

La enseñanza de la Mejora Genética Animal. ¿Qué, cuándo y dónde?

J. Piedrafita*

Grup de Recerca en Remugants, Departament de Ciència Animal i dels Aliments, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Barcelona

Resumen

Hasta hace unos veinte años, la Genética cuantitativa "clásica" constituyó el núcleo básico de la Mejora genética, si bien el espectacular desarrollo de la Genética molecular y la Genómica ha hecho que los mejoradores se hallen incorporando esta información a la teoría y a los programas de mejora. ¿Qué es lo que debemos enseñar a nuestros alumnos y con qué temporalidad debe llevarse a cabo? Una primera fase de la enseñanza se realiza en las escuelas de Ingeniería Agronómica y en las facultades de Veterinaria. El tiempo dedicado, así como los programas y la orientación de los mismos, es muy variable entre las distintas instituciones universitarias. El objetivo no es formar especialistas en mejora, sino aportar a los estudiantes unas ideas básicas que les permitan desenvolverse en su ámbito profesional. La formación de especialistas necesita de estudios de postgrado. En Europa se ofertan másteres de calidad que aportan la formación y experiencia adecuadas para trabajar profesionalmente en el campo de la mejora y, en su caso, iniciar una tesis doctoral, si bien algunas instituciones americanas extienden la formación teórica al periodo doctoral. Analizando la estructura de estos másteres y doctorados se observa que a la vez que se incorporan conocimientos genómicos, se potencia la enseñanza de estadística y de programación orientada al manejo de bases de datos fenotípicos, de chips de ADN y de secuenciación.

Palabras clave: Mejora genética, animales domésticos, enseñanza, universidad.

Abstract

Teaching of Animal Breeding. What, when, where?

Until about twenty years ago, "classical" quantitative genetics was the core of Animal breeding, although the dramatic development of Molecular genetics and Genomics has made breeders to be incorporating this information to the theory of animal breeding and breeding programs. What do we need to teach our students and how temporality should be conducted? A first phase of the teaching is done in Agricultural Engineering and Veterinary schools. The time spent as well as the programs and orientation is highly variable between different universities. The goal is not to train specialists in animal breeding, but provide students with some basic ideas that allow them to function in their professional field. Training specialists in animal breeding needs of graduate studies. In Europe, several masters provide quality training and appropriate skills to work professionally in the field of breeding and initiate a doctoral thesis, although some American institutions extend the teaching to the doctoral period. The analysis of the structure of these masters and doctorates shows that in addition to quantitative genetics they incorporate knowledge in Genomics, Statistics and Programming oriented to the management of phenotypic, DNA chips and sequence databases.

Key words: Animal breeding, teaching, university.

* Autor para correspondencia: jesus.piedrafita@uab.cat
<http://dx.doi.org/10.12706/itea.2015.022>

Introducción

Como señalan Johansson y Rendel (1971), la cría de los animales domésticos desde tiempo inmemorial ha implicado algún tipo de selección. Sin embargo, hasta bien entrado el siglo XX, la selección se fundamentaba en la experiencia que transmitían los criadores de una generación a la siguiente. De acuerdo con Lush (1945), los romanos del tiempo de Catón y Varrón explicaron las clases y tipos de animales que deberían seleccionarse como reproductores, aunque parece que no prestaron atención al registro genealógico del ganado, como habían hecho previamente los habitantes de Caldea, que nos legaron detalladas genealogías de caballos. No obstante, Varrón comenta la importancia de juzgar el valor de mejora de un macho por la calidad de sus descendientes, lo cual demuestra el reconocimiento de la prueba de descendencia e implícitamente del uso de genealogías.

Durante la Edad Media, el conocimiento de los mecanismos y leyes de la herencia avanzó muy poco. Ya en la Edad Moderna se publicaron en España dos compilaciones relevantes. La primera de ellas, se debe a Gabriel Alonso de Herrera (1513). En esta obra se explica con detalle las prácticas de la agricultura y, en particular, en su libro quinto se nos dice cómo deberían ser los animales de cría de distintas especies domésticas. La segunda de ellas, se debe a Miquel Agustí y fue publicada en 1617. A finales del siglo XIX se publicó también la obra de Prieto y Prieto (1883, 1907) donde hablaba de la cría del ganado vacuno y su mejora.

No obstante, Robert Bakewell (1725-1795) es señalado como el pionero de la mejora genética animal (Johansson y Rendel, 1971), a pesar de desconocer completamente la teoría de mejora genética formal, que se publicaría doscientos años más tarde. A partir de animales de procedencia diversa inició un programa de mejora, seleccionando aquellos individuos que él creía más idóneos para el

objetivo que perseguía. Asimismo practicó la consanguinidad durante varias generaciones a fin de conseguir la fijación del tipo, rechazando todos aquellos ejemplares que presentaban caracteres no deseados.

Los primeros libros genealógicos solamente contenían información acerca del pedigrí de los animales. No obstante, durante la última mitad del siglo XIX se desarrollaron métodos para medir y registrar la conformación y producción del ganado, iniciándose a su vez los primeros registros de producción y calidad de la leche de las vacas de numerosos rebaños. El registro de la producción fue el primer acontecimiento reseñable de los acaecidos en la cría y explotación animal desde la época de Bakewell.

España comenzó a adoptar con considerable retraso las prácticas de registro. La Diputación de Guipúzcoa estableció el libro genealógico de la raza Pirenaica en 1905 (Mendizábal et al., 2005). El control lechero comenzó en forma de iniciativas aisladas a mediados-finales de los años 20 del pasado siglo XX en Navarra (Nagore, 1951) y en Galicia (Fernández-Quintanilla (1946), citado por Alenda (2011)). No obstante, el establecimiento oficial de los libros genealógicos y el control de rendimiento por parte del Ministerio de Agricultura se produjo en 1933, y debieron pasar más de cuarenta años hasta que en 1967 se constituyeron los primeros libros genealógicos de la organización oficial de mejora (Orozco, 1987).

Los párrafos que preceden han dado una breve pincelada histórica sobre las actividades de mejora realizadas hasta la fecha. No es objetivo de este trabajo profundizar en la historia de la Mejora Genética y el lector interesado puede recurrir a los trabajos de Alenda (2011) y Blasco (2012).

Llegados a este punto podemos preguntarnos ¿qué es la Mejora? En la actualidad, la Mejora Genética Animal (*Animal Breeding* en inglés) puede definirse como "la aplicación práctica del análisis genético para el

desarrollo de líneas de animales domésticos adecuadas a distintos fines humanos"¹. Esta definición incluye la producción de alimentos y productos, así como servicios que atienden a las necesidades de la sociedad e intangibles relacionados con el área afectiva de las personas (actividades de búsqueda, de guía, deportivas y de ocio).

