron productos para vestirse y protegerse de las inclemencias del tiempo, así como otras materias igualmente útiles al hombre, como la grasa utilizada en la iluminación o el estiércol como combustible.

Según Hodges (1999) la domesticación de los animales fue el primer paso para mejorar la calidad de vida a través de la ciencia y la tecnología.

Cuadro nº 2. Problemas que surgen al abordar la conservación

- A nivel internacional y europeo:
- Organizativo y económico.
 - Gestión de las ayudas.
 - * ¿Qué razas son merecedoras?
 - * Criterios para definir la situación de cada raza.
- A nivel nacional:
- Responsabilidad a nivel nacional o autonómico.
 - * Catálogo de razas.
 - * Comité de razas.
 - Prioridades de actuación.
 - Pureza de las razas.
 - Caracterización.
 - Reconocimiento de asociaciones.
 - Libros genealógicos.
- A nivel ganadero:
- Competencia entre razas autóctonas.
 - Negocio.
 - Continuidad.
 - Número reducido de ganaderos.
 - Dificultad del asociacionismo.

Cuadro nº 3. Factores de riesgo al desarrollo agrario

1. Edad de los titulares de explotación.
2. Dimensión de las explotaciones/competitividad.
3. Distribución geográfica de las explotaciones.
4. Distribución de tierras/minifundismo.
5. Mecanización agraria/tracción animal.
6. Función de cada raza y competencia frente a otras.
7. Concienciación social.
8. Conocimiento social de su existencia (divulgación).
9. Asociacionismo ganadero.
10. Epizootias.
11. Censos de animales.
12. Dificultad de la puesta en funcionamiento de programas.

Durante miles de años el hombre vivía en contacto con los animales, los cuales al proporcionarle los beneficios antes señalados, eran considerados en todos sus valores, hasta tenerlos como algo sagrado.

Aunque en muchos países esta situación continua, en las naciones desarrolladas occidentales los valores han cambiado y se ha roto la relación hombre-animal doméstico y con el ambiente natural, cuando la gente vivía acompañado de especies productivas en el ambiente natural. Ello significaba que los animales y las comunidades humanas eran parte de un orden natural total.

Pero hace ya unos años que las sociedades occidentales ha cambiado hacia una nueva situación con valores distintos, de forma que prima el estilo de vida urbana, en el que el contacto del hombre con los animales se reduce a la compra de sus productos para la alimentación, sin evidencia del animal.

Al mismo tiempo, la industrialización y las nuevas técnicas han suplantado gran parte de los servicios que le proporcionaban los animales.

El hombre ha pretendido independizarse de la naturaleza y ésta empieza a pasarle factura.

Sin dejar atrás el progreso que se ha alcanzado, se debe ir a la búsqueda de un estado en que también se respete a la naturaleza y a los animales y se siga aprendiendo de ellos.

Las civilizaciones prosperan cuando la calidad de vida humana se define incluyendo trascendencia así como prosperidad material. Las civilizaciones declinan cuando la agenda material y la avaricia individual excluye los valores más altos (Hodges, 1999).

Ejemplo de lo que ha ocurrido por esas actuaciones equivocadas del hombre, lo tenemos en la desaparición de la riqueza o patrimonio genético que representa nuestras razas autóctonas y de otras especies de animales.

El programa de Medio Ambiente de las Naciones Unidas calcula, en la Convención sobre la Biodiversidad (1995), que se ha perdido el 25% de las especies de mamíferos, 20% de reptiles, 25% de anfibios y 34% de peces.

En cuanto a la razas se calcula que al menos 1000 razas han desaparecido en los últimos 100 años, 300 en los últimos 15 años y 2000 están en riesgo (FAO, 2000).

Las administraciones, los científicos, los ganaderos y los consumidores deben ponerse a la tarea de evitar estos desastres.

La primera tarea a realizar es la de marcarse claramente los objetivos a decidir tanto de investigación e innovación, como de aplicación.

Objetivos claros de hace años ya no sirven, porque se han fijado nuevos valores y necesidades.

Si hasta la década de los sesenta se buscaba la producción de más alimentos y posteriormente la productividad, para reducir el coste por unidad de alimento, al comienzo del siglo XXI emergen nuevos valores, según Hodges (2003):

- Alimentos más caros, pero con altas calidades desde el punto de vista del gusto, la sanidad y de carácter regional.
- Productos reconocidos como DOP (Denominación de origen protegida) y IGP (Indicación geografía protegida).
- Bienestar animal.
- Protección ambiental.
- Sanidad y seguridad alimentaria.
- Calidad de vida en el medio rural.

Los consumidores y los ciudadanos buscan estos valores y parece que ello continuará en el futuro.

La situación de Andalucía respecto a los problemas que se han planteado en este apartado no es la más desfavorable en la Unión Europea.

Como se ha indicado en otros capítulos, el patrimonio racial de Andalucía es de los más ricos en toda la Unión Europea, al no haberse producido la extinción total de las razas que tradicionalmente poblaban el terreno andaluz.

Existen ganaderos que apuestan por seguir implicados en las empresas ganaderas y que saben adaptarse a los nuevos valores que se ha señalado y que la Administración Andaluza apoya. Así, por ejemplo, la agricultura ecológica ha subido, entre 1998 a 2005, desde unas 50000 Ha a más de 400000 Ha.

Existen razas reconocidas mundialmente y que proporcionan prestigio, como son el caballo PRE o el cerdo ibérico, entre otras.

La ganadería andaluza encuentra un medio natural abundante, de gran belleza y atractivo para el urbanita andaluz o de fuera de Andalucía, como son los parques naturales y espacios protegidos y que apoyan que en nuestras poblaciones de animales productivos cumplan esos nuevos valores que demanda la ciudadanía y los consumidores europeos.

Habiendo reducido drásticamente en los últimos años la población laboral que afecta a la ganadería, no se puede decir que los ganaderos andaluces estén en situación de “especie a extinguir” y hasta se puede apreciar un interés de sectores juveniles de satisfacer sus necesidades vitales en el medio rural.

2.2 Condicionantes socio-económicos y orientaciones actuales en relación con la producción agraria

Según Tisdell (Tisdell, 2003) los factores económicos más importantes en la pérdida de biodiversidad son los siguientes:

