

Incorporación tecnológica en mejoramiento genético de pollos de engorde, pasado, presente y futuro

S. Avendaño¹

Aviagen Limited, Gran Bretaña. Director Global de Genética – Grupo Aviagen

The impact of R&D in broiler breeding: past, present and future

ABSTRACT. This paper describes the close relationship between Research and Development (R&D) applied to broiler breeding and the global broiler industry. An historical perspective of the use R&D is given in the context of the gene flow from elite populations to commercial tiers of the industry. The impact of global breeding goals on a range of commercially important traits is described. The role of R&D in the long-term improvement of broiler elite populations is discussed. This paper is presented from the point of view of Aviagen, a global distributor of poultry breeding stock globally.

Key words: Broiler Breeding, R&D

RESUMEN. Esta ponencia describirá la relación estrecha entre Investigación y Desarrollo (I+D) aplicada al mejoramiento genético del pollo de engorde y la industria global de producción de carne aviar. La I+D se pondrá en el marco del flujo de genes desde el núcleo de mejora a los estratos comerciales de la industria y en una perspectiva histórica en términos de objetivos de selección e impacto a nivel de producto comercial. Debe destacarse que los conceptos vertidos se originan desde la óptica de Aviagen, una compañía global de mejora y distribución de genética aviar.

Palabras clave: Mejoramiento genético avícola, I & D.

La producción de carne aviar en el contexto global de producción de carnes

La carne avícola es una de las mayores fuentes de proteína para consumo humano a nivel mundial. En veinte años, desde 1987 a 2007 la producción global de carne registró un incremento desde 136.7 a 285.7 millones de toneladas métricas (MTM), (FAO, 2009). En el mismo período, la carne aviar registró un espectacular crecimiento desde 35.9 a 86.8 MTM, incrementando su cuota en el mercado de carnes global, de 26.3% a 37.2%. Este factor de crecimiento de 2.4 veces, constituye el mayor crecimiento con respecto al resto de las carnes, seguida por 1.81 cerdos, 1.61 ovinos y 1.21 vacunos. Proyecciones recientes elaboradas por OECD/FAO (2011) indican que para el 2020, sobre un total de 339,51 MTM producidas globalmente, 37% corresponderán a cerdos, 36% a aves, 22% a vacunos y 5% a ovinos. Según este estudio, en la próxima década hasta el 2020 la carne aviar registrará el mayor crecimiento con respecto a las

demás carnes, 27.4% comparado con 19.7% para cerdos, 22.4% para ovinos y 13.2% para vacunos. El crecimiento en la producción global de carnes en esta década hasta el 2020 estará marcada por una expansión de los países denominados ‘en desarrollo’ los que contribuirán con un 78% del incremento en la producción de carne a nivel mundial. En este contexto, el sector avícola explicará el 27.4% del crecimiento total, de los cuales 19.9% y 7.5% corresponderán a países ‘en desarrollo’ y ‘desarrollados’, respectivamente (OECD/FAO, 2011).

De acuerdo con OECD/FAO (2011), el mayor crecimiento proporcional en demanda de carnes a nivel global se registrará en las economías en expansión en Asia/Pacífico con 56% y Latino-América y el Caribe con 18%, seguidas por moderados incrementos de entre 7-8% en América del Norte, Europa y África. El mercado futuro global de carnes estará caracteri-

¹Autor para la correspondencia, e-mail: savendano@aviagen.com

zado por un sostenido alto valor de las materias primas y las raciones OECD/FAO (2011). Esto profundizará la necesidad de cambios tecnológicos dirigidos a aumentar la eficiencia de utilización de alimentos y de insumos en general. En términos aún más generales, el sistema global de producción de alimentos experimentará presiones sin precedentes en los próximos 40 años. Por un lado, el crecimiento de la población mundial, actualmente estimada en 7 billones y proyectada a crecer a 9.3 billones en 2050 (UN, 2010), el incremento de la riqueza creando una demanda por dietas más variadas y de alta calidad,

y por otro lado la competición por tierra, agua y energía, en un contexto donde los efectos del cambio climático serán progresivamente más evidentes (Foresight Report, 2011).