En lo que toca a la producción de alimentos, la mejora genética de los animales del siglo XXI debe contribuir a la seguridad alimentaria global a medio y largo plazo; es decir, la obtención sostenible de alimentos en cantidad suficiente, diversificados, de calidad y a precios que los consumidores puedan pagar (FABRE-TP 2011). Los principales valores de sostenibilidad son la protección ambiental (reducción de las huellas de carbono, nitrógeno y otros elementos contaminantes), el bienestar animal, que incluye la salud y la integridad de los mismos, el mantenimiento de la biodiversidad, la seguridad de los alimentos y la contribución de estos al bienestar del consumidor (Gamborg y Sandoe, 2005). Es obvio que dichos valores sólo podrán alcanzarse si se establecen sinergias entre los distintos factores de producción, pero también es cierto que la mejora genética deberá encuadrarse en este marco general de sostenibilidad.

Una vez definida la mejora genética y establecido el marco general en el que deben desarrollarse sus actividades, cabe plantearse las cuestiones que refleja el título de esta breve ponencia: ¿qué debe enseñarse a los futuros profesionales de la Producción Animal y más en concreto de la Mejora Genética?, ¿cuáles son las instituciones académicas que imparten los conocimientos? y ¿a qué nivel deben enseñarse los distintos conocimientos? En los párrafos que siguen intentaremos dar respuesta a estas preguntas.

Competencias

Utilizando la terminología actual, la formación de profesionales de la Mejora Genética Animal debe orientarse a la adquisición de competencias específicas en los siguientes grandes ámbitos, todos ellos relacionados con el diseño, organización y ejecución de Planes de Mejora:

1. Objetivos de selección, qué son y cómo se establecen.
2. Mecanismos que determinan la herencia de los caracteres de interés económico, su naturaleza y formas de cuantificarlos, con especial énfasis en los caracteres cuantitativos, así como la dinámica de los genes en las poblaciones.
3. Ordenación de los candidatos a la selección en función de su mérito genético.
4. Estrategias de apareamiento que permitan una respuesta a la selección óptima y el aprovechamiento de las diferencias genéticas entre poblaciones, así como el mantenimiento de la variabilidad genética y la biodiversidad.
5. Implementación de todos estos conocimientos en un plan efectivo de mejora.

Disciplinas científicas implicadas

Para desarrollar el primer ámbito, el alumno debe conocer los sistemas de producción animal, incluyendo las preferencias de los mercados, tener un conocimiento biológico de los caracteres implicados en la producción y tener conocimientos de economía. Asimismo es de capital importancia conocer las metodologías de registro de distintos caracteres

1. http://groups.molbiosci.northwestern.edu/holmgren/Glossary/Definitions/Def-A/animal_breeding.html

biológicos y productivos que puedan estar relacionados con los objetivos de selección.

El segundo de los ámbitos, así como los siguientes, requiere un conocimiento profundo de cómo se transmiten los genes (Genética Mendeliana), cuál es la estructura molecular de los mismos y los mecanismos implicados en la transmisión (Genética Molecular), cuál es su disposición y función en el genoma (Genómica) y cuál es el comportamiento de los genes en las poblaciones sometidas a distintas fuerzas evolutivas, naturales o inducidas por el hombre (Genética de Poblaciones). En relación con los caracteres de distribución continua, cuantitativos o complejos –según la denominación actual–, el trabajo de Fisher (1918) estableció un modelo de herencia poligénica (Modelo Infinitesimal) que no sería conocido ampliamente por la comunidad científica hasta la segunda mitad del siglo XX, tras la aparición del libro *Introduction to Quantitative Genetics* debido a Falconer (1960). Este libro revisaba el trabajo publicado por otros muchos autores y, tras unos capítulos dedicados a la Genética de Poblaciones, centraba su atención en la medida del parecido entre parientes, bajo el supuesto del modelo infinitesimal y las relaciones de parentesco genealógico, así como la magnitud en la que se heredan y relacionan los caracteres. Asimismo analizaba cómo puede determinarse la ordenación de los candidatos según su mérito genético a partir del valor mejorante predicho (valor relacionado con la acción aditiva de los genes) utilizando el fenotipo propio y/o de sus parientes, así como las consecuencias que ello tenía para la respuesta a la selección.

Años más tarde, Henderson generalizó la teoría de los índices de selección y sentó las bases para la construcción y desarrollo de la metodología BLUP (*Best Linear Unbiased Prediction*) que en los años siguientes se convirtió en la metodología estándar de evaluación genética del ganado (Henderson, 1973). Dicha metodología se desarrolló para caracteres de

respuesta categórica y asimismo en su versión bayesiana (Gianola y Fernando, 1986).

Los intentos de cuantificar el efecto de algunos de los genes que determinan los caracteres cuantitativos (*Quantitative Trait Loci* o QTL) con el fin de utilizarlos en la Selección Asistida por Marcadores han dado lugar a una larga lista de genes implicados, si bien su impacto sobre la mejora ha sido modesto (Blasco y Toro, 2014). En el inicio de este siglo se sentaron las bases teóricas de la Selección Genómica (Meuwissen *et al.*, 2001), la cual se ha podido desarrollar gracias al espectacular desarrollo de las técnicas de secuenciación acaecidas en la última década. Contando con el conocimiento de un gran número de SNP (*Single Nucleotid Polymorphism*) repartidos por todo el genoma, en distinto grado de desequilibrio de ligamiento, se han extendido los métodos de evaluación genética para incorporar esta información, particularmente a través del uso conjunto del parentesco genealógico y el genómico (Legarra *et al.*, 2009).

El cuarto ámbito se ocupa de analizar la respuesta a la selección bajo distintas estrategias de apareamiento: poblaciones cerradas, explotando el componente aditivo del genotipo, o bien cuando se cruzan poblaciones diferenciadas, lo cual explotaría el componente no aditivo (en este caso la heterosis). En conjunto se trataría de encontrar una estrategia óptima que permitiera un mayor y más positivo cambio genético de las poblaciones ganaderas, a la vez que se controla la variabilidad genética. Este ámbito se ha visto asimismo influido por la aplicación de la Selección Genómica, que por ejemplo en el ganado vacuno de leche ya es una práctica consolidada (Mäntysaari, 2014).

Por lo que se acaba de comentar, el desarrollo de la Mejora Genética como disciplina podría ser una historia de éxito. No obstante hemos de ser conscientes de que incluso las metodologías de selección de más reciente desarrollo son de hecho una simplificación

que sólo explota el componente aditivo del genotipo, cuando hoy se conoce la enorme complejidad del mismo. Debemos pensar que en un futuro, aparte de conocimientos genómicos, la teoría de mejora genética utilice conceptos de otras "ómicas", así como de la Biología de sistemas.