- La extensión de los mercados, a través de la globalización, alienta a la especialización económica de las regiones. Esto puede dar como resultado que determinados tipos de producciones ganaderas lleguen a no ser rentables en determinadas regiones, con la consiguiente pérdida de las razas peculiares de esa zona.
- Con la globalización económica es menos costoso que las razas crucen las fronteras y, por tanto, se incrementan las posibilidades de la sustitución de unas razas por otras.
- La situación anterior facilita que el “efecto dominancia de Swanson” actúe más fácilmente. Este efecto explica que los rebaños seleccionados en los países más desarrollados tiendan a reemplazar a aquellos de los países menos desarrollados.
- La ley de especialización de “las ventajas comparativas” dice: “que las razas especializadas tenderán a sustituir a las razas multifuncionales (leche, carne, trabajo, etc.)”, al igual que cuando los mercados tienden a expandirse, los costes de transacción tienden a disminuir.
- Los cambios de los gustos y demandas pueden acelerar la erosión de razas. Por ejemplo, las preferencias de los consumidores de carne magra ha dado como resultado la transición a animales con esta característica a partir de razas de cerdos que tenían carne grasa.
- Los cambios en el precio y la disponibilidad de las importaciones (p.e alimentación del ganado), pueden cambiar la economía del mantenimiento de las diferentes razas.
- El alcance de las alteraciones del medio ambiente, en el cual las razas ganaderas son explotadas, pueden cambiar la economía de las diferentes razas seleccionadas. En gran medida, el ganado en los países desarrollados ha estado desacoplado de la dependencia en el ambiente circundante. Muchas de las razas ganaderas en los países desarrollados son mantenidas en un ambiente artificial que les protegen del ambiente natural en los sistemas de cría intensivos. Las condiciones ambientales locales son controladas o estabilizadas y/o los inputs, incluidos la alimentación del ganado, pueden no ser producidas localmente debido a que las fuerzas del mercado lo hace posible. Esto contribuye a una mayor uniformidad del medio ambiente

en el que se desarrollan las razas ganaderas y así, contribuye a reducir la diversidad de las mismas.

Por tanto, el alcance de las fuerzas económicas que contribuyen a la pérdida de diversidad de razas es muy amplio. Los impactos económicos están muy asociados con el fortalecimiento de las fuerzas de la globalización y la extensión de los mercados.

Es importante conocer la situación socioeconómica que influyen de manera determinante sobre las razas en peligro de extinción.

2.2.1. Condicionantes Socioeconómicos en España

Según el Plan Estratégico Nacional de Desarrollo Rural, la situación socio-económica de España se caracteriza por un conjunto de factores, entre los que destacan:

Aspectos económicos:

- Un Producto Interior Bruto (PIB) por habitante en rápido proceso de convergencia hacia la media comunitaria y con buenas perspectivas de crecimiento.
- Unas tasas de empleo y desempleo cuyos valores convergen lentamente hacia la media de la Unión Europea (UE), existiendo un mayor diferencial en el caso de mujeres y jóvenes.
- Un incremento anual del Índice de Precios al Consumo (IPC) alto.
- Una balanza comercial negativa, con alta dependencia energética de las importaciones de energías fósiles.
- Un gran incremento del consumo de energía en la última década
- Un cierto retraso en el desarrollo de la I+D+i y en el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC).

Aspectos sociales:

- Una inmigración que ha crecido rápidamente en pocos años.
- Una tasa de crecimiento vegetativo muy baja, pero al alza debido a la inmigración.
- Una adopción creciente de las TIC por los ciudadanos, pero limitada a los jóvenes y a las zonas más desarrolladas económicamente.
- Menor grado de formación media o superior en adultos que la media de la UE.

- Densidades de población muy diferentes entre zonas; en general, gran concentración de la población en la costa y despoblamiento del interior con pequeños islotes de núcleos muy poblados.
- Gran parte del territorio con problemas de despoblamiento debido a la orografía, las condiciones climáticas o la escasez de agua.

Aspectos ambientales:

- Gran riqueza en biodiversidad, hábitats y paisajes diferentes.
- Buenas perspectivas en el uso de energías alternativas, sobre todo eólica.
- Competencia entre sectores por el uso del agua.
- Peligro de desertificación en el sureste español.
- Posible impacto del cambio climático.
- Problemática creciente en relación al volumen de residuos generados.

En cuanto a la situación económica del sector primario, el Valor Añadido Bruto (VAB) de este sector (agricultura, caza y silvicultura) tiene una baja participación en el Producto Interior Bruto (PIB) nacional (3,32%), lo que evidencia una pérdida de importancia del sector agrario frente a otros sectores. Sin embargo, la importancia relativa del sector primario en la actividad económica general es superior en España a la de la mayoría de los países de la UE-25. La causa de ello se encuentra en el efecto de la considerable incidencia de sistemas de producción basados en el regadío, y del alto valor de los productos tempranos o de primor, producidos en ciertas zonas del país.

El peso de la producción vegetal en la Producción Final Agraria está en torno al 60-65% (según fuentes), y el de la producción animal cerca del 35%, aunque ambas están muy interrelacionadas. Así, gran parte de los cereales producidos (e importados) tienen como fin la alimentación animal.

Analizando la contribución de las diferentes ramas de producción a la Producción Final Agraria, se obtienen los siguientes datos, para las diez primeras producciones. Los datos del periodo 2004-2005, se recogen en la Tabla1.

Tabla 1. Componentes de Producción Final Agraria Española, 2004-2005.

	MAPA (media 2002-2004)	INE (2001-2003)
Hortalizas	17,8%	16,9%
Frutas	13,9%	15,1%
Porcino	10,5%	11,2%
Cereales	11,8%	10,2%
Aceite de oliva	6,5%	6,1%
Bovino	6,3%	5,9%
Leche	5,7%	6,1%
Ovino y Caprino	4,4%	5,1%
Aves	3,9%	3,0%
Plantas Industriales	3,6%	4,0%

Fuente: Plan Estratégico Nacional de Desarrollo Rural. 2007-2013. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2006).

El sector agrario español se caracteriza por una buena y creciente productividad ligeramente superior a la media comunitaria de la UE15 y muy superior a la media de la UE25.

No obstante, es necesario profundizar en los datos de la Red Contable Agraria a nivel europeo para comprender las fortalezas y debilidades de este sector.

En relación al empleo, el sector agrario (agrícola, ganadero, caza y silvicultura) español, ha contado, en los últimos años, con una población activa media en torno al millón de personas. Esto supone una alta proporción de empleo en este sector, aunque con tendencia a la estabilización, en comparación con otros países de la UE. De la cifra total de personas empleadas en el sector agrario, aproximadamente, una cuarta parte son mujeres.

En los últimos años se ha producido un incremento del número de trabajadores asalariados en la agricultura, hasta alcanzar, prácticamente, el 30%. Es destacable la creciente llegada de inmigrantes jóvenes dispuestos a desempeñar empleos agrarios como asalariados. Este hecho ha influido positivamente en el rejuvenecimiento del sector.

En el sector agrario español es necesario un esfuerzo para mejorar el bajo nivel de formación de los agricultores y ganaderos, sensiblemente por debajo de la media europea. La baja formación tiene muchas consecuencias: ausencia de espíritu empresarial; la falta de conocimientos para mejorar la comercialización y el valor añadido de los productos y el bajo uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) como herramienta, tanto de gestión como en las relaciones comerciales.

Por último, se pueden resaltar otras características del capital humano del sector agrario español como es el alto grado de masculinización, o la importancia creciente de la agricultura y ganadería a tiempo parcial en algunas zonas.

España se encuentra en un proceso continuado de despoblamiento de la mayor parte de las zonas rurales. Por otra parte, las migraciones, internas y externas, se dirigen hacia zonas urbanas o rurales intermedias muy próximas a zonas urbanas, o hacia municipios con gran actividad económica y amplia existencia de servicios.

Desde el punto de vista agroambiental, se está produciendo una pérdida paulatina de las prácticas de cultivos tradicionales (como el barbecho o las rotaciones) y de los sistemas ganaderos extensivos basados en el pastoreo. Por otro lado, también, se está produciendo un empobrecimiento de la diversidad de variedades, razas y especies autóctonas.