La industria avícola, con su característico ciclo de producción corto y la más baja relación alimento/carne de las cuatro especies productoras de carne a nivel global tiene oportunidades inmejorables para continuar consolidándose como un pilar fundamental para proveer alimentos accesible a una creciente población mundial.

El flujo de genes y su impacto en la industria avícola de carne

La estructura de la industria avícola de carne es típicamente piramidal (Figura 1) integrando todos los actores de la cadena industrial, desde el programa de selección al sector comercial. El flujo de genes se origina en el ápice de la pirámide donde se seleccionan las poblaciones elite o de pedigrí. En este estrato se concentra la inversión en I+D enfocada a lograr la mayor precisión de selección. Los siguientes tres estratos de multiplicación corresponden a los bisabuelos (GGP), abuelos (GP) y reproductores (PS). Los estratos de pollo de engorde y procesamiento son a los que el consumidor final accede.

La mejora genética originada en las poblaciones de pedigrí tarda entre 4 y 5 años en expresarse a nivel del pollo comercial, es decir, las decisiones de selección tomadas en 2011 tendrán un efecto a nivel comercial en 2015, o lo que es lo mismo, la performance del pollo de engorde en 2011 es el producto de la selección ocurrida en 2007. La relación de apareamiento típica a nivel de pedigrí es de un macho y diez hembras y la contribución estimada de un grupo de apareamiento, a nivel comercial luego de los estadios de multiplicación, es de 50 millones de po-

llos comerciales o aproximadamente 70.000 toneladas métricas de carne.

Dada la integración vertical de la industria avícola, la transferencia del flujo de genes y la mejora genética a los estratos comerciales es total. En contraste, en vacunos de carne y ovinos, Amer *et al.* (2007) estima que en el Reino Unido la contribución de reproductores registrados a la población comercial es 15% para vacunos y entre 30% y 40% para ovinos. En este sentido es importante destacar que en la industria avícola las predicciones de mejoramiento genético son continuamente evaluadas por el sector comercial (reproductores y pollo de engorde) estableciendo un lazo intrínseco entre el programa genético y los estratos comerciales de la industria. La magnitud del efecto de la selección genética a nivel comercial pone de manifiesto la relevancia de una apropiada definición de los objetivos de selección anticipando requerimientos del mercado (e.j. precios de materias primas) y al mismo tiempo incorporando una enorme variedad de 'feedback' proveniente de un amplio rango de actores tales como clientes, consumidores, gobiernos y ciencia y tecnología.

Contribución del mejoramiento genético a la performance de productos comerciales

La contribución del mejoramiento genético a la performance del producto comercial a lo largo de décadas de selección ha sido estimada comparando poblaciones control y productos comerciales. Havesteyn *et al.*, (2003 a,b), comparando una línea control de 1957 con un genotipo comercial de 2001, estimó diferencias entre los dos genotipos, luego de 44 años, de 3.1 kg de peso vivo y 9.9% de rendimiento de pechuga. Estos espectaculares cambios en performance corresponden a tasas genéticas anuales de 70 gr de peso vivo (2% por encima de la media) y 0.2%

de rendimiento de pechuga. Para peso vivo este estudio estimó que 80% del incremento corresponde a mejoramiento genético. Combinando la influencia genética y nutricional el genotipo de 2001 logró el mismo peso en un tercio del tiempo y con un factor de eficiencia de conversión tres veces mejor. Estas ganancias genéticas son puestas en un contexto general de estimaciones de mejora genética para animales domésticos y maíz por Hill (2008).

En estudios realizados por Aviagen Ltd (Fleming *et al.*, 2007a) comparando tres líneas control de 1972