El quinto ámbito está relacionado con la orientación empresarial de la mejora como actividad económica. Un plan de mejora no se lleva a cabo por la única razón de cambiar las aptitudes de los animales, sino porque este cambio sea rentable en términos económicos y de servicio a la sociedad. La implementación de los planes requiere, aparte de conocimientos genéticos y de los sistemas de producción, capacidad de liderazgo y conocimientos sobre cómo desarrollar y hacer progresar a una empresa.

Las metodologías que hemos enumerado deben orientar la formación del experto en Mejora Genética. Examinaremos ahora cuáles han sido y son las posibilidades que se le ofrecen a un alumno interesado en obtener conocimientos de Mejora Genética tanto en España como en el extranjero.

La enseñanza de la Mejora Genética en los grados de las universidades españolas

Escuelas de Ingeniería Agronómica

La enseñanza reglada de la agricultura comenzó en la Escuela Central de Agricultura (Aranjuez) fundada en 1855, la cual se convertiría, tras diversos cambios de denominación y adscripción, en la actual Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, vinculada a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) (Anónimo, 1980). La enseñanza de la Mejora Genética en dicha escuela, así como en la de Valencia, que había echado a andar el curso 1960-1961, se remonta al plan del 1957 (Orden de 9 de mayo de 1962 (BOE,

1962)). Dicho plan constaba de un curso selectivo, otro de iniciación y cinco cursos específicos. En el cuarto curso de estos se incluía Mejora Genética como asignatura, con 5-6 horas semanales, dentro de la Sección de Fitotecnia y Zootecnia. El plan contemplaba asimismo la enseñanza de Genética, Estadística y de Zootecnia general, asignaturas que han formado parte desde entonces de los distintos planes de estudio de las escuelas de Ingeniería Agronómica. La enseñanza de la Genética ha estado generalmente vinculada a grupos docentes de genética vegetal. Este plan duraría poco, pues en breve apareció un nuevo plan de estudios (Órdenes de 20 de agosto de 1964 (BOE, 1964) y 29 de mayo de 1965 (BOE, 1965)) que reducía a cinco cursos académicos, dos comunes y tres de especialidad, la duración total de los estudios. En la especialidad de Zootecnia se contemplaba la asignatura Mejora Genética Animal, con una asignación de 6 horas semanales durante todo el quinto curso.

El siguiente plan de estudios tuvo como característica común la extensión a seis cursos académicos de los estudios de Ingeniero Agrónomo (siguiendo la Orden ministerial de 30 de julio de 1975 (BOE, 1975)) y ya fue propio de cada universidad. Madrid tuvo un nuevo plan en 1976 y Valencia en 1980. En ambos se mantuvo la Mejora Genética Animal con 5 y 6 horas semanales anuales en quinto curso. Se añadió pronto la escuela de Córdoba que incorporó la oferta de la especialidad de Zootecnia en la cual se explicaban 5 horas semanales de Mejora Genética Animal durante todo el curso.

A mediados de los 90 se volvió al currículum de cinco años, las especialidades pasaron a denominarse orientaciones o intensificaciones y en vez de Zootecnia se habló de Producción Animal; asimismo las asignaturas se dimensionaron en créditos (10 horas impartidas por crédito) en vez de en términos de horas semanales anuales. En las escuelas de

Madrid y Valencia la mejora genética se vio potenciada al establecer asignaturas como Genética de Poblaciones y Cuantitativa, Valoración de Reproductores y Mejora Genética de distintas especies, lo que en total suponía entre 15 y 18 créditos. En otras escuelas como las de Albacete, Córdoba, León, Lleida o Pública de Navarra, la Mejora supuso entre 4,5 y 10 créditos, siempre en un contexto de optatividad dentro de la especialidad de Producción Animal.

Esta situación se mantuvo hasta que comenzó la definición de los grados atendiendo a los requisitos de los planes Bolonia. Los actuales grados de cuatro años capacitan para el desarrollo profesional como Ingeniero Técnico Agrícola y en la actualidad son más de veinte el número de centros que ofertan estos estudios bajo una pléyade de denominaciones y orientaciones. Una característica común a la mayoría de planes es la drástica reducción de créditos ECTS (*European Credit Transfer System*) dedicados a la Mejora Genética –y también a la Genética–, la cual frecuentemente forma parte de asignaturas más amplias de Producción Animal, en algunos casos con un número de créditos que generalmente permiten al profesor superar poco más que el nivel de divulgación (Tabla 1). Cuando los contenidos de Mejora se integran en o con otros de Producción Animal es frecuente dar preeminencia a los aspectos aplicativos, una vez se ha explicado brevemente las ideas básicas.

Obviamente hay excepciones que merecen ser resaltadas. La escuela de Madrid ofrece Genética y Principios de Mejora (en el contexto vegetal), así como Mejora Genética Animal. También es obligatoria en los grados que ofrecen las universidades de Extremadura y Politécnica de Cataluña. La Universidad Pública de Navarra ofrece una optativa sobre Mejora del Animal y sus Productos y la Politécnica de Valencia tiene una oferta optativa que incluye Mejora Genética Animal así co-

mo Biotecnología para la Producción Animal y Marcadores Moleculares para la Conservación. Asignaturas que en su nombre incluyen la palabra Biotecnología (animal y/o vegetal) también podemos encontrarlas en las universidades de Almería, Castilla La Mancha, Católica de Ávila, Córdoba, Lleida, Sevilla y Valladolid.

Facultades de Veterinaria

En las facultades de Veterinaria la asignatura Genética apareció explícitamente por primera vez en el plan de estudios de 1931, el plan Gordón Ordás, y a partir de entonces se consolidó en todos los planes posteriores. Dicho plan contemplaba una asignatura denominada Genética Superior que formaba parte del año adicional que al Veterinario le concedía el título de Ingeniero Pecuario. Tendrían que pasar más de 40 años hasta que apareció la Resolución publicada el 25 de septiembre de 1973 (BOE, 1973), la cual permitía la especialización profesional del veterinario a partir del cuarto curso. Con base a esta resolución, las facultades publicaron en los años 1976 y 1977 sendos planes de estudio para el segundo ciclo, y en la especialidad de Producción Animal y Economía, apareció como materia obligatoria la Genética Especial, cuyos contenidos correspondían a la Mejora Genética.