Hay que destacar la importancia ecológica de las dehesas que ocupan una gran superficie en el oeste de España. Éstas son un ejemplo del equilibrio ecológico entre pastoreo y bosque mediterráneo, y es el lugar preferente para la cría de las razas autóctonas andaluzas.

Es evidente que existe una pérdida de actividad económica y social en las zonas rurales debido a diferentes motivos, como puede ser el abandono de la actividad agraria, la falta de oportunidades laborales o la diferencia de renta entre las zonas rurales y las urbanas. Por ello, se hace imprescindible diversificar la actividad económica de las zonas rurales y buscar nuevos yacimientos de empleo enfocados hacia grupos específicos de la población, por ejemplo, fomentando la incorporación de las mujeres al mercado laboral. El turismo, las actividades al aire libre o la interpretación del paisaje y la naturaleza, son aspectos hacia los que existe una creciente demanda de los ciudadanos.

Desde el punto de vista del capital humano, las zonas rurales a revitalizar se caracterizan por: la emigración de mujeres de diferentes edades, jóvenes de ambos sexos y personas cualificadas hacia otras zonas; un alto grado de envejecimiento de la población rural y una alta tasa de masculinización, lo cual dificulta la articulación del tejido social; una baja tasa de educación permanente; la falta de acceso a las tecnologías de la información en los hogares y empresas y, por último, una consideración social negativa de la vida en estos municipios que impide la captación de nuevos habitantes.

La actual Política de Desarrollo Rural, conforme al marco del Reglamento (CE) 1698/2005 del Consejo, desarrollada en el Plan Estratégico Nacional de Desarrollo Rural, están orientadas a la vertebración del territorio y a la mejora de la calidad de vida de los habitantes del mundo rural mediante el establecimiento de prioridades como: el fomento de la competitividad de las especies agrarias; la mejora del medio ambiente relacionada con la actividad agraria y la diversificación de la actividad económica en el medio rural.

2.2.2. Situación Socioeconómica Andaluza, según el Informe del Consejo Económico y Social de Andalucía de 2005

En términos de producción, el crecimiento real del PIB andaluz ha mostrado de forma paulatina niveles superiores a los de su entorno económico (España y la Unión Europea), dando lugar a que Andalucía se haya situado en este período entre las regiones españolas más dinámicas del conjunto español. En concreto, según los datos facilitados por el Instituto Nacional de Estadística (Contabilidad Regional de España, base 2000), la Comunidad Autónoma Andaluza registró entre 2000 y 2005 un crecimiento anual medio en términos reales del 3,65%, tan sólo superado por el crecimiento que experimentó la Región de Murcia (3,89%). Todo ello ha permitido incrementar en 5 décimas la participación que la producción andaluza tiene en el conjunto nacional desde 2000, hasta situarse en el 13,8% de la producción nacional.

Desde el punto de vista de la oferta, dicho crecimiento se ha basado en la aportación positiva de los sectores no agrarios, especialmente de los servicios y de la construcción, mientras que las ramas primarias (con excepciones en algunos años) han restado crecimiento a la producción andaluza. La Figura 1, muestra la evolución del VAB sectorial andaluz.

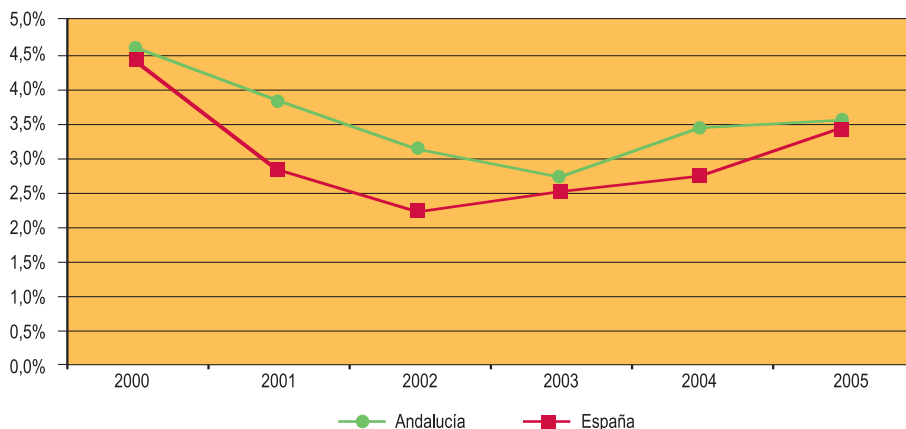


Figura 1. Evolución del VAB sectorial andaluz

La Figura 2 permite apreciar la intensidad del crecimiento de los distintos sectores productivos en el período considerado, destacando el dinamismo del sector de la construcción y, en menor medida, de los servicios, con tasas de crecimiento por encima del conjunto de la economía andaluza. Por su parte, el intenso ritmo de crecimiento de la actividad industrial a inicios de la década se ha visto atenuado, de forma progresiva, en los últimos años de la serie.

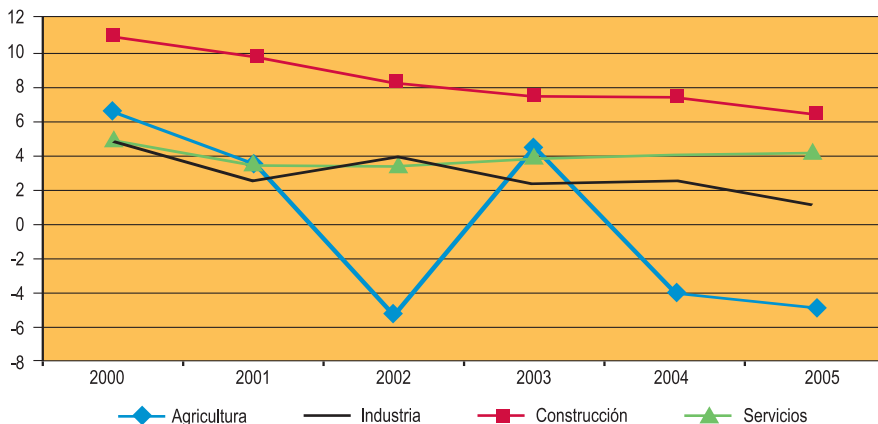


Figura 2. Evolución del VAB sectorial andaluz
(Tasas medias de variación anual. Índices de volumen encadenado. Año 2000=100)

Lo anterior ha dado lugar a ciertos cambios en la estructura productiva andaluza, de forma que se han producido variaciones en la participación que las distintas actividades tienen en la producción total regional. En la Figura 3, se puede apreciar la aportación al PIB andaluz, de diversos sectores.

Así, el intenso crecimiento del sector de la construcción ha supuesto que este sector incremente en más de cuatro puntos porcentuales su participación en la producción andaluza, entre 2000 y 2005. Dicho aumento, ha supuesto la pérdida de importancia relativa del resto de sectores productivos, fundamentalmente, de las ramas primarias y, en menor medida, de la industria y los servicios.

