

APORTES CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS DEL INIA A LAS **TRAYECTORIAS AGROECOLÓGICAS**

Editores: Georgina Paula García-Inza, José Paruelo y Roberto Zoppolo



Capítulo 18

Investigación y aplicación de la mejora genética animal para una producción ganadera más sostenible

Olga Ravagnolo, Ignacio Aguilar, Gabriel Ciappesoni
y Elly Ana Navajas

1. Introducción

Las herramientas tecnológicas disponibles actualmente para el mejoramiento genético animal permiten modificar las características de las distintas poblaciones (vacunos, ovinos y otras especies) con el fin de obtener un mayor beneficio. La modificación genética de las principales características productivas posibilita mejorar la eficiencia de los procesos productivos y aumentar la rentabilidad de las empresas pecuarias, en cuyo proceso es indispensable asegurar sostenibilidad ambiental y social.

La mejora continua de las condiciones de producción (nutrición, sanidad y manejo) orientada a aumentar la productividad de los distintos rubros somete a los animales a cambios ambientales a los que deben adaptarse y responder en forma cada vez más acelerada. Este proceso de adaptación a las condiciones de producción incluye cambios en el *pool* genético de la población. Por medio de las herramientas disponibles, la mejora genética puede orientar este proceso de adaptación al ambiente productivo a favor de los intereses de los productores, instituciones o del propio país.

A partir de lo anterior, es necesario y relevante definir cuáles son esos intereses. Esta definición no es estática y ha cambiado a lo largo de la historia. Lo que se buscaba en los animales años atrás puede ser diferente a los intereses o necesidades actuales o futuras para con los mismos. Esta definición debe contemplar el retorno económico del productor agrope-

cuario y/o del país y, además, contemplar rasgos que hacen a la sostenibilidad ambiental y social de los sistemas de producción, incluyendo al bienestar animal.

A modo de ejemplo, en Uruguay se dispone de índices de selección para bovinos y ovinos que indican el direccionamiento desde un punto de vista económico con las herramientas de selección disponibles a la fecha. Existe además evaluación genética poblacional para eficiencia de conversión (Efc) en bovinos y ovinos. Adicionalmente, en ovinos, se evalúa la resistencia genética a parásitos (nematodos) gastrointestinales a través del recuento de huevos por gramo (HPG) de materia fecal. Estas características de gran relevancia económica no han sido aún incorporadas a los índices económicos de selección, pero pueden ser utilizadas para complementar las decisiones de selección. Su valor económico reside en la reducción de gastos (alimento y antihelmínticos, respectivamente) además de en su efecto ambiental, que debería ser incorporado en el momento de cuantificarlos económicamente. Recientemente se publicó un trabajo con el enfoque puesto en las ganancias deseadas para estas características (Sánchez *et al.*, 2021), que propone una incorporación de la evaluación de HPG a los índices de selección.

La predicción de todos los rasgos económicamente relevantes se realiza a partir de registros del desempeño de animales recolectados en sistemas de producción nacionales, es decir, en situaciones cercanas a las condiciones ambientales bajo las cuales la próxima generación deberá producir. De esta manera, se favorecerá el desempeño de la descendencia en la situación productiva a la que será expuesta. Esto no siempre ocurre: ejemplos de ello se dan cuando la selección se basa en forma indiscriminada en información genética de animales produciendo en ambientes muy diferentes a los nacionales.

En el Uruguay, los programas de mejoramiento genético en bovinos para carne y para leche y en ovinos se realizan desde hace más de 25 años mediante acuerdos de trabajo entre las instituciones relacionadas con la mejora genética animal. Con respecto a las diferentes especies y razas, participan, junto con el INIA, las Sociedades de Criadores, la Asociación Rural de Uruguay (ARU), el Instituto Mejoramiento y Control Lechero Uruguayo (MU), el Instituto Nacional de la Leche, el Secretariado Uruguayo de la Lana (SUL), la Facultad de Agronomía (FA) y la Facultad de Veterinaria (FV). Estos convenios tienen como objetivos principales:

- Desarrollar un esquema operativo para la ejecución de evaluaciones genéticas.