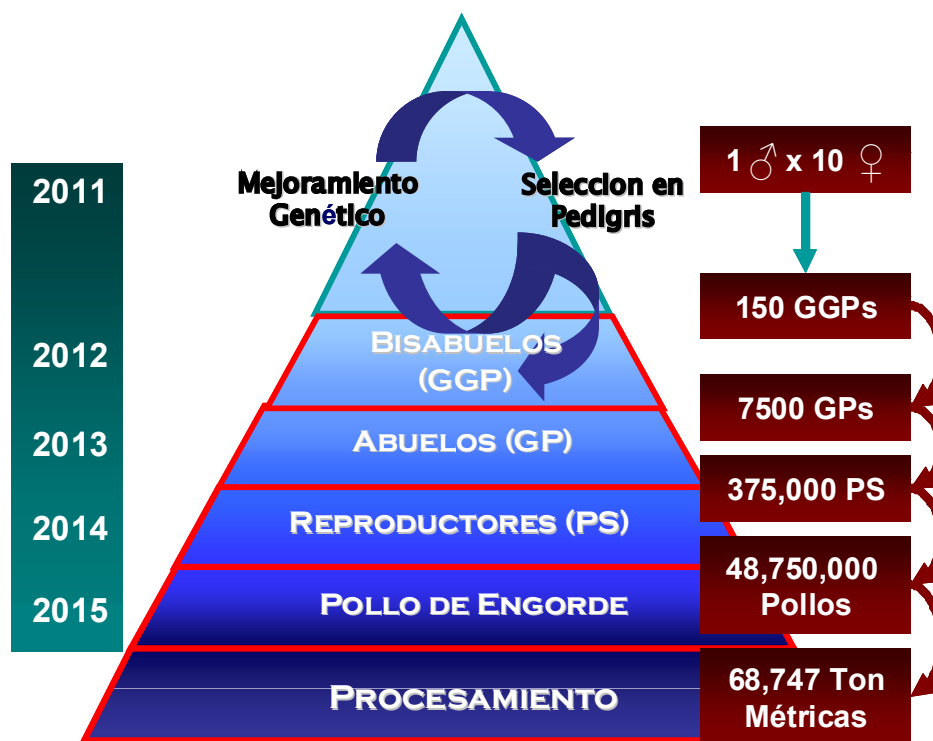


Figura 1. Flujo de genes y estructura de la industria avícola de carne

(C) con tres líneas puras modernas de 2005 (M) las diferencias en performance fueron las siguientes: peso vivo promedio a los 42 días 2595 gr (M) y 1216 gr (C); eficiencia de conversión (ganancia de peso/alimento consumido) ajustada a 2 kg, 1.66 (M) y 2.23 (C); rendimiento de pechuga ajustada a 2 kg, 173 g/kg (M) y 113 g/kg; mortalidad a los 42 días, 4.2% (M) y 3.9% (C) y proporción de pollos libres de defectos de patas, 75% (M) y 68% (C). Por otro lado, Fleming *et al.*, (2007 b) encontró que los cambios en composición corporal se asociaron con un menor contenido de grasa total y abdominal y una mayor respuesta al suministro proteico que las líneas control. Estos estudios ponen de manifiesto que la selección genética ha mejorado significativamente caracteres de importancia económica sin comprometer la viabilidad y el soporte esquelético del pollo de crecimiento.

Datos provenientes de la industria también indican mejoramientos sostenidos de la performance de productos comerciales. Laughlin (2007) con datos del Reino Unido desde 1971 a 2003, reporta un mejoramiento continuado de 37.5 gr de peso vivo a los 42 días y una significativa mejora en eficiencia de conversión en términos de una reducción de 1.6 gramo de alimento/gramo de ganancia de peso. Datos recientes (provenientes de un servicio de reporte de industria privado) reportan similares tendencias en USA, para el período 1995-2010, se presentan los si-

guientes mejoramientos anuales: 40 grs de peso vivo, reducción de 0.5 días para alcanzar 2.27 kg (5 libras), mejora en eficiencia de conversión de 1.6 (gr alimento/kg peso vivo), incremento de 0.040% en viabilidad y reducción de 0.046% en descarte de carcasas en faena. Estas mejoras significativas en la performance del pollo de engorde han sido acompañadas en el mismo período por una mejora en las características reproductivas, con un incremento de 0.3 pollitos por gallina alojada por año y una reducción de -0.26% en la mortalidad durante puesta.