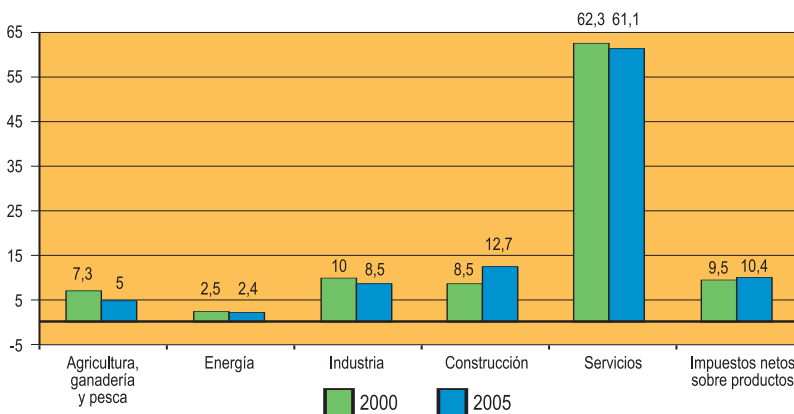


Figura 3. Estructura porcentual del PIB andaluz según componentes de la Oferta, 2000-2005. (Precios corrientes)

Por lo que se refiere a la situación laboral en el sector primario en Andalucía, según los datos de la Encuesta de Población Activa (EPA) del año 2005, el número de activos en

este sector ha continuado descendiendo aún más en este mismo año. En números absolutos, se contabilizaron 39.675 activos menos que el año anterior, lo que significa que la población activa descendió en el 2005 un 10,49%, respecto al 2004.

Este declive de los activos agrarios viene ocurriendo desde hace bastantes años y ha vuelto a superar en el año 2005 la bajada que se produjo en el año anterior. Algunas de las razones que explican este fenómeno pueden localizarse en el envejecimiento progresivo de la población, aunque también en el trasvase entre sectores, productivos andaluces ya que otros han aumentado su número de activos.

En cuanto a la Renta Agraria el sector primario se divide, principalmente, en dos ramas: la agraria y la pesquera. Dado que al ser la primera de ellas la que representa la mayor parte del VAB, únicamente se hará referencia a la actividad agraria. En la Tabla 2 se muestran los datos correspondientes a los componentes de la renta agraria andaluza para el periodo 2004-2005.

Tabla 2. Componentes de la renta agraria andaluza, 2004-2005.

	2004 10 ⁶ € corr	2004 10 ⁶ € ctes	2005 10 ⁶ € corr	2005 10 ⁶ € ctes	Participación (%)	Variación (%)
PF Agrícola	7.997,07	6.383,36	7.419,45	5.678,88	98,64	-11,04
PF Ganadera	1.443,40	1.090,02	1.228,60	977,10	16,97	-10,36
PF Forestal	164,43	128,68	147,48	120,24	2,09	-6,56
Otras	246,17	204,1	210,78	169,76	2,95	-16,83
PF Agraria	9.851,08	7.806,17	9.006,31	6.945,97	120,65	-11,02
VAB pm	7.190,97	5.900,42	6.565,54	5.247,69	91,15	-11,06
+ Subvenciones	1.554,85	954,13	1.442,27	851,00	14,78	-10,81
VAB cf	8.745,13	6.854,55	8.007,81	6.099,00	105,94	-11,02
- Amortizaciones	589,72	364,00	559,16	341,53	5,93	-6,17
Renta Agraria	8.155,41	6.490,55	7.448,65	5.757,15	100,00	-11,30
Ocupados Agrarios (10 ³)	250,3	250,30	271,08	271,08	-	8,3
Renta/Ocupado	32,58	25,93	27,48	21,24	-	-18,09

Fuente: Consejería de Agricultura y Pesca, Junta de Andalucía

La Renta Agraria en el 2005, fue de 7.448,65 millones de euros. Se sitúa, prácticamente, en el mismo nivel que en el 2003 -un 10% por debajo de la del 2004-, año en que alcanza un máximo histórico. El recorte de este año es coyuntural, fruto de los problemas meteorológicos del año agrícola, pero deja de manifiesto la fortaleza estructural del sistema agroalimentario andaluz, ya que la Renta Agraria ha aumentado un 11,52% desde el año 2001.

En cuanto a la Producción Final Agraria (PFA), su evolución se muestra en las Figuras 4 y 5. En ellas se puede observar que en la campaña del 2005 se produce un retroceso en la producción, tras el aumento que tuvo lugar en el 2004 en el que se elevó la producción hasta los casi 10.000 millones de euros.

En el año 2005, también se puede apreciar que han retrocedido todos los componentes de la (PFA), siendo el mayor descenso en el de “Otras Producciones”.

La PFA alcanza un valor importante: 9.006,31 millones de euros, inferior en un 8,58% a la del 2004, pero superior a la del 2003.

Desde 2001, como aparece en la Figura 4, la PFA ha experimentado ligeros altibajos, dependiendo de la situación del año agrícola al que se haga referencia, pero con una tendencia creciente. De hecho, en 1990 la PFA era de 4.423 millones de euros, lo que significa que se ha duplicado en estos quince años. En la Figura 5 se analiza la PFA a través de sus componentes.

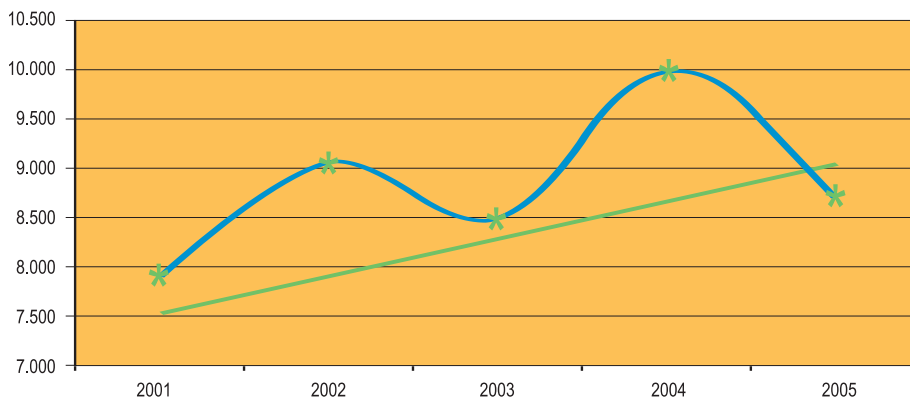


Figura 4. Evolución de la Producción Final Agraria

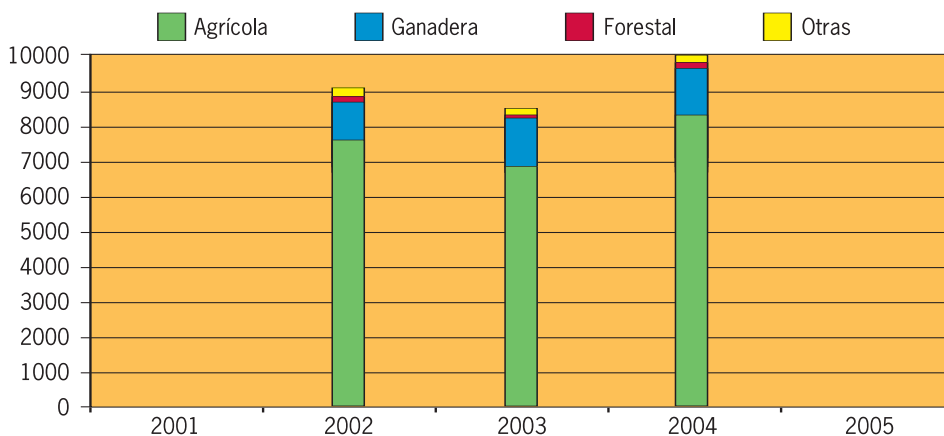


Figura 5. Evolución de la PFA y sus componentes: 2001-2005

En la Figura 6 se pueden observar los principales componentes de la PFA para el año 2005. En ese año, las ramas agrícolas representaron el 82,38% de la Producción Final Agraria (81,76% en valores constantes). Le sigue a continuación la producción ganadera que representa el 13,6% y por último se puede ver como la participación de la producción forestal y de otras producciones es muy pequeña.