- Desarrollar investigaciones tendientes a identificar objetivos y criterios de selección de animales.
- Consolidar un sistema de registros que permita, a nivel del productor, una captura de información efectiva y eficiente para todas las razas.
- En ovinos se incluye adicionalmente la producción de reproductores, con el objetivo de facilitar el acceso de determinadas razas o cruza a establecimientos comerciales, la mayoría a través de convenios como ser Merilín Plus, Corriedale Pro, TexPro y Merino australiano.

Este proceso conjunto ha llevado a que, desde hace muchos años, las evaluaciones genéticas estén establecidas, afianzadas, y funcionando en forma fiable. La información generada es pública y está disponible para criadores, productores comerciales, empresas y público en general, siendo asiduamente utilizada como herramienta de selección y promoción de reproductores.¹

En años recientes se incorporaron al proceso de las evaluaciones genéticas aspectos que implican una modificación relevante de la rutina de las evaluaciones genéticas, así como de la información a usar para la selección de reproductores. Estos se refieren a la incorporación de la información genómica, que provee predicciones de valores de cría de mayor precisión (a edades más tempranas), así como a la determinación del nivel de parentesco real entre dos individuos, y abren la posibilidad de seleccionar por características de difícil medición (como la resistencia a parásitos y emisiones de metano). A su vez, potencian las evaluaciones genéticas internacionales (Interbull en Holando y Panamericana en Hereford) en las que Uruguay participa. Por otra parte, el establecimiento de una conexión genética entre las evaluaciones genéticas y determinados rodeos/majadas experimentales del INIA es actualmente (en el caso de Efc, emisiones de metano y HPG) y será fuente de información relevante para características que no son posibles de medir en los predios no experimentales o que están en desarrollo, por tener potencial futuro de selección.

¹ Véase: <www.geneticabovina.com.uy>, <www.geneticalechera.com.uy>, <www.geneticaovina.com.uy>.

2. Mejoramiento genético en Uruguay

Los programas de mejoramiento genético de una raza tienen como objetivo identificar y promocionar los animales que mejor se adaptan a las condiciones de producción existentes y que, al mismo tiempo, mejoren el beneficio económico de las explotaciones. Para esto es necesario valerse de información objetiva y precisa sobre los reproductores, que permita tomar decisiones de selección y hacer un uso diferencial de los mismos. La herramienta recomendada para tomar estas decisiones consiste en las diferencias esperadas en la progenie (DEP o EPD, según su sigla en inglés), que surgen como resultado de las evaluaciones genéticas poblacionales. Ellas proveen la predicción del potencial genético futuro de la progenie de un individuo y proporcionan a partir de la información disponible la mejor descripción genética de un animal, permitiendo compararlo con animales de otros rodeos, de otras edades, e incluso con antepasados. Los índices de selección, que son una combinación de dichas DEP, permiten identificar los animales que maximizarán el retorno económico para el sistema de producción definido. Más recientemente, como se verá más adelante, se está planteando la definición de objetivos agroecológicos de selección (Phocas *et al.*, 2016), los cuales incorporan otras características que no tienen directamente un valor económico en el mercado.

2.1. Mejoramiento genético en bovinos para carne en Uruguay

Uruguay dispone de evaluaciones genéticas poblacionales desde el inicio de los años 90, gracias al trabajo de la Facultad de Agronomía, el INIA, la Sociedad de Criadores Aberdeen Angus y la Sociedad de Criadores Hereford de Uruguay. Para esto fue necesario establecer sistemas de registros y de aporte de mediciones e información por parte de las cabañas y de ARU. Los registros de todas las razas de bovinos son llevados adelante en el Sistema de Registros Genéticos (SRGen),² un sistema desarrollado por el INIA que permite recolectar la información completa de cada animal desde que nace hasta que sale del rodeo. En la actualidad, los programas de evaluación genética en las diferentes razas se realizan en colaboración con varias instituciones nacionales (ARU, Sociedades de Criadores, FA, FV) e internacionales (*Animal Genetics and Breeding Unit*, Theta

² <<http://srgen.inia.uy/>>.