La mejora en FCR tiene a su vez un impacto potencial directo en los requerimientos globales de uso de tierras para la producción de cereales. En un mercado anual global de aproximadamente 440 millones de reproductores y un total aproximado de 55 billones de pollos de crecimiento, una reducción en los requerimientos de ración de 20 gramos por kg de peso vivo por año para lograr un peso vivo de 2.4 kg, reduciría los requerimientos de alimento a nivel global en 2,7 millones de toneladas de ración por año. Esto equivale potencialmente a un área combinada de maíz y soja de 700.000 hectáreas por año (Aviagen, cálculos propios). Esto pone de manifiesto la magnitud de la importancia del aumento acumulativo y continuado en eficiencia de producción de carne en el potencial de la industria avícola de carne para proveer alimentos accesibles a una población creciente a nivel mundial.

Objetivos de Selección Globales

En los últimos 40 años los objetivos de selección en avicultura han evolucionado dramáticamente (Laughlin, 2007). Desde 1960, donde el peso vivo era casi exclusivamente el único carácter de selección, a la actualidad donde normalmente son considerados un amplio grupo de caracteres no sólo relacionados a la producción y reproducción, sino también vinculados al soporte metabólico y esquelético, a la sobrevivencia y a la salud durante los períodos de engorde y puesta. Actualmente, los candidatos a la selección son evaluados y seleccionados por más de 40 características asociadas a los rasgos biológicos previamente mencionados.

En cuanto a caracteres de producción en el pollo de engorde, mejoras sostenidas en crecimiento, eficiencia de conversión alimenticia (FCR), rendimiento de carcasa y viabilidad, tienen un efecto directo en el resultado económico a nivel comercial. Dado el incremento y variabilidad de los precios de materias primas a nivel global, la mejora en FCR tiene un enorme peso relativo. El costo del alimento se estima en 70% de los costos totales de producción (Weller, 2009), y el mejoramiento en FCR tiene un impacto directo en la reducción de los requerimientos de alimento por unidad de producto. Por otra parte, el mejoramiento en FCR tiene efectos positivos a nivel de impacto ambiental a través de la reducción de los requerimientos de agua y la producción de efluentes. En este sentido, el impacto ambiental de la producción animal a través de la emisión de gases invernadero antropogénico (GHG, kg-CO₂equ/kg producto) es materia de escrutinio a nivel global. Estudios utilizando técnicas de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) concuerdan en indicar que la producción avícola es la que menos GHG emite comparada con bovinos de carne, cerdos y ovinos (e.g., Leip *et al.*, 2010). El bajo impacto de la producción avícola comparada con otras especies es atribuida a las altas ganancias genéticas, en particular FCR y ganancia diaria (Genesis Faraday, 2007a).

La aplicación de índices de selección balanceados son necesarios para permitir que las mejoras en caracteres productivos sean acompañadas de mejoras en el sistema de soporte esquelético y metabólico. Desde la década de los 70' el programa genético de Aviagen incluye una minuciosa evaluación de la salud clínica y subclínica de patas. Mackay *et al.* (2000) ilustra la efectividad de estas técnicas en la reducción de la incidencia de problemas locomotores y metabólicos dentro del programa de mejora genético.

Actualmente, las metas de selección están orientadas a conferirle a los productos comerciales de po-

llo de engorde la habilidad de expresar el potencial genético en un rango amplio de ambientes, sistemas de producción y desafíos a enfermedades. Esto es logrado a través de la definición de objetivos e índices de selección balanceados que combinan información proveniente de ambientes contrastantes y de un amplio rango de grupos biológicos diferentes.

El rol de la Investigación y Desarrollo (I+D)

La investigación y el desarrollo tecnológico han tenido históricamente y tienen actualmente un rol preponderante en la mejora genética avícola, y Laughlin (2007) provee una reseña histórica en este sentido. A continuación, se mencionan ejemplos de I+D aplicada en áreas estratégicas del mejoramiento genético de pollos de engorde en el contexto del programa de mejora genética de Aviagen.