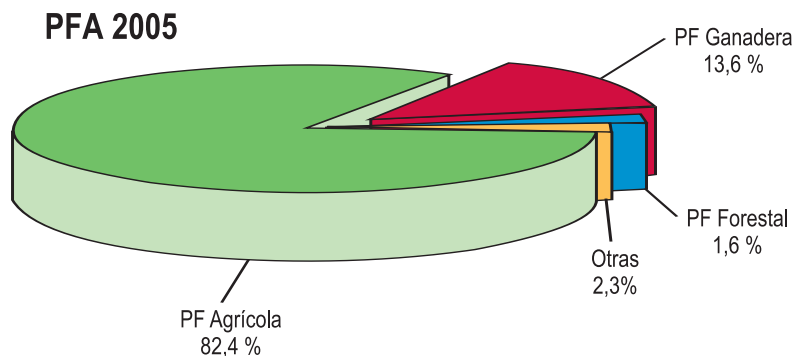


Figura 6. Principales componentes de la Producción Final Agraria, 2005

En lo que se refiere a la evolución de la población andaluza, los cambios experimentados por ésta a lo largo del último período intercensal 1991-2001, muestran, al igual que en España, los siguientes elementos más relevantes: la continua despoblación de las áreas rurales y la concentración demográfica en las áreas del litoral andaluz y las aglomeraciones metropolitanas; el aumento del flujo de inmigrantes extranjeros; la baja tasa de fecundidad y el continuado envejecimiento de la población.

A partir de los datos sobre Movimiento Natural de la Población del INE, en 2004, nuevamente Andalucía fue la segunda Comunidad Autónoma, detrás de Madrid, con un mayor crecimiento vegetativo (diferencia entre nacimientos y defunciones), alcanzando un saldo de 25.986 personas, superior al del pasado año. Este saldo positivo fue fruto de una natalidad (89.022) muy superior a la mortalidad (63.036). Además, el número de nacimientos en Andalucía ha sido muy superior al de todas las demás comunidades autónomas españolas. Por tanto, ha habido una recuperación de las tasas de natalidad y del crecimiento vegetativo en Andalucía, pero el incremento de la población de la región en los últimos años, y especialmente en 2004, se ha debido fundamentalmente a la notable afluencia de población extranjera. Así, según las estimaciones del Instituto de Estadística de Andalucía, el saldo migratorio, en cifras absolutas, ha pasado de 4.057 personas en el año 2000 a 21.060 en el 2004.

A continuación, en la Tabla 3, se representa la evolución anual de la estructura sectorial de la población activa, expresando la proporción de activos pertenecientes a cada uno de los cuatro grandes sectores (Agricultura, Industria, Construcción y Servicios). Aparte de la harto aludida especialización terciaria de las economías andaluza y española, que continúa aumentando un año más, los datos que aparecen en dicha tabla además de

manifestar la conocida particularidad agrícola andaluza muestran cómo el sector agrícola andaluz, y en menor medida el español, siguen perdiendo efectivos que se incorporan a los servicios.

Tabla 3. Estructura de la actividad en Andalucía y España

	2004				2005			
	A	I	C	S	A	I	C	S
Andalucía	11,9	10,4	14,8	62,9	10,5	10,8	14,7	64,0
España	6,0	17,7	12,6	63,9	5,5	17,1	12,5	64,8

Fuente INE, Encuesta de Población Activa (metodología 2005). En porcentaje del total de activos por sectores.

A = Agricultura; I = Industria; C = Construcción; S = Servicios.

En la Tabla 4 se muestra la evolución de la actividad por provincias y sectores, en el periodo 2004-2005. Analizando esta tabla, se ve que hasta 2004 se apreciaba un aumento de la proporción de activos que se sumaban a la construcción, en mayor medida en el caso andaluz que a nivel nacional. Sin embargo, parece que se ha podido alcanzar el techo en este sector, ya que en 2005 se aprecia un estancamiento en el porcentaje de activos

La especialización agrícola andaluza, aunque sigue manifestándose en las mismas provincias, ha experimentado algunas variaciones en 2005 en relación con 2004. Así, pasa a la primera posición Almería, a la que siguen Huelva y Jaén y después Córdoba. No obstante, todas éstas están claramente por encima de la media andaluza. Sin embargo, a su vez, todas las provincias andaluzas muestran una pérdida de efectivos, con la única excepción de Almería, que experimentó un crecimiento en 2005.

Tabla 4. Evolución de la actividad por provincias y sectores

Provincias	2004				2005			
	A	I	C	S	A	I	C	S
Almería	15,5	6,6	17,7	60,2	22,9	8,5	16,1	52,5
Cádiz	8,7	11,8	16,6	63,0	6,8	11,1	16,8	65,3
Córdoba	17,1	14,2	12,4	56,3	13,5	14,4	11,8	60,2
Granada	13,5	8,5	13,7	64,3	10,9	9,6	14,2	65,3
Huelva	18,7	10,1	15,7	55,4	15,7	10,2	17,5	56,5
Jaén	20,7	13,8	10,9	54,6	14,5	14,9	12,3	58,2
Málaga	5,7	7,8	19,4	67,1	4,7	7,9	17,3	70,2
Sevilla	9,5	11,0	11,9	67,6	8,3	11,8	12,4	67,5
Andalucía	11,9	10,4	14,8	62,9	10,5	10,8	14,7	64,0

Fuente INE, Encuesta de Población Activa (metodología 2005). En porcentaje del total de activos por sectores.

2.3. Importancia de la sanidad en la conservación de las razas en peligro de extinción

Para el estudio de las principales normativas en materia de sanidad animal, las dividiremos en cuatro subapartados: normativa sobre calificaciones y movimiento pecuario; enfermedades epidémicas; normativa reguladora del intercambio de esperma, óvulos y embriones; normativa sobre encefalopatías espongiiformes transmisibles.

2.4.1. Introducción

Es importante destacar la importancia de la sanidad animal en la conservación de los RGA, pues así se recoge en la exposición de motivos de la Ley 8/2003 de sanidad animal: “La sanidad animal se considera un factor clave para el desarrollo de la ganadería, y es de vital trascendencia tanto para la economía nacional como para la salud pública, así como para el mantenimiento y conservación de la diversidad de especies animales”.