Solutions, Programa de evaluación de reproductores del Brangus Latinoamericano). Se dispone de evaluación genética para características asociadas al crecimiento de los animales como peso al nacer, destete, habilidad lechera y peso a los 18 meses, que fueron las primeras en implementarse. Posteriormente fueron incorporadas características vinculadas a la calidad del producto (área del ojo del bife, espesor de grasa subcutánea medidas por ultrasonido) y circunferencia escrotal. A estas se les agregó peso adulto de la vaca al destete, contenido de grasa intramuscular (por ultrasonido), facilidad al parto directo y materno. En el caso de la raza Hereford, se dispone además de índices de selección para sistemas productivos criadores y de ciclo completo, y DEP para eficiencia de conversión de alimento (Efc). En algunas razas se han implementado evaluaciones genómicas y en otras se está en proceso de construcción de la población de referencia para su implementación. Se han realizado estimaciones preliminares de parámetros genéticos nacionales para características reproductivas, a partir de los registros recolectados a través del SRGen, que concluirán con la implementación de DEP reproductivas.

Tras casi tres décadas desde la publicación del primer catálogo de padres, en el año 1992, las evaluaciones genéticas son un proceso consolidado, con un crecimiento sostenido en el tiempo. Se incorpora anualmente la información de más de 25 mil animales pertenecientes a más de 350 cabañas. Las DEP son una herramienta conocida y utilizada por los productores en el momento de realizar la compra de reproductores.

2.2. Mejoramiento genético en ovinos en Uruguay

En la actualidad son numerosas las evaluaciones genéticas que se llevan a cabo en Uruguay, siendo un sitio de privilegio a nivel mundial. A mediados de los años 90, varias razas comenzaron con la evaluación de carneros provenientes de diferentes cabañas, a través del desempeño de su progenie en las denominadas centrales de prueba de progenie (CPP). Muchas de estas CPP sirvieron como semilla para el desarrollo de las evaluaciones genéticas poblacionales (EGP) que hoy se publican en forma rutinaria. Desde el año 2005, las EGP se realizan bajo el marco del convenio "Sistema Nacional de Mejoramiento Genético Ovino" firmado entre la ARU, la FA de la Universidad de la República, el SUL y el INIA. Estas dos últimas instituciones son las responsables de su ejecución anual. En la actualidad, se dispone de EGP para las razas: Corriedale, Highlander,

Ideal, Ile de France, Merilín, Merilin PLUS, Merino Australiano, Merino Dohne, Poll Dorset, Romney Marsh y Texel.

En la última década, y muy especialmente en los últimos años, se ha observado un crecimiento exponencial del número de cabañas participantes en las evaluaciones genéticas y del número de animales registrados. Esta situación permitirá sin dudas, a través de una base genética más amplia y usando tecnología de avanzada, un mayor progreso genético en caracteres de importancia económica en los sistemas de producción ovina del país que utilizan las razas evaluadas. Actualmente se está desarrollando la población de entrenamiento en varias razas, lo que permitió realizar la primera evaluación genómica en la raza Merino australiano en 2021 y a futuro, la de otras razas como Corriedale y Texel.