Más adelante, el Real Decreto 1384/1991 (BOE, 1991), cumpliendo la normativa 78/1027/CEE sobre homologación de los estudios de Veterinaria a nivel europeo, establecería como materias troncales de licenciatura la Genética y la Cría y Salud Animal, esta última definida como “Aplicaciones genéticas a programas de mejora. Eliminación de factores letales y subletales para la resistencia a la enfermedad”, lo cual consolidaría la enseñanza de la Mejora en los estudios de Veterinaria. Los planes de estudios actuales se derivan de la Orden ECI/333/2008 (BOE, 2008), y establecen dentro de las competencias que debe adquirir el veterinario las siguientes:

1. Conocimiento y aplicación de las bases moleculares y genéticas de los procesos biológicos. Principios básicos de la biotecnología genética y de la genética de poblaciones.
2. Aplicaciones genéticas a programas de mejora y salud.

Los dos enunciados mantienen esencialmente los contenidos de la normativa anterior. En la actualidad, en las facultades de Veterinaria (Tabla 2), el número de créditos oscila entre 10 y 14, e incluyen asignaturas de Genética y de Mejora que aparecen bajo distintas denominaciones. Las asignaturas denominadas Genética incluyen contenidos de genética mendeliana, molecular y genómica, con distinta extensión, y pueden contener o no temas de genética de poblaciones. La genética cuantitativa es la base de los programas de Mejora Genética (o Cría y Salud Animal), si bien el énfasis que se hace en los distintos bloques es variable. Asimismo, las asignaturas de mejora, dependiendo de la facultad, incluyen un número mayor o menor de lecciones acerca de programas de mejora.

La mejora genética animal en otros grados

El grado de Ciencia y Salud Animal, impartido por la Universidad de Lleida, ofrece en relación con la Genética y la Mejora contenidos similares a los que se ofertan actualmente en las facultades de Veterinaria. De los centros no estrictamente relacionados con la agronomía y la veterinaria, el que ofrece una mayor oferta de asignaturas relacionadas con la Mejora probablemente sea la Facultad de Biociencias de la Universidad Autónoma de Barcelona, en la cual se puede cursar desde el año académico 2009-2010 un grado de Genética que tiene varias asignaturas obligatorias de 6 créditos ECTS relacionadas con el

campo que nos ocupa, en concreto, Genética de Poblaciones, Genética Cuantitativa y Mejora, Genómica, Bioinformática y Biología de Sistemas, así como Agrogenómica que se ofrece como optativa. Por otra parte, la Universidad de León, en su grado de Biotecnología, ofrece las asignaturas Modificación Genética en Animales, Técnicas Moleculares Aplicadas a la Mejora Genética y Aplicaciones de la Transgénesis Animal.

Másteres

Máster en Mejora Genética Animal y Biotecnología de la Reproducción²

Este máster se derivó del antiguo máster de Producción Animal que se impartía en el Instituto Agronómico Mediterráneo de Zaragoza (IAMZ). En la actualidad está organizado por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), con la colaboración del IAMZ, el *Institut Valencià d'Investigacions Agràries* (IVIA) y el Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Se trata de un máster de dos años que se imparte en español.

La primera parte del Máster (60 ECTS) tiene una orientación profesional y comprende clases lectivas, prácticas, mesas redondas y visitas técnicas. El primer trimestre se cursa en el Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos de la UAB. En esta parte (Materia 1: Genética Molecular) se estudian los contenidos básicos de Genética molecular, Genómica y Bioinformática. En total suponen 20 créditos ECTS.

El segundo y tercer trimestres se cursan en el Departamento de Ciencia Animal de la UPV, y abarcan dos materias. En la primera de ellas,

2. <http://acteon.webs.upv.es/>

Tabla 1. Enseñanza de la Mejora Genética Animal en los planes actuales de las Ingenierías Agrarias ordenadas alfabéticamente así como las universidades que las imparten (a partir de las guías docentes publicadas en las páginas web)
 Table 1. Teaching of Animal Breeding in the current studies of Agricultural Engineering in different universities sorted alphabetically (from the teaching guides uploaded in the websites)

Grado/ Universidad/ Asignatura	Créditos ECTS	Obligatoria / Optativa	Teoría-Práctica dedicadas a Mejora Genética o Biotecnología
Ingeniería Agraria y Alimentaria			
- <i>Universidad de Lleida</i>			
Bases de la Producción Animal	6		9 h + 6 h
Alimentación y Mejora Animal	6	Obligatoria	22 h
Biotecnología Agraria	6	Optativa	5 temas de 19
Ingeniería Agraria y del Medio Rural			
- <i>Universidad de León</i>			
Nutrición, Cría y Mejora Animal	6	Obligatoria	14 temas de 35
Ingeniería Agrícola			
- <i>Universidad de Almería</i>			
Anatomía, Fisiología y Mejora Genética Animal	9	Complemento	9 h
- <i>Universidad de Huelva</i>			
Producción de Rumiantes	6	Obligatoria	3 temas de 23
Producción de Monogástricos	6	Obligatoria	2 temas de 20
Producción de Cerdo Ibérico	6	Optativa	1 tema de 17
Producción Equina	6	Optativa	2 temas de 16
- <i>Universidad Politécnica de Cataluña</i>			
Sistemas de Producción Animal	6	Obligatoria	14 h (incluida Etnología)
Genética y Mejora	6	Obligatoria	21 h
- <i>Universidad de Salamanca</i>			
Biotecnología y Mejora Agraria	4,5	Obligatoria	7 temas de 23
Genética Agraria	4,5	Obligatoria	2 bloques de 5
Ingeniería Agropecuaria y del Medio Rural			
- <i>Universidad Católica de Ávila</i>			
Mejora Genética Animal y Vegetal	6	Obligatoria	7 temas de 17
Ingeniería Agroalimentaria			
- <i>Universidad de Girona</i>			
Fisiología y Genética Animal	6	Obligatoria	9 temas de 15

Tabla 1. Enseñanza de la Mejora Genética Animal en los planes actuales de las Ingenierías Agrarias ordenadas alfabéticamente así como las universidades que las imparten (a partir de las guías docentes publicadas en las páginas web) (continuación)
 Table 1. Teaching of Animal Breeding in the current studies of Agricultural Engineering in different universities sorted alphabetically (from the teaching guides uploaded in the websites) (continuation)