Entre los factores que afectan de forma decisiva a la supervivencia de las razas, entre otros muchos, se pueden citar: la muerte de animales; problemas reproductivos; el sacrificio obligatorio dentro de los Programas Nacionales de Erradicación; muertes y sacrificios obligatorios por brotes epidémicos (fiebre aftosa, peste equina, peste porcina clásica, y otras); las restricciones al movimiento pecuario. Los animales objeto de intercambio deben estar exentos de enfermedades y sus espermas u óvulos y embriones no deben ser susceptibles de transmitir enfermedades.

La sanidad animal es un factor clave para el desarrollo de la ganadería, para la salud pública y para la conservación de la diversidad racial.

La armonización de las exigencias relativas a la protección de la salud animal implica una igualación de los niveles zoonosanitarios de las explotaciones. La protección de las calificaciones sanitarias obtenidas o en vía de obtención, suponen la aplicación, en su caso, de garantías adicionales y se fundamenta en la consideración de mantener un nivel zoonosanitario elevado.

Atendiendo a estos principios enunciados, la legislación fija las normas necesarias para la obtención de un determinado nivel mínimo sanitario, tanto por una explotación como por una región de la Unión Europea. El poseer este nivel para ciertas enfermedades es indispensable para poder participar en los intercambios.

Por ello, las enfermedades de los animales influyen de manera determinante por un lado, en los censos de una raza y por otro, en los movimientos entre las distintas explotaciones, por lo que por una parte se pierden animales y por otra puede que las explotaciones queden aisladas con lo que aumenta la consanguinidad o bien si no hay sementales, se vea abocada a la desaparición de estos rebaños. Así, los censos para que una raza se considere en peligro de extinción varían, dependiendo de las instituciones.

Las enfermedades de los animales afectan:

1. A la mortalidad de las ganaderías → Modificaciones en el censo.
2. A los movimientos entre las distintas explotaciones → Aislamiento → Aumento de la consanguinidad

2.4.2. Normativa sobre calificaciones y movimientos pecuarios.

En los planes de conservación de las razas hay que tener en cuenta la normativa que regula las distintas calificaciones sanitarias de las diferentes especies, así como los movimientos de animales entre las explotaciones. En este apartado se analizará las respectivas normativas para las especies : rumiantes, porcinos, équidos, aves y conejos.

2.4.2.1. Rumiantes.

En el caso de los rumiantes la normativa es la siguiente:

- Real Decreto 2611/96, de 20 de octubre, y modificaciones, por el que se regula los programas nacionales de vigilancia, prevención, control y erradicación de enfermedades de los animales.
- Real Decreto 1716/2000, de 13 de octubre, sobre normas sanitarias para el intercambio intracomunitario de animales de la especie bovina y porcina.
- Real Decreto 1939/2004, de 27 de septiembre por el que se regula la calificación sanitaria de las ganaderías de reses de lidia y el movimiento de animales perteneciente a éstas.
- Real Decreto 1941/2004, de 27 de septiembre, por el que se establecen las normas de policía sanitaria que regula los intercambios intracomunitarios y las importaciones de terceros países de animales de la especie ovina y caprina.
- Decreto 55/1998, de 10 de marzo, por el que se establecen los requisitos sanitarios aplicables al movimiento y transporte de ganado y otros animales vivos.
- Decreto 179/2003, de 17 de junio, por el que se modifica el Decreto 55/1998, de 10 de marzo, por el que se establecen los requisitos sanitarios aplicables al movimiento y transporte de ganado y otros animales vivos.
- Orden de 29 de noviembre de 2004, por la que se desarrollan las normas de ejecución de los programas nacionales de vigilancia, prevención, control y erradicación de las enfermedades de los animales en Andalucía.

En estas normas se regulan las condiciones para la obtención y el mantenimiento de las calificaciones sanitarias; los plazos para la realización de pruebas; las vacunaciones frente a brucelosis, así como también las restricciones sanitarias al movimiento pecuario.

Rebaños calificados de rumiantes.

Se entiende por rebaño calificado aquel que cumple los siguientes condicionantes:

- Si cuenta con bovinos: el que cuenta simultáneamente con estatuto sanitario B3 ó B4, T3 oficialmente indemne de leucosis enzoótica bovina y libre de perineumonía contagiosa bovina. Siendo:

B3 = explotaciones indemnes de brucelosis según lo establecido en el Real Decreto 1716/2000.

B4 = explotaciones oficialmente indemnes de brucelosis, según lo establecido en el Real Decreto 1716/2000.

T3 = explotaciones oficialmente indemnes de tuberculosis, según lo establecido en el Real Decreto 1716/2000.

y además:

- Si cuenta con ovinos o caprinos: el rebaño debe ser M3 ó M4 . Siendo:

M3 = explotaciones indemnes de brucelosis melitensis, según lo establecido en el Real Decreto 1941/2004.

M4 = explotaciones oficialmente indemnes de brucelosis, según lo establecido en el Real Decreto 1941/2004.

Los únicos movimientos permitidos a las explotaciones de producción y reproducción, de animales destinados a vida, son los realizados desde explotaciones calificadas.

Por otro lado, las explotaciones T2 negativa, B2 negativa y M2 negativa únicamente podrán recibir animales de explotaciones calificadas. Siendo:

T2 negativa = aquellas que, sin haber alcanzado aún la calificación de oficialmente indemne de tuberculosis bovina, todo el censo de la explotación, susceptible por su edad de ser examinado, haya superado, con resultado favorable, al menos una de las pruebas de diagnóstico previstas en el Real Decreto 1716/2000.

B2 negativa = aquellas que, sin haber alcanzado aún la calificación de indemne u oficialmente indemne de brucelosis ovina y bovina, todo el censo de la explotación, susceptible por su edad de ser examinado, haya superado, con resultado favorable, al menos una de las baterías de pruebas de diagnóstico previstas en el Real Decreto 1716/2000.

M2 negativa = aquellas que, sin haber alcanzado aún la calificación de indemne u oficialmente indemne de brucelosis, ovina y caprina todo el censo de la explo-

tación, susceptible por su edad de ser examinado, haya superado, con resultado favorable, al menos una de las pruebas de diagnóstico previstas en el Real Decreto 1941/2004.

Las explotaciones positivas T2+, B2+ y M2+ no podrán recibir animales mientras continúen en esta situación. Siendo:

T2 positiva = aquellas que, sin haber alcanzado aún la calificación de oficialmente indemne de tuberculosis bovina, al menos un animal, susceptible por su edad de ser examinado, no haya sido sometido a la totalidad de las pruebas de diagnóstico previstas en el Real Decreto 1716/2000, o no las haya superado con resultado favorable.

B2 positiva = aquellas que, sin haber alcanzado aún la calificación de indemne u oficialmente indemne de brucelosis bovina, al menos un animal, susceptible por su edad de ser examinado, no haya sido sometido a la totalidad de las baterías de pruebas de diagnóstico previstas en el Real Decreto 1716/2000, o no las haya superado con resultado favorable.

M2 positiva = aquellas que, sin haber alcanzado aún la calificación de indemne u oficialmente indemne de brucelosis, ovina y caprina al menos un animal, susceptible por su edad de ser examinado, no haya sido sometido a la totalidad de las pruebas de diagnóstico previstas en el Real Decreto 1941/2004, o no las haya superado con resultado favorable.