Como en otros países de referencia (*e.g.* Australia, Francia, Nueva Zelanda), en Uruguay se incluye la resistencia genética a nematodos gastrointestinales (NGI) en las evaluaciones poblacionales y se utiliza el HPG como criterio de selección (Goldberg *et al.*, 2012). Cuando se consulta a los cabañeros y productores respecto de las principales características a mejorar, la resistencia a NGI siempre aparece como una prioridad. Sin embargo, en el momento de tomar los registros son menos las cabañas que se suman, dado que su registro es laborioso y requiere la expresión de la enfermedad en los animales, con la consecuente pérdida económica. Es por esta razón que es una característica opcional dentro de los programas de mejora. Esta evaluación se realiza en las razas Merino y Corriedale desde el año 1994. En los últimos años ha incrementado, tanto en número de cabañas como de animales registrados, y se incluyeron recientemente cabañas de las razas Merino Dohne y Merilín.

2.3. Mejoramiento genético en bovinos para leche en Uruguay

El sistema nacional de evaluación genética de razas lecheras está integrado por la ARU, el Instituto Nacional de la Leche, Mejoramiento y Control Lechero de Uruguay, la Sociedad de Criadores de Holando, la Sociedad de Criadores de Jersey, la FA de la Universidad de la República y el INIA, y provee de estimaciones de méritos genéticos para animales de las razas Holando y Jersey. Las evaluaciones genéticas poblacionales nacionales comenzaron durante los años 90 con la evaluación genética para producción de leche en la raza Holando. En el transcurso de los años se han incorporado otros rasgos de relevancia económica, como la producción de sólidos de la leche (proteína y grasa), rasgos de conformación lineal,

fertilidad en hembras y, más recientemente, rasgos de salud de la ubre (medida por el recuento de células somáticas). Por otro lado, varios de estos rasgos han sido combinados en un índice de selección, el índice económico productivo (IEP), que inicialmente ponderaba rasgos de producción y se actualiza en conjunto con la incorporación de nuevos rasgos en la evaluación genética. Recientemente se ha incorporado la raza Jersey al sistema de evaluación genética nacional y dispone de estimaciones de méritos genéticos para los rasgos ya mencionados, a excepción de conformación lineal e IEP. En la actualidad se está implementando la evaluación genética para rasgos de longevidad en ganado lechero, que permitirá la predicción de méritos genéticos en el corto plazo para estos rasgos de relevancia económica.

El Uruguay participa, desde el año 2012, de la evaluación genética internacional de la raza Holando (Interbull). Esto permite disponer de méritos genéticos de toros importados o para importar que aún no han tenido hijas en Uruguay, expresados en la misma escala de la evaluación genética nacional. La información de méritos genéticos de la evaluación nacional e internacional se publica tres veces al año (abril, agosto, y diciembre), siguiendo el calendario de publicación de Interbull. La misma involucra a más de 160 mil toros y se encuentra disponible para su consulta pública.³ Al igual que en el caso de bovinos para carne, se encuentra en desarrollo la población de entrenamiento que permitirá la inclusión de la información genómica en las evaluaciones genéticas nacionales.

3. Alternativas genéticas para mejorar la sostenibilidad agropecuaria

3.1. Alternativas para reducir el uso de fármacos en la producción agropecuaria

Los NGI representan una de las principales limitantes sanitario-económicas para la producción ovina en el Uruguay y en el mundo (Castells *et al.*, 1995). Si bien esta enfermedad provoca cierto porcentaje de mortalidad, lo más frecuente es la enfermedad subclínica, con una reducción en la tasa de crecimiento, en la fertilidad, en la producción de leche y de

³ En el sitio web <geneticalechera.com.uy>.

lana, y en la condición corporal, resultando en grandes pérdidas para los productores (Castells *et al.*, 1995). Históricamente, se han utilizado las drogas antihelmínticas (ATH) como el principal método de control de los parasitismos gastrointestinales. Su uso incorrecto y continuo ha generado a nivel mundial graves problemas de resistencia de los parásitos a las mismas.