Grado / Universidad / Asignatura	Créditos ECTS	Obligatoria / Optativa	Teoría-Práctica dedicadas a Mejora Genética o Biotecnología
Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural			
- <i>Universidad de Burgos</i>			
Producción Animal	6	Obligatoria	3 temas de 21
- <i>Universidad de Córdoba</i>			
Caracterización, Diseño y Monitorización de Sistemas ganaderos	6	Obligatoria	6 h
Ingeniería y Monitorización de los Sistemas Extensivos de Producción Ganadera	9	Obligatoria	16 horas
- <i>Universidad Politécnica de Valencia</i>			
Bases de la Producción Animal	4,5	Obligatoria	15,8 h
Mejora Genética Animal	6	Optativa	Todas
Biotecnología en la Producción Animal	4	Optativa	No disponible
- <i>Universidad Pública de Navarra</i>			
Mejora del Animal y sus Productos	6	Optativa	Todas
Ingeniería de las Industrias Agrarias y Alimentarias			
- <i>Universidad de Extremadura (Centro Univ. de Santa Ana)</i>			
Genética y Mejora	6	Obligatoria	2 unidades de 9
- <i>Universidad de Extremadura (Badajoz)</i>			
Genética y Mejora	6	Obligatoria	1 tema de 11
Ingeniería de Explotaciones Agropecuarias			
- <i>Universidad de Extremadura</i>			
Genética y Mejora	6	Obligatoria	1 tema de 11
Ingeniería y Ciencia Agronómica			
- <i>Universidad Politécnica de Madrid</i>			
Genética y Principios de Mejora	4	Obligatoria	Todas (orientación a vegetal)
Mejora Genética Animal	4	Obligatoria	Todas

Tabla 2. Docencia de la Genética y la Mejora en los planes actuales de las facultades de Veterinaria
(a partir de las guías docentes publicadas en las páginas web)

Table 2. Teaching of Animal Breeding and Genetics in the Veterinary curriculum
(from the teaching guides uploaded in the websites)

Universidad / Asignaturas	Curso	Créditos ECTS (horas)
– <i>Universidad Complutense de Madrid</i>		
Genética	1	5,4
Mejora Genética	2	5,5
Cría y Producción animal I y II	3	(13 horas)
– <i>Universidad de Córdoba</i>		
Genética	1	6
Mejora Genética para la Cría y Salud Animal (*)	2	6
– <i>Universidad de León</i>		
Genética	2	6
Cría y Salud Animal (*)	3	6
– <i>Universidad de Zaragoza</i>		
Genética	2	6
Genética Cuantitativa, Genética Molecular y Mejora	2	6
Producción integrada de distintas especies	3	(13 horas)
– <i>Universidad Autónoma de Barcelona</i>		
Genética	2	4
Mejora Genética	3	6
– <i>Universidad de Extremadura (Cáceres)</i>		
Genética	1	6
Cría y Salud Animal (*)	2	6
– <i>Universidad de Murcia</i>		
Genética	1	6
Cría y Salud animal	5	6
– <i>Universidad de Santiago de Compostela (Lugo)</i>		
Genética Veterinaria	1	6
Cría y Salud Animal	2	4,5
Ingeniería genética animal (optativa)	2	3
– <i>Universidad de las Palmas</i>		
Genética	2	6
Mejora Genética Animal	2	7,5
– <i>CEU Universidad Cardenal Herrera (Valencia)</i>		
Genética y Biotecnología	2	5
Bases Genéticas de la Producción Animal	2	4
Programas de Mejora en distintas especies		
– <i>Universidad Alfonso X el Sabio (Madrid)</i>		
Genética	1	6
Cría	3	7

(*) Se incluyen programas de mejora de distintas especies.

Mejora Genética Aplicada, se desarrollan contenidos de Estadística, Genética Cuantitativa (incluyendo evaluación de reproductores), Gestión y conservación de recursos genéticos y Programas de mejora. En total se completan 27,5 créditos ECTS. La tercera materia, Biotecnología de la Reproducción tiene una extensión de 12,5 créditos ECTS.

La segunda parte del Máster (60 ECTS) constituye un periodo de iniciación a la investigación durante el cual se realiza la tesis de máster. Contempla cursar una cuarta materia, Principios y Técnicas Asociadas a la Investigación, que incluye además las asignaturas Análisis de Datos y Documentación Científica.

Máster en Genética y Mejora Animal (Animal Breeding and Genetics Master)³

Se trata de uno de los másteres más antiguos y con más tradición, basado en la escuela de Edimburgo. En la actualidad está organizado por el *Institut of Evolutionary Biology* y cuenta con colaboraciones del *Roslin Institut* y el *Scotland's Rural College*.

Es de hecho una especialidad de un máster más amplio (Máster en Genética Cuantitativa y Análisis Genómico), de un año, que incorpora un semestre común y otro de especialidad, en el que además se desarrolla la tesis de máster. En el semestre común se siguen cursos de Genética de Poblaciones y Cuantitativa, Estadística y Análisis de Datos y Análisis del genoma (incluyendo estudios de asociación y de ligamiento).

En el segundo semestre se estudian durante cuatro semanas las materias Principios de Mejora genética, Evaluación del mérito genético, Nuevos avances, Nuevos caracteres y Visión

general del sector de la mejora. El resto del año académico se dedica a la tesis de máster.

Máster Europeo de Genética y Mejora Animal (EMBAG)⁴

Se trata de un máster Erasmus Mundus construido a partir de másteres que se estaban impartiendo en las universidades que forman el consorcio (*Wageningen University*, Holanda; *University of Natural Resources and Life Sciences*, Austria; *AgroParisTech*, Francia; *Swedish University of Agricultural Sciences*, Suecia; y *Norwegian University of Life Sciences*, Noruega).

Se imparte en inglés y tiene una duración de dos años, en los que se incluye la realización de la tesis de máster. Los alumnos deben completar los estudios en dos universidades del consorcio. Los programas ofertados por las distintas universidades son variados e incluyen materias relacionadas con la Mejora Genética y también con otras especialidades como Producción Animal, Acuicultura o Agricultura Tropical. A efectos de analizar los contenidos impartidos, no obstante, nos fijaremos en las materias relacionadas con la Genética y la Mejora. Las asignaturas tienen diversas denominaciones en las universidades de origen, pero sus contenidos quedan resumidos en la Tabla 3.

Estudios de doctorado

Las instituciones académicas y de investigación, y también las grandes empresas, requieren especialistas con nivel de doctor. En Europa, los másteres proporcionan la formación especializada que da paso a la realización

3. <http://qgen.bio.ed.ac.uk/>

4. <http://www.wageningenur.nl/en/Education-Programmes/prospective-master-students/MSc-programmes/MSc-Animal-Sciences/Programme/European-Master-in-Animal-Breeding-and-Genetics.htm>

Tabla 3. Materias y créditos ECTS impartidos en el máster EMBAG según la universidad participante
 Table 3. Subjects and ECTS credits in the EMBAG master according to the partner university

Materia	UMB ¹	BOKU ²	APT ³	SLU ⁴	WU ⁵
Estadística	10 + 10	7	3		6
Genómica / Genómica estadística	10 + 10 + 5 + 5	4	5 + 2,5	10	6
Bioinformática	10	4		10	
Genética de poblaciones / Conservación	10 + 10	3	5	10	6
Genética cuantitativa	10 + 5	6 + 2	5	5	6 + 6
Programas mejora	10 + 5	5 + 1		10	6 + 4
Mejora de peces	5 + 10 + 10				
Organismos modificados genéticamente				10	
Genética de la salud / comportamiento				5 + 5	