Por tanto, el problema de las explotaciones positivas es muy elevado al quedar aisladas, aparte de la pérdida que supone los animales que son sacrificados obligatoriamente.

2.4.2.2. Porcino.

En el caso del porcino la normativa más importante que regula las calificaciones y el movimiento entre explotaciones es la siguiente:

- Real Decreto 791/1979, de 20 de febrero, por el que se regula la lucha contra la peste porcina africana y otras enfermedades del ganado porcino.
- Orden de 21 de octubre de 1980 por la que se dan normas complementarias sobre lucha contra la peste porcina africana y otras enfermedades del ganado porcino en aplicación del Real Decreto 791/1979.

Estas dos normas anteriores, aunque vigentes en algunos de sus artículos, están derogadas o modificadas en la mayoría de ellos por las normas siguientes:

- Real Decreto 1071/2002, de 18 de octubre, por el que se establecen las medidas mínimas de lucha contra la peste porcina clásica.

- Real Decreto 546/2003, de 9 de mayo, por el que se establecen disposiciones específicas de lucha contra la peste porcina africana.
- Real Decreto 636/2006, de 26 de mayo, por el que se establecen las bases del programa nacional de lucha, control y erradicación de la enfermedad de Aujeszky.
- Real Decreto 1186/2006, de 13 de octubre, por el que se establecen las bases del plan de vigilancia sanitaria serológica del ganado porcino.
- Decisión de la Comisión (2001/618/CE) de 23 de julio de 2001 por la que se establecen garantías suplementarias en los intercambios intracomunitarios de animales de la especie porcina en relación con la enfermedad de Aujeszky, así como los criterios para facilitar información sobre dicha enfermedad, y por la que se derogan las Decisiones 93/24/CEE y 93/244/CEE.

Esta última normativa regula el número de chequeos de las enfermedades incluidas en los planes de seguimiento y vigilancia (Peste Porcina Africana, Peste Porcina Clásica y Enfermedad Vesicular Porcina), la frecuencia según su clasificación zootécnica, y las pruebas a realizar para el traslado de animales. Por otro lado se regula la clasificación de las explotaciones para la enfermedad de Aujeszky, los chequeos a realizar, el programa vacunal y los requisitos para el movimiento entre las distintas explotaciones.

2.4.2.3. Equidos.

En el caso de los équidos, las disposiciones son las siguientes:

- Real Decreto 1347/1992, de 6 de noviembre, por el que se modifican las normas de lucha contra la peste equina y se establecen las condiciones de sanidad animal que regulan los movimientos intracomunitarios de équidos y las importaciones de estos animales de países terceros.
- Decreto 55/1998, de 10 de marzo, por el que se establecen los requisitos sanitarios aplicables al movimiento y transporte de ganado y otros animales vivos.
- Orden de 28 de junio de 2001, por la que se desarrolla la expedición de la Tarjeta Sanitaria Equina y el movimiento de équidos.

2.4.2.4. Aves.

En el caso de las aves, son las siguientes:

- Real Decreto 1888/2000, de 22 de noviembre, por el que se establecen las condiciones de sanidad animal aplicables a los intercambios intracomunitarios y las im-

portaciones de aves de corral y de huevos para incubar, procedentes de países terceros.

- Real Decreto 328/2003, de 14 de marzo, por el que se establece y regula el plan sanitario avícola.
- Real Decreto 1084/2005, de 16 de septiembre, de ordenación de la avicultura de carne.
- Orden PRE/1377/2005, de 16 de mayo, por la que se establecen medidas de vigilancia y control de determinadas salmonelosis en explotaciones de gallinas ponedoras, a efectos del establecimiento de un Programa Nacional.
- Orden PRE/407/2006, de 14 de febrero, por la que se modifica la Orden PRE/1377/2005, de 16 de mayo, por la que se establecen medidas de vigilancia y control de determinadas salmonelosis en explotaciones de gallinas ponedoras, a efectos del establecimiento de un Programa Nacional, en lo relativo a la vacunación.

2.4.2.5. Conejos.

En el caso de los conejos es la siguiente:

- Real Decreto 1547/2004, de 25 de junio, por el que se establecen normas de ordenación de las explotaciones cunícolas.

2.4.3. Enfermedades epidémicas.

Por otro lado existen un conjunto de normas, que regula las enfermedades de declaración obligatoria recogidas en el Real Decreto 617/2007, de 16 de mayo, por el que se establece la lista de enfermedades de los animales de declaración obligatoria y se regula su notificación, alguna de ellas se ha nombrado antes, sin ánimo de ser exhaustivos las normas principales que regulan este tipo de enfermedades, aparte de los reglamentos, directivas y decisiones, son las siguientes:

- Real Decreto 1347/1992, de 6 de noviembre, por el que se modifican las normas de lucha contra la peste equina y se establecen las condiciones de sanidad animal que regulan los movimientos intracomunitarios de équidos y las importaciones de estos animales de países terceros.
- Real Decreto 1988/1993, de 12 de noviembre, por el que se establecen medidas de lucha contra la enfermedad de Newcastle.
- Real Decreto 650/1994, de 15 de abril, por el que se establecen medidas generales de lucha contra determinadas enfermedades de los animales y medidas específicas contra la enfermedad vesicular porcina, y modificaciones.

- Real Decreto 1228/2001, de 8 de noviembre, por el que se establecen medidas específicas de lucha y erradicación de la fiebre catarral ovina o lengua azul y las Ordenes que la desarrollan.
- Real Decreto 1071/2002, de 18 de octubre, por el que se establecen las medidas mínimas de lucha contra la peste porcina clásica.
- Real Decreto 546/2003, de 9 de mayo, por el que se establecen disposiciones específicas de lucha contra la peste porcina africana.
- Real Decreto 2179/2004, de 12 de noviembre, por el que se establecen medidas de lucha contra la fiebre aftosa.
- Real Decreto 445/2007, de 3 de abril, por el que se establecen medidas de lucha contra la influenza aviar, aparte de las Decisiones comunitarias, como la Decisión 2006/474/CE.

En ellas se recogen las actuaciones ante la sospecha y confirmación de las distintas enfermedades; las diferentes zonas de restricción; las prohibiciones y restricciones al movimiento pecuario; la vacunación en los casos que proceda; control de vectores; el sacrificio de animales enfermos o sospechosos y la duración de todas estas medidas.

2.4.4. Normativa sobre esperma, óvulos y embriones.

Es obligado destacar la normativa que regula el intercambio de material genético (semen, óvulos y embriones) dado que las medidas de conservación *ex situ* como son la inseminación artificial o la transferencia de embriones, pueden jugar un importante papel en las estrategias de conservación por motivos de bioseguridad, ya que es más seguro aplicar estas técnicas reproductivas que introducir un animal vivo en una explotación. Los bancos de material genético crionizado, especialmente embriones, es otra estrategia disponible de bioseguridad porque es posible su almacenamiento de cara a contingencias como pueden ser las enfermedades epidémicas y otras catástrofes.