La selección por animales más resistentes a NGI repercute en la mitigación de los efectos productivos adversos de las parasitosis (producción, mortalidad) y en la reducción de aplicaciones de productos sintéticos (ATH), disminuyendo a su vez la contaminación de las pasturas. Uno de los primeros pasos de la investigación en la línea de resistencia a NGI ha sido evaluar la posibilidad de selección por HPG –dicho en términos genéticos, si existe varianza aditiva, cuál es la magnitud de la heredabilidad– y qué relación tiene con otros rasgos productivos de interés económico (estimación de correlaciones genéticas). Se entiende por heredabilidad la proporción de la variación fenotípica que es debida a la variación genética total. La misma indica el grado en que un carácter fenotípico está determinado genéticamente. Cuanto menor es esta, mayor es la influencia ambiental. Las correlaciones genéticas expresan el grado de asociación por efectos genéticos comunes entre dos características.

Las estimaciones de heredabilidad, en Uruguay, fueron de una magnitud media-baja, siendo $0,15 \pm 0,01$ para Merino (Ciappesoni *et al.*, 2013) y $0,21 \pm 0,02$ para Corriedale (Castells, 2009), demostrándose la posibilidad de realizar mejora genética en estos caracteres. A su vez, gracias a las moderadas o nulas correlaciones genéticas entre el HPG y los rasgos productivos para las razas Merino y Corriedale en Uruguay, se pudo determinar que es posible progresar genéticamente en forma simultánea. Las correlaciones genéticas con los pesos de vellón son neutras (cercasas al cero) o de baja magnitud, moderadamente favorables con peso de cuerpo a la esquila y levemente desfavorables con el diámetro de la fibra (Ciappesoni *et al.*, 2013 y Castells, 2009, respectivamente).

Adicionalmente, se estudió la relación del criterio clásico de selección (HPG en corderos/borregos) con la resistencia a NGI de las ovejas durante el fenómeno denominado alza de lactación. Para este estudio se realizaron al menos tres mediciones de HPG en las ovejas durante el periparto. Estos estudios estimaron una alta correlación genética entre ambas características y concluyeron que es más eficiente seleccionar los corderos para mejorar la resistencia de las ovejas que medir directamente a

estas madres (Goldberg *et al.*, 2012). Como estrategia complementaria, desde el año 2020 se comenzó a estudiar una majada de ovinos criollos en el INIA Las Brujas, en condiciones comerciales. Se está evaluando la resistencia a NGI, tanto en corderos como durante el alza de lactación en comparación con razas comerciales, como una primera etapa para la potencial valorización de estos recursos zoogenéticos locales.

3.2. Alternativas para disminuir la emisión de gases de efecto invernadero por unidad de producto

La mejora genética de características relevantes de los sistemas de producción pecuaria puede contribuir a la reducción de emisiones por unidad de producto (intensidad de emisiones, IE) a través de una mayor productividad. En primer lugar, una mayor productividad permite mantener la producción, reduciendo el stock y, con él, la IE. Estudios internacionales indican que la selección genética tendiente a la reducción de pérdidas e ineficiencias contribuye tanto a menores IE en la cría y en la invernada como a la sustentabilidad económica. La mejora por selección de los índices reproductivos y reducción de la mortalidad participa en forma favorable de la disminución de las IE en bovinos (Quinton *et al.*, 2018) y ovinos (Wall *et al.*, 2010). Más allá de esto, otro desafío es cómo incrementar la producción de proteína animal que demanda el mundo, pero reduciendo las emisiones de metano (EM). En este sentido, se ha determinado que tasas de crecimiento eficientes pueden aportar a la mitigación de las EM al ser posible alcanzar edades de servicios más tempranas e invernadas que permitan la faena de animales jóvenes, en la medida en que estas mejoras no estén asociadas con incrementos de consumo de alimento (Barwick *et al.*, 2019).