Evaluaciones Genéticas

La transferencia de mejora genética desde los núcleos de poblaciones élite a la industria global, depende de una constante inversión en I+D para el desarrollo continuo de técnicas de registros y evaluación genética. Las evaluaciones genéticas se realizan utilizando sofisticadas herramientas estadísticas que permiten predecir el mérito genético de los candidatos a la selección con la más alta precisión. El uso de evaluaciones genéticas multivariadas utilizando la metodología BLUP es estándar y se extiende desde inicios de la década de 1990. Sistemáticamente, se estiman las correlaciones genéticas entre caracteres de producción en ambientes contrastantes, y entre estos y diferentes grupos biológicos, viabilidad y soporte esquelético y metabólico, y performance reproductiva y calidad de huevo. Actualmente dentro del programa genético de Aviagen, se procesan más de 2,000 evaluaciones genéticas por año dando soporte a cuatro programas de mejora, dos de pollos y dos de pavos.

Selección multi-ambiente

El desarrollo de productos comerciales y su distribución a nivel global requiere conferir al producto comercial el potencial genético para expresar las características de importancia económica y capitalizar la inversión en los mejores ambientes de producción y al mismo tiempo expresar la rusticidad necesaria para afrontar situaciones ambientales sub-óptimas. En este sentido, la consideración de la interacción genotipo-ambiente es esencial, ya que el ambiente de selección puede diferir notoriamente del ambiente de producción. Las estimaciones de parámetros genéticos en diferentes ambientes de producción realizadas por Aviagen Ltd, indican que la correlación genética entre el crecimiento, eficiencia de conversión

y viabilidad, en ambientes contrastantes, puede variar desde 0.7 a 0.5. La trascendencia de estas estimas es que el mismo carácter, es un proceso biológico diferente dependiendo del ambiente de producción.

A modo de ejemplo, desde el año 2000 Aviagen, ha establecido un sistema de recolección de registros en granjas que incorporan un rango de desafíos que se encuentran usualmente en situaciones de producción comercial. Estos desafíos incluyen calidad de la dieta sub-óptima, desafío inmune y gastrointestinal, así como, rangos de temperatura y humedad característicos de regiones templadas, sub-tropicales y tropicales. En los ambientes de desafío la viabilidad y los caracteres de producción se registran en hermanos y hermanas de los candidatos a la selección. De esta manera, la información generada en ambientes similares al de granjas comerciales se utiliza directamente para la evaluación de los candidatos a la selección, los cuales se encuentran en ambientes bioseguros donde el objetivo es permitir la expresión del potencial genético para características de crecimiento, viabilidad y soporte metabólico y esquelético.

Eficiencia de conversión

El uso de jaulas individuales para la medición de la eficiencia de conversión en candidatos a la selección es un procedimiento estándar utilizado en la industria de la genética avícola desde la década del 80'. Este método si bien es y ha sido efectivo para la medición del potencial genético a diferentes edades y combinaciones de calidad física y nutricional de la dieta, no refleja el ambiente comercial, en el cual la eficiencia de conversión se expresa en grupos y bajo competencia.

Desde 2004 Aviagen. ha incorporado la medición de eficiencia de conversión en corrales grupales utilizando la tecnología de los *transponders* que permite registrar y monitorear el consumo individual de alimentos de manera continua y obtener la eficiencia de conversión de candidatos a la selección en situación de competencia. Este desarrollo tecnológico ha permitido estudiar la estructura del comportamiento alimenticio y estimar que su heredabilidad es moderada a alta en el rango de 0.24 a 0.57 (Howie et al, 2009 y 2011). La trascendencia de estas estimas es que la mejora genética del comportamiento alimenticio puede ser optimizada para mejorar la eficiencia de conversión en función del tipo de ambiente y la utilización óptima de los recursos alimenticios.

Ultrasonido para predecir rendimiento de carcasa

La predicción del rendimiento de pechuga y canal en candidatos a la selección se realiza combinando la apreciación visual de la conformación física y mediciones no invasivas utilizando técnicas de ultrasonido. Estas últimas combinan medidas lineales

y predicciones de áreas en secciones longitudinales de la pechuga (*pectoralis mayor* y *menor*). Debe resaltarse que para viabilizar el escaneo de todos los candidatos previo a la selección, la interpretación de la imagen de ultrasonido debe realizarse automáticamente a razón de aproximadamente dos individuos por minuto. La combinación de la conformación física y las medidas de ultrasonido, permiten estimar rendimiento de pechuga en animales vivos con precisiones de hasta 80%.