Algunas disposiciones son las siguientes:

- Directiva 90/429/CEE del Consejo, de 26 de junio de 1990, por la que se fijan las normas de policía sanitaria aplicables a los intercambios intracomunitarios y a las importaciones de esperma de animales de la especie porcina.
- Real Decreto 855/1992, de 10 de julio, por el que se fijan las condiciones de policía sanitaria aplicables a los intercambios intracomunitarios y a las importaciones procedentes de terceros países de embriones de animales domésticos de la especie bovina.

Algunas disposiciones son las siguientes:

- Real Decreto 1148/1992, de 25 de septiembre, por el que se fijan las exigencias de sanidad animal aplicables a los intercambios intracomunitarios y a las importaciones de esperma de animales de la especie porcina.
- Real Decreto 1881/1994, de 16 de septiembre, por el que se establece las condiciones de policía sanitaria aplicables a los intercambios intracomunitarios y las importaciones procedentes de países terceros de animales, esperma, óvulos y embriones no sometidos, con respecto a estas condiciones, a las disposiciones contenidas en la Sección I del Anexo A del Real Decreto 1316/1992, de 30 de octubre.
- Real Decreto 2256/1994, de 25 de noviembre, por el que se fija las exigencias de policía sanitaria aplicables a los intercambios intracomunitarios y a las importaciones de esperma de animales de la especie bovina.

2.4.5. Normativa sobre encefalopatías espongiformes.

Por último, es necesario tener en cuenta la normativa que regula los programas de lucha contra las encefalopatías espongiformes transmisibles (EET). Entre las medidas que se recogen en esta normativa se encuentran las correspondientes a la selección de aquellos animales con genótipos resistentes a estas encefalopatías.

- Reglamento (CE) N° 999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de mayo de 2001, por el que se establecen disposiciones para la prevención, el control y la erradicación de determinadas encefalopatías espongiformes transmisibles.
- Reglamento (CE) N° 260/2005 de la Comisión de 16 de febrero de 2005 por el que se modifica el Reglamento (CE) no 999/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo referente a las pruebas de diagnóstico rápido.
- Real Decreto 3454/2000, de 22 de diciembre, por el que se establece y regula el Programa Integral coordinado de vigilancia y control de las encefalopatías espongiformes transmisibles de los animales.
- Real Decreto 1312/2005, de 4 de noviembre, por el que se establece el Programa nacional de selección genética para la resistencia a las encefalopatías espongiformes transmisibles en ovino, y la normativa básica de las subvenciones para su desarrollo.
- Real Decreto 1227/2006, de 27 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 1312/2005, de 4 de noviembre, por el que se establece el Programa nacional de selección genética para la resistencia a las encefalopatías espongiformes transmisibles en ovino, y la normativa básica de las subvenciones para su desarrollo.

3. PROBLEMAS MEDIOAMBIENTALES DE LA GANADERÍA

Se achaca a la ganadería, si no se actúa adecuadamente, efectos perjudiciales sobre el medio natural y ambiental. Así, se reconoce a los animales productivos como responsables del 18% de las emisiones de gases que produce el efecto invernadero. A ello se le puede agregar que las prácticas ganaderas pueden ser fuente de degradación del suelo y de los recursos hídricos.

Por ello, para la FAO si “el ganado es uno de los principales responsables de los graves problemas medioambientales actuales”, debe adoptarse medidas “urgentes para hacer frente a la situación”.

Una de estas medidas puede pasar por el cambio en la tendencia de la demanda de alimentos por parte de los consumidores, de forma que actualmente se inclina hacia las especies porcinas y avícolas, para que se consuma más los productos de bovinos, ovinos y caprinos, que pueda ser criada en sistemas extensivos, menos perjudiciales y más sostenibles.

Hay que ir al cambio en muchas de las prácticas que se aplican actualmente en el ámbito ganadero:

- Mejorar o cambiar los sistemas de la industria ganadera de forma sostenible evitando las emisiones de CO₂ y tratando el estiércol para reducir las emisiones de metano y nitrógeno.
- Evitar la pérdida de la biodiversidad, e integrar las razas autóctonas en zonas naturales o silvo-pastorales.
- Incrementar la eficacia de la alimentación y la cría de los animales, así como la sanidad pecuaria. Hay que afrontarse el problema que se crea en la alimentación animal al elevarse los precios de cereales y otros vegetales, como consecuencia de que actualmente se aprovechan en la creación de energía a través de la biomasa.
- Reducir la utilización de plaguicidas y el empleo de productos inadecuados en la alimentación animal, como medicamentos y metales pesados:
- Resituar los centros de producción pecuarios en zonas apropiadas para disminuir la contaminación y la eliminación de desechos.

Problemas medioambientales que puede ocasionar la ganadería:

- Emisiones de gases → Efecto invernadero.
- Degradación del suelo y de los recursos hídricos.

Medidas a tomar:

- Cambio en la tendencia de la demanda de alimentos (especies de cría extensiva).
- Cambios en la industria ganadera.
- Integrar las razas autóctonas en zonas naturales.
- Incrementar la sanidad pecuaria.
- Reducir el uso de plaguicida y productos inadecuados para la alimentación animal.
- Resituar los centros de producción.

Todo ello acompañado de medidas políticas y económicas para que el impacto social, que cualquier de las medidas puede llevar consigo, sea el menos perjudicial posible.

BIBLIOGRAFÍA

- Alonso Me. (1992). Biodiversidad y Quimiodiversidad. En: Alonso Me, editor. La Biodiversidad Neotropical. Mérida, Venezuela: Grupo de Química Ecológica, p 119-60.
- Brown, L. (1998). The future of growth. In: The State of the World 1998, World Watch Institute, USA, pp 21-40.
- F.A.O. 2000. World Watch List for Domestic Animal Diversity. Ed. Beate Scherf. F.A.O. Roma.
- Hammond, K. (1994). Conservation of Domestic Animal Diversity: Global Overview. In: Smith C, Gavora JS, Benkel B, Chesnais J, Fairfull W, Gibson JP, Kennedy BW, Burnside EB, editors. Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Vol. 21. Guelph, Ontario, Canada: University of Guelph, p 610.
- Hodges, J. (1990). Animal genetic resources. Impact Sci Soc. 158. pp 143-53.
- Hodges, J. 1999. Animal and values in society. Livestock Production Science. 58 : 159-190.
- Hodges, J. 2003. Science, Scientists and values. Livestock Production Science. 82 : 259-291.
- Oldenbroeck, J.K (1999). Genebank and the conservation of farm animal genetic resources. Oldenbroeck, J.K. (ed). DLO Institute for Animal Science and Health. The Netherlands.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (1995). Conservación de los recursos genéticos en la ordenación de los bosques tropicales. Serie Montes. Monografía No. 107. Roma: FAO; p 37.
- Ricardeau, G. et Flamant, Y. (1976). Maintiens de la variabilité génétique et conservation des races ovines françaises. Monografía, pp 67-87.
- Segnini, S. (1992). Medición de la diversidad de las especies. En: Alonso, Me edita La Biodiversidad Neotropical. Mérida. Venezuela.
- Tisdell, C. (2003). Socioeconomic causes of loss animal genetic diversity: analysis and assessment. Ecological Economics 45, pp 365-376.
- Upon, M. (1997). Intensification or extensification. Wichi has the lowest environmental burden. World Animal Review 88: 21-29.