Un aspecto importante para considerar es que las EM tienen una asociación positiva con el consumo de alimento. Es decir que la reducción de consumo reducirá las EM, pero en desmedro del desempeño productivo. Sin embargo, con la mejora en la eficiencia de conversión del alimento (efc) es posible reducir el consumo sin afectar la producción. Además de la importancia económica de la efc por la reducción de los costos de alimentación, la mayor efc podría contribuir a la disminución de la IE. Desde 2014 se han realizado mediciones de consumo individual de alimento y efc en novillos y toritos Hereford en la central de prueba de Kiyú (Navajas *et al.*, 2014), contando con estimaciones de

mérito genético para esta característica (Ravagnolo *et al.*, 2018) (proyecto RTS_1_2012_3489, con financiamiento de la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII)). Las estimaciones de DEP genómicas para Efc se realizaron en colaboración con la Canadian Hereford Association y su base de datos, constituyendo una población de referencia binacional para selección genómica. Actualmente, se están llevando adelante estas mediciones, también en corderos de las razas Merino australiano, Merino Dohne, Corriedale y Texel de los núcleos de selección y majadas experimentales de estas razas.

En forma complementaria a la reducción de las emisiones que se pueda lograr a través de los programas de mejoramiento actuales y el aporte de FFC, también es posible la reducción de las EM a partir de la selección directa por esta característica. Recientemente se han desarrollado equipamientos para la medición de las EM, la cual además es heredable ($\sim 0,23$) (Brito *et al.*, 2018; Lassen y Difford, 2020). Actualmente se están llevando adelante mediciones de metano en los ovinos con evaluación de Efc. Para ello, se utilizan cámaras de acumulación portátiles (PAC, por sus siglas en inglés) y la información relevada permitirá investigar la genética de EM, su asociación con Efc y demás características incluidas en los programas ovinos de mejora genética. Este conocimiento contribuirá a optimizar la mejora genética teniendo en cuenta las dimensiones económica y ambiental. Dado que los fenotipos de Efc y EM son de compleja medición, la mejora genética se verá beneficiada por la implementación y el uso de la selección genómica.

Los estudios nacionales en Efc y EM en ovinos son posibles gracias a proyectos nacionales (CL38, RUMIAR INIA) e internacionales, como SMARTER⁴ y GrassToGas⁵ (Figura 1).

4 <<https://www.smarterproject.eu/>>, financiado por el programa Horizon 2020 de la Unión Europea Grant Agreement N° 772787.

5 Proyecto financiado por el INIA bajo el llamado en conjunto 2018 (proyecto con financiación INIA, bajo la Convocatoria Conjunta 2018 de las tres ERA-NETS (SusAn, FACCE ERA-GAS e ICTAGRI 2, <<https://www.eragas.eu/en/eragas/Research-projects/GrassToGas.htm>>).

FIGURA 1. LOGOS DE PROYECTOS SMARTER, GRASSTOGAS Y RUMIAR



Fuente: *Elaboración propia.*

La iniciativa GrassToGas busca generar conocimiento y soluciones para la mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector ovino a través del trabajo conjunto de expertos del Reino Unido, de Francia, Noruega, Turquía, Nueva Zelanda y Uruguay.

3.3. Uso de índices de selección

A lo largo de los años, se ha demostrado que los animales responden en forma muy significativa a las decisiones de selección, logrando modificar la mayoría de los rasgos de las diferentes poblaciones productivas. Es, por lo tanto, sumamente importante la dirección de esas modificaciones y los índices de selección son la herramienta más recomendada para establecerla. Si bien hay varias metodologías para generar estos índices, la más utilizada actualmente es la presentada por Hazel (1943) y explicada por Ponzoni y Newman (1989), en donde se debe definir un sistema de producción que se considera será representativo para las próximas generaciones. En este sistema se identifican y cuantifican económicamente las variables biológicas (animales) que afectan la rentabilidad del sistema, y se genera un índice que optimiza este retorno económico. Posteriormente se predice de la forma más precisa posible estos rasgos en los animales a través de la evaluación genética poblacional. Esto permite computar el o los índices de selección para cada animal y así seleccionar aquellos que generan el mayor retorno económico al sistema de producción. El Uruguay dispone de índices de selección de datos genéticos para las razas Merino desde el 2000 (en 2011, actualización), Corriedale (2003 y 2015, actualización), Hereford (2012), Holando (2012), Merilin (2012), Ideal (2016) y Merino Dohne (2021). Estos desarrollos fueron posibles gracias a las evaluaciones genéticas poblacionales establecidas y a los trabajos de