Soporte esquelético y metabólico

La salud esquelética y metabólica es un requisito indispensable de cualquier producto comercial exitoso. El programa genético de Aviagen Ltd tiene una larga historia de selección por caracteres relacionados a la salud de patas. Desde la década de los 70' todos y cada uno de los candidatos a la selección con un defecto de patas clínico ha sido rechazado en el proceso de selección, por lo tanto no contribuyen a futuras generaciones de individuos elite. Esto permitió no solo la identificación de los individuos que expresaban el problema, sino también el descarte de individuos sin defectos provenientes de familias de alta incidencia, permitiendo una selección efectiva contra un rango amplio de defectos. Este mismo principio fue aplicado a la mejora de la sobrevivencia durante el engorde, los cuales se reflejan las estadísticas a nivel de la industria mencionadas en la sección anterior. A finales de la década del 80' se introdujo como herramienta de selección el Lixiscope, un dispositivo de rayos X que permitió detectar la incidencia clínica y sub-clínica de Discondroplasia Tibial (TD), la sustitución de hueso por cartílago en la cabeza del fémur. Tal como se mencionó anteriormente, todos los individuos con incidencia clínica o sub-clínica de TD son removidos del programa de mejora genética.

En cuanto a soporte metabólico, desde principios de la década del 90' la utilización de técnicas de oximetría han permitido la medición de la concentración de oxígeno en sangre como un indicador de la susceptibilidad a desarrollar ascitis y muerte súbita. La selección continua de individuos y familias con valores genéticos por encima de la media de la población por la capacidad de transportar oxígeno en sangre, ha permitido una reducción notoria de Ascitis y muerte súbita a nivel de la industria. Por otro lado esta selección ha permitido extender la frontera de los ambientes de producción de pollos de engorde, siendo actualmente frecuente el engorde a alturas mayores a 1,800 metros por encima del nivel del mar.

La información Genómica - una nueva frontera

La investigación en tecnologías genómicas en avi-

cultura es actualmente un área de intensa actividad en el desarrollo de paneles de marcadores genéticos de alta densidad y de métodos y herramientas estadísticas para su implementación en programas prácticos de mejora (Avendaño, *et al.*, 2010). A diferencia de vacunos y ovinos, los paneles de marcadores genéticos utilizados en aves en la actualidad han sido desarrollados de manera privada por las compañías de mejoramiento genético no siendo disponibles de manera comercial. Actualmente, Aviagen, está abocada al desarrollo de un panel de 500,000 marcadores genéticos distribuidos a lo largo del genoma del pollo, el cual se constituirá en el primer panel disponible a nivel comercial.

La incorporación de información genómica aplicada a la selección genética avícola presenta enormes oportunidades para el mejoramiento de la precisión en la estimación de los valores genéticos de una amplia gama de caracteres de selección, en particular aquellos de baja heredabilidad y para aquellos en

los cuales no se disponen de registros propios de los candidatos al momento de la selección, por ejemplo, los caracteres reproductivos. Los resultados preliminares indican que la incorporación de información genómica puede incrementar la precisión de la selección en caracteres reproductivos entre 40% y 50% sobre la precisión obtenida por métodos convencionales. Al mismo tiempo, la selección genómica ofrece oportunidades para el mejoramiento de caracteres que se expresan fuera de los ambientes bioseguros donde se encuentran las poblaciones élite, como la resistencia a enfermedades.

La continua inversión en investigación y desarrollo enfocada a la combinación de efectiva fuentes de información fenotípica y genómica contribuirá a optimizar la performance de los caracteres de importancia económica en pollos de engorde y reproductoras en los mas variados ambientes de producción a nivel global.