¹Norwegian University of Life Sciences; ²University of Natural Resources and Life Sciences; ³AgroParisTech; ⁴Swedish University of Agricultural Sciences; ⁵Wageningen University.

de la tesis doctoral sin necesidad obligada de estudios formales adicionales, aunque estos pueden ser requeridos en algunos programas. En concreto en España, una vez superado un máster, se puede alcanzar el grado de doctor realizando la tesis doctoral en el seno de algún programa de doctorado de Producción Animal o de Genética, pues no existe un doctorado específico en Mejora Genética. En los Estados Unidos de América la formación para el doctorado incluye también cursos, siendo de hecho la obtención de un máster una etapa intermedia. De la documentación consultada haré referencia a los programas de doctorado de la *European Graduate School in Animal Breeding and Genetics*, *Iowa State University*, *University of Wisconsin* y de una iniciativa conjunta de enseñanza en línea de varias universidades estadounidenses.

European Graduate School in Animal Breeding and Genetics⁵

Se trata de un consorcio de universidades europeas que ofrecen estudios de doctorado de cuatro años de duración en el contexto de becas Erasmus Mundus. Lo constituyen *AgroParisTech* (coordinador), *Wageningen University*, *Aarhus University* y *Swedish University of Agricultural Sciences*, con la colaboración de *European Forum of Farm Animal Breeders*, *INRA Jouy-en-Josas Center*, *Iowa State University*, *University of Melbourne*, *International Livestock Research Institute* y *The WorldFish Center*.

Para obtener el doctorado se requiere un máster previo en Mejora Genética o materias afines y cursar 30 créditos, de los cuales 16,5 son cursos científicos avanzados (no se especifica más). La tesis doctoral se desarrollará

5. <http://www.egsabg.eu/>

bajo la supervisión de dos de las entidades participantes y el doctorando se obliga a realizar estancias en una y otra entidad. Se anima asimismo a los estudiantes a realizar un internado de tres a seis meses en una empresa o en uno de los centros académicos asociados.

Iowa State University⁶

La enseñanza de la Genética y la Mejora animal tiene una larga tradición en esta universidad, que arraiga ya en Lush y Hazel, dos de los fundadores de la Mejora Genética como disciplina. En la actualidad se plantean dos programas de doctorado en Genética y Mejora, cada uno de los cuales implica la especialización en Genética Cuantitativa y en Genética Molecular respectivamente. Se subraya, no obstante que las dos especializaciones hacen un importante hincapié en la integración de ambas disciplinas.

El grueso de los cursos comunes se basa en la Genética Cuantitativa y de Poblaciones, así como en la Estadística (17 créditos, no equivalentes a los créditos ECTS europeos), a los que se añaden 7 créditos variados. Se establecen tres especializaciones, Genética Cuantitativa, Genética Molecular e Inmunogenética, que requieren entre 20 y 22 créditos mayoritariamente específicos de esos campos. El programa requiere, no obstante, completar hasta 72 créditos de que serán aprobados por el comité de supervisión. Se debe asistir a seminarios de investigación a nivel de graduado y también a "*Journal clubs*".

University of Wisconsin (Madison)⁷

Como principio general, se establece que los estudios de posgrado en Genética y Mejora

Animal pueden seguirse en distintos campos que incluyen (aunque no se limitan a) la Genética Cuantitativa y Estadística, Genética Molecular, Bioinformática y Genómica Funcional. Dada la diversidad de áreas de estudio, no hay un programa único especificado para estos estudios.

El estudiante de doctorado debe completar a lo largo de tres años un total de 32 créditos de cursos de posgrado en los que no hay requisitos específicos (aparte de inscribirse en el Seminario de Mejora Genética cada semestre). El itinerario (*track*) viene determinado por el estudiante y su supervisor, con la aprobación del comité de mentores. El programa está organizado por los departamentos *Animal Science* y *Dairy Science*, pero un importante bloque de cursos es impartido por otros departamentos y facultades (*Biochemistry, Computer Sciences, Genetics, Statistics, School of Veterinary Medicine*).

A modo de ejemplo, un itinerario en Bioinformática contendrá asignaturas de Análisis de secuencias, Estrategias de mapeo génico, pero también de Estadística, Computación, Métodos numéricos y, en menor medida, de Genética Cuantitativa. Como contrapartida, un itinerario en Genética Cuantitativa y Estadística incluirá cursos sobre Genética Cuantitativa y de Poblaciones, pero además incorporará un gran contenido de cursos sobre Estadística y en menor medida de computación.

Enseñanza en línea

Se acaba de citar dos programas de calidad y prestigio de los Estados Unidos. A pesar de lo que pudiera esperarse, el número de estudiantes de dichos programas es reducido (Ro-

6. <http://www.ans.iastate.edu/section/abg/>

7. <http://www.ansci.wisc.edu/students/areas/genetics.pdf>

han Fernando, comunicación personal) y quedaría muy por debajo del número requerido para mantener un máster en el sistema universitario español actual. En otras universidades americanas como norma tienen sólo 3-5 estudiantes de máster y 1-2 de doctorado. Si a esto se suma una disminución progresiva del personal académico experto en Genética y Mejora animal, la situación se hace prácticamente insostenible y el sistema americano podría ser incapaz de proporcionar expertos que puedan cubrir las necesidades del sector ganadero, la docencia y la investigación. Atendiendo a estas consideraciones, el USDA (*United States Department of Agriculture*) financió en 2007 el inicio de un currículum en línea a nivel de graduado en el campo de la Genética Cuantitativa. Posteriormente en 2011, dicho currículum se expandió para integrar conocimientos genómicos (Lewis *et al.*, 2014). A tal efecto se creó un consorcio de siete universidades (*Virginia Tech, University of Nebraska-Lincoln, Colorado State University, North Carolina State University, Iowa State University, Kansas State University, South Dakota State University y University of Georgia*) con el objetivo de sumar esfuerzos para desarrollar dichos cursos en línea⁸ que puedan servir como formación complementaria de los programas existentes en Genética y Mejora Animal.