Consideraciones finales

En un marco global de incremento de la producción y demanda de carne avícola la inversión en I+D para el mejoramiento genético de productos de pollo de engorde es esencial para mantener la competitividad en el mercado global y lograr sustentabilidad de largo plazo frente a cambios estructurales en la industria. Estos cambios pueden provenir de coyunturas económicas globales y políticas con un impacto en la disponibilidad y precio de las materias primas, cambios en las preferencias de los consumidores, avances en ciencia y tecnología, entre otros. Una estrategia sólida y con visión de largo plazo en I+D es necesaria para permitir que el programa de mejora se adapte a escenarios futuros y por lo tanto sea capaz de ofrecer productos relevan-

tes en los diferentes ambientes y segmentos de mercado a nivel mundial. El mantenimiento de pools genéticos amplios con líneas genéticas de rusticidad y adaptabilidad a los ambientes mas diversos de producción debe acompañar la inversión en I+D. Finalmente, una sólida política de I+D interna abocada al desarrollo e incorporación de herramientas de selección debe ser complementada con alianzas estratégicas con universidades y centros de investigación a nivel mundial. El mejoramiento genético y la continua ampliación y ajuste de los objetivos de selección global tendrán un rol central en el cambio de la eficiencia productiva de largo plazo en la producción aviar para responder a las demanda de alimentos futuras.

Literatura Citada

- Amer, P. R., G. J. Nieuwhof, G. E. Pollot, T. Roughsedge, J. Conington, G. Simm. 2007. Industry benefits from recent genetic progress in sheep and beef populations. *Animal*, 1: 1414-1426.
- Avendaño, S., K. Watson, A. Kranis. 2010. Genomics in poultry breeding - from utopias to deliverables. 9th WCGALP. Leipzig, August 1-6.
- Foresight. 2011. The Future of Food and Farming. Final Project Report. The Government Office for Science, London.
- Fleming, E. C., C. Fisher, J. McAdam. 2007 (a). Genetic progress in broiler traits - implications for welfare. Abstract 050. Proceedings of the British Society of Animal Science.
- Fleming, E. C., C. Fisher, J. McAdam. 2007 (b). Genetic progress in broiler traits - implications for body composition. Abstract 067. Proceedings of the British Society of Animal Science.
- Havenstein, G. B., P. R. Ferket and M. A. Qureshi, 2003a. Growth, liveability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.* 82:1500-1508.
- Havenstein, G. B., P. R. Ferket and M. A. Qureshi. 2003b. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.* 82: 1509-1518.
- Hill, W. G. 2008. Estimation, effectiveness and opportunities of long term genetic improvement in animals and maize. *Lohmann Information*. 41: 30-37.
- Howie, J. A., B. J. Tolkamp, S. Avendano., I. Kyriazakis. 2009. The structure of feeding behavior in commercial broiler lines selected for different growth rates. 2009. *Poult. Sci.* 88 :1143-1150
- Howie, J. A., S. Avendano, B. J. Tolkamp, and I. Kyriazakis. 2011. Genetic parameters of feeding behavior traits and

- their relationship with live performance traits in modern broiler lines. *Poult. Sci.* 2011 90: 1197-1205.
- Genesis Faraday. 2007. A study of the scope for the application of research in animal genomics and breeding to reduce nitrogen and methane emissions from livestock based food chains. Project AC0204, Defra, London.
- Laughlin, 2007. The Evolution of Genetics, Breeding and Production. Temperton Fellowship, Harper Adams University College, Newport, Shropshire TF10 8NB.
- Leip A., F. Weiss, T. Wassenaar, I. Pérez Domínguez, T. Fellmann, P. Loudjani, F. Tubiello, D. Grandgirard, S. Monni and K. Biala. 2010. The GGELS Project: European Greenhouse Gases Emissions from Livestock Production Systems (LPS), Dictus Publishing, 108pp.
- McKay, J. C., N. F. Barton, A. N. M. Koerhuis., J. McAdam. 2000. The challenge of genetic change in the broiler chicken. The challenge of genetic change in animal production. In *The Challenge of Genetic Change in Animal Production.* (W.G. Hill et al., eds.) *Occ. Publ. Brit. Soc. Anim. Sci.* 27: 1-7.
- OECD-FAO. 2011. AGRICULTURAL OUTLOOK 2011-2020 © OECD/FAO. <http://www.agri-outlook.org/>
- UN. 2010. World Population Prospects. The 2010 Revision. Press Release. http://esa.un.org/unpd/wpp/Other-Information/Press_Release_WPP2010.pdf
- Waller, A. 2007. Take a fresh look at broiler nutrition. *Poult. Int.* 46:12-15.