Discusión

La mejora de las poblaciones se ha venido realizando de forma empírica casi desde el momento en que el hombre se hizo ganadero. No obstante, no podemos hablar de Mejora Genética hasta que las distintas ramas de la Genética aportaron la base científica, ya en el siglo XX. En un principio la Mejora Genética como disciplina se basó fundamentalmen-

te en la Genética Cuantitativa y se enfocó a caracteres económicos de importancia inmediata y fácil medida. Esta fue la base de los programas de mejora desarrollados en la segunda mitad del siglo XX. Con el nuevo siglo, el marco en el que se debe desarrollar la mejora se ha hecho más exigente, al incorporar conceptos de sostenibilidad, bienestar y salud animal y asimismo de conservación de la biodiversidad. Por otra parte, si analizamos con perspectiva la evolución de las metodologías implicadas en la Mejora genética, vemos que ya desde los años 70 del pasado siglo se han ido incorporando nuevos conceptos y técnicas estadísticas y computacionales. Esto se ha acentuado y acelerado en el presente siglo XXI con la irrupción de distintas técnicas moleculares y en particular de las técnicas de secuenciación masiva.

La enseñanza de la Mejora Genética se ha venido desarrollando en las escuelas de Ingenieros Agrónomos desde los años 60 del pasado siglo y en las facultades de Veterinaria desde mediados de los 70. En las escuelas de Agrónomos la Mejora Genética ha sido básicamente una disciplina vinculada a la especialidad de Zootecnia y su enseñanza llegó a gozar de su máximo esplendor en los años 90 en las escuelas de Madrid y Valencia. En los planes recientes ha sufrido una clara regresión al convertir los estudios de Ingeniero Agrónomo en un grado de cuatro años, siguiendo las directrices del plan Bolonia. La existencia de una gran diversidad de planteamientos docentes (recordemos que sólo en tres escuelas es asignatura obligatoria la Mejora Genética –y con un número limitado de créditos–) nos debe llevar a reflexionar sobre cuáles deben ser los mínimos y el enfoque adecuado de los conocimientos que debe adquirir el estudiante de Ingeniería agrónómica en relación con la Mejora Genética. Se

8. <http://www.enbgeo.soe.vt.edu/index.php>

sugiere que una pregunta que debería saber responder cualquier alumno de la rama de Producción Animal es cómo se eligen los reproductores de forma que sean más rentables que los de la generación anterior (Alenda, comunicación personal).

En las facultades de Veterinaria, al ser la docencia regulada por normativa de la Unión Europea, se han incorporado a los planes de estudio desde el año 1991 la Genética y Cría y Salud Animal (Mejora Genética) como materias obligatorias. Es cierto que el número de créditos es semejante en las distintas facultades, pero el énfasis que se hace en los distintos apartados del programa es variado y hace que los objetivos de la docencia de la Mejora Genética, como sucede en las escuelas de agrónomos, sea una cuestión abierta a discusión.

En cualquier caso, del análisis de las competencias y conocimientos que se pueden adquirir hoy en día en los centros universitarios españoles a nivel de grado se desprende que los alumnos, en el mejor de los casos, pueden tener conocimientos que les permitan entender cómo se ha hecho la mejora y valorar el trabajo de las empresas y/o asociaciones implicadas en la mejora. Algunos programas incluso aportan al alumno una información importante tanto en Genómica como en Mejora para poder seguir con éxito estudios especializados de posgrado. A pesar de ello, la formación es claramente insuficiente para trabajar como especialistas en mejora genética sin haber adquirido competencias y aptitudes adicionales que requerirán estudios de posgrado.

En España se ofrece el Máster en Mejora Genética y Biotecnología de la Reproducción que sirve como especialización profesional mediante cursos que incluyen conocimientos de Genética molecular y Genómica, Genética Cuantitativa, Programas de Mejora y Biotecnología de la Reproducción. Másteres de un nivel semejante pueden cursarse en Edimburgo y en el Consorcio liderado por la *Wa-*

geningen University (EMABG). La formación que se adquiere puede servir para dirigir la recogida de datos y organizarlos en bases informatizadas, así como para realizar el análisis preliminar de la información y evaluaciones genéticas rutinarias. La tesis de máster supone además una iniciación a la investigación que abrirá la puerta a un futuro doctorado.

La formación de mayor nivel de conocimientos puede obtenerse cuando se extiende el estudio de asignaturas de posgrado a más de un año académico. Tal es el caso de las universidades de Iowa y Wisconsin, por citar dos ejemplos significativos, en las cuales es requisito cursar asignaturas durante los tres primeros años de los estudios de doctorado en Genética y Mejora animal. Tanto una como otra reconocen especialidades estrechamente interconectadas (Genética cuantitativa, Genética molecular, Bioinformática, Inmunogenética), pero que en el caso de Wisconsin alcanzan una personalidad nítidamente diferenciada. Sobre todo en las especialidades de Genética cuantitativa, una característica común es que se hace cada vez más hincapié en la formación estadística y de programación, incluyendo el manejo de grandes bases de datos. De hecho, en las ofertas de trabajo que continuamente aparecen en distintos medios, tanto para el ámbito académico como para el empresarial, además de los conocimientos genéticos y genómicos, los conocimientos de estadística y computación suelen ser un requisito imprescindible.

Se ha comentado la irrupción de nuevos datos y conocimientos procedentes de la Genómica, los cuales han hecho evolucionar los métodos clásicos de la Genética Cuantitativa. Esta evolución ya se recoge en los programas de máster y de doctorado más avanzados. No obstante, el estudiante de Mejora Genética –y los que trabajamos en esta especialidad– debemos estar preparados para desarrollar y asumir nuevos modelos que surjan del conocimiento e integración de nuevos datos “ómicos” y de la

Biología de sistemas. A buen seguro, una amplia formación en estadística y computación serán de gran ayuda para continuar con el necesario aprendizaje a lo largo de toda la vida profesional. Para ello, la asistencia a congresos y asimismo el seguimiento y participación en foros como Acteon⁹, AnGenMap¹⁰ y DAD-net¹¹ serán también claves para mantener actualizados nuestros conocimientos.

Por otra parte, de cara a hacer efectiva la aplicación de los programas de mejora, sobre todo en aquellas especies en las que la base de selección está dispersa en distintos rebaños pertenecientes a diferentes propietarios (caso por ejemplo del bovino de carne, ovinos, caprinos y caballos), se hace necesaria la formación básica en Mejora Genética de los responsables de dichos rebaños. Este es un aspecto que a medida se descuida en nuestro país, pero que ha sido reconocido por ejemplo en los Estados Unidos, y ha sido objeto del desarrollo de programas específicos (Lewis *et al.*, 2014).

Agradecimientos

Este trabajo me fue propuesto por Miguel Pérez Enciso para ser presentado como ponencia en la XVII Reunión Nacional de Mejora Genética Animal, celebrada en el *Centre de Recerca en Agrogenòmica* (Bellaterra) los días 5 y 6 de junio de 2014. Manolo Baselga, Juan Manuel Serradilla y Miguel Toro aportaron información detallada de los planes de estudios de sus respectivas escuelas (Valencia, Córdoba y Madrid), e Isabel Burguete me informó acerca del nuevo plan de estudios de Veterinaria de Murcia. Juan Manuel Serradilla se ocupó también de sintetizar en

una tabla la información correspondiente a los actuales planes de estudios de las escuelas de Ingeniería Agronómica. Finalmente, Luis Varona realizó valiosas sugerencias sobre la primera versión del manuscrito y Rafael Alenda mantuvo en el Foro Acteon una viva discusión relativa al desarrollo de la Mejora en España. A todos ellos quiero expresarles mi mayor agradecimiento, al igual que a un revisor anónimo y a las personas que confeccionaron las guías docentes de las asignaturas y otras informaciones relevantes y las pusieron a nuestro alcance en internet.

Bibliografía

- Agustí M (1617). *Llibre dels secrets de agricultura, casa rústica y pastoril*. Estampado por Esteue Liberòs, Barcelona. Disponible en: <http://www.luisvives.com/FichaObra.html?Ref=3589&portal=1>
- Alenda R (2011). La historia de la mejora genética. En: *La Veterinaria a través de los tiempos* (Ed. J Lafuente y Y Vela), pp. 177-192. Servet, Zaragoza.
- Alonso de Herrera G (1513). *Obra de agricultura*. Impreso por Arnao Guillén de Brocar, Alcalá de Henares. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/centenario/ediciones.aspx#para1> o <http://bibdigital.rjb.csic.es/spa/Libro.php?Libro=258>
- Anónimo 1980. *Historia de las Escuelas Técnicas de Ingeniería Agronómica*. Escuela Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid.
- Blasco A (2012). Animal breeding methods and sustainability. En: *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology* (Ed. RA Meyers), pp. 389-405. Springer, Nueva York, EE. UU.

9. <http://acteon.webs.upv.es>

10. <http://www.animalgenome.org>

11. <https://dgroups.org/fao/dad-net>

- Blasco A, Toro M (2014) A short critical history of the application of genomics to animal breeding. *Livestock Science* 166: 4-9.
- BOE (1962). Orden de 9 de mayo de 1962 por la que se aprueban los planes de estudios en las Escuelas Técnicas Superiores. *Boletín Oficial del Estado*, 19 de mayo de 1962, núm. 120, pp. 6750-6758.
- BOE (1964). Orden de 20 de agosto de 1964 por la que se establecen las enseñanzas de los dos primeros cursos de las Escuelas Técnicas de Grado Superior, de acuerdo con la ley de 29 de abril de 1964. *Boletín Oficial del Estado*, 22 de agosto de 1964, núm. 202, pp. 11082-11083.
- BOE (1965). Orden de 29 de mayo de 1965 por la que se establecen las enseñanzas de los cursos tercero, cuarto y quinto de Escuelas Técnicas Superiores, de acuerdo con la Ley 2/1964, de 20 de abril. *Boletín Oficial del Estado*, 3 de junio de 1965, núm. 132, pp. 7989-7994.
- BOE (1973). Resolución de la Dirección General de Universidades e Investigación por la que se determinan las directrices que han de seguir los planes de estudio de las Facultades de Veterinaria. *Boletín Oficial del Estado*, 25 de septiembre de 1973, núm. 230, pp. 18630-18631.
- BOE (1975). Orden de 30 de julio de 1975 por la que se amplía el número de cursos académicos de los planes de estudios de las Escuelas Técnicas Superiores. *Boletín Oficial del Estado*, 1 de agosto de 1975, núm. 183, pp. 16336.
- BOE (1991). Real Decreto 1384/1991 de 30 de agosto por el que se establece el título universitario oficial de licenciado en Veterinaria y las directrices generales propias de los planes de estudio conducentes a la obtención de aquél. *Boletín Oficial del Estado*, 30 de septiembre de 1991, núm. 234, pp. 31770-31773.
- BOE (2008). Orden ECI/333/2008, de 13 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Veterinario. *Boletín Oficial del Estado*, 15 de febrero de 2008, núm. 40, pp. 8355-8357.
- FABRE-TP (2011). Strategic Research Agenda. Disponible en: <http://www.fabretp.info> (21 de mayo de 2014).
- Johansson I, Rendel J (1971). *Genética y Mejora animal*. Ed. Acribia, Zaragoza. 567 pp.
- Falconer DS (1960). *Introduction to Quantitative Genetics*. Ed. Oliver & Boyd, Edimburgo/Londres, Reino Unido. 380 pp.
- Fernández-Quintanilla C (1946). Influencia de la época de parto y de la individualidad sobre el rendimiento lechero de la vaca gallega. *Misión Biológica de Galicia, INIA. Cuaderno número 73*.
- Fisher RA (1918). The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 52: 399-433.
- Gamborg C, Sandøe P (2005). Sustainability in farm animal breeding: a review. *Livestock Production Science* 92(3): 221-231.
- Gianola D, Fernando RL (1986). Bayesian methods in animal breeding theory. *Journal of Animal Science* 63: 217-244.
- Henderson CR (1973). Sire evaluation and genetic trends. *Proceedings of Animal Genetics and Breeding Symposium. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA*, 10-41.
- Legarra A, Aguilar I, Misztal I (2009) A relationship matrix including full pedigree and genomic information. *Journal of Dairy Science* 92: 4656-4663.
- Lewis RM, Spangler ML, Lockee BB, Enns RM, Enns KJ, Dekkers JC, Maltecca C, Cassady JP, MacNeil MD, Gould CA, Boggs DL, Misztal I, Pollak E (2014). Filling the knowledge gap: integrating quantitative genetics and genomics in graduate education and outreach. *Proceedings of 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, 17-22 agosto 2014, Vancouver, Canadá*.
- Lush JL (1945). *Animal Breeding Plans* 3ª Ed. Iowa State University Press, Ames. (Edición facsímil de 1984). 443 pp.
- Mäntysaari EA (2014). Challenges in industry application of genomic prediction. Experiences from dairy cattle. *Proceedings of 10th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production, 17-22 agosto 2014, Vancouver, Canadá*.

- Mendizábal JA, Ibarbia JR, Etxaniz JM (2005). Aportaciones a la historia de la raza vacuna Pirenaica. Paradigma de la zootecnia española. *Archivos de Zootecnia* 54: 39-50.
- Meuwissen TH, Hayes BJ, Goddard ME (2001). Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics* 157: 1819-1829.
- Nagore D (1951). Veinticinco años de control lechero. Diputación Foral de Navarra, Pamplona. 72 pp.
- Orozco F (1987). *Genética y mejora animal: una historia de divorcios y maridajes*. Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid.
- Prieto y Prieto M (1907). *Tratado del ganado vacuno*. 2ª edición, corregida y anotada por Pedro Moyano y Moyano. Hijos de D J Cuesta, Madrid.
- (Aceptado para publicación el 30 de marzo de 2015)