investigación orientados a objetivos de selección nacionales (Urioste *et al.*, 1998; Rivero Viera, 2004; Rovere *et al.*, 2010, Soares de Lima, 2009; Pravia *et al.*, 2014, De los Campos *et al.*, 2000, Gimeno y Ciappesoni, 2016), de instituciones nacionales (INIA, SUL, FA) y a la interacción con las sociedades de criadores.

El éxito del uso de estos índices en generar un mayor retorno económico a través del mejoramiento genético dependerá de que se cumplan varias condicionantes. La primera es la construcción correcta de los índices, por lo que es relevante disponer de una definición adecuada del sistema de producción en términos de promedios productivos y económicos de cada componente biológico de alcance económico, sumado a una definición adecuada de los parámetros genéticos de la población a seleccionar (heredabilidad y correlaciones genéticas de los rasgos relevantes). La segunda es un sistema de evaluación genética que permita predecir con la mayor precisión posible cada rasgo relevante de forma de tener índices de selección precisos para la mayoría de los candidatos a seleccionar. Por último, es indispensable que estos índices sean utilizados por quienes toman las decisiones de selección, por lo que es necesario construirlos en conjunto con los agentes trascendentes en la cadena de mejora genética de cada raza, disponer de adecuadas estrategias de transferencia, así como asegurarse la publicación en tiempo y forma de toda la información generada. Aquí se destaca el proceso realizado en conjunto con las sociedades de criadores, compartiendo saberes para diseñar los índices más adaptados a nuestros sistemas de producción.

En los últimos años se ha incorporado una visión agroecológica a los objetivos de selección (Phocas *et al.*, 2016), en la cual se incluyen rasgos relacionados con sanidad, robustez, reproducción, producción y eficiencia, impacto ambiental, genética original, calidad de producto y adaptación. Varias de estas características se evalúan en forma aislada, pero todavía no se cuenta con un índice agroecológico formal que pondere estos diferentes aspectos.

3.4. Uso de cruzamientos bovinos para carne

Los cruzamientos son apareamientos de animales de diferentes poblaciones (razas o líneas) y se utilizan para explotar las diferencias raciales, la heterosis o vigor híbrido y la complementariedad entre las razas. Ninguna raza es superior en todos los rasgos que afectan los sistemas de producción, por lo que el uso inteligente de las fortalezas de cada una

de ellas en diferentes caracteres permite complementar rasgos de los animales en beneficio del sistema. De esta forma, se pueden combinar dos o más razas permitiendo que el potencial genético coincida con los recursos alimenticios, con el ambiente climático o con las preferencias del mercado.

Los sistemas de cruzamientos demandan la definición de objetivos claros y una planificación para llevarlos adelante. Es necesario determinar cuáles son las características que se quieren mejorar, evaluar las razas disponibles, planificar el diseño y analizar la forma de lograr su implementación. Se recomienda utilizar razas que permitan solucionar las limitantes y que estén disponibles en el país. Se deben utilizar reproductores evaluados genéticamente, de manera de asegurar que sean superiores para esas características dentro de cada raza. En nuestro país hay poco más de una decena de razas de bovinos para carne disponibles, existiendo evaluaciones genéticas para varias características en las razas mayoritarias.

Los resultados nacionales (Gimeno, 2002a; Lema *et al.*, 2011) coinciden en destacar la superioridad de las hembras cruce frente a las puras en características hasta el destete, así como en características reproductivas (Pereyra *et al.*, 2015; Martínez-Boggio *et al.*, 2021). La utilización de hembras cruce permite obtener mayores pesos al destete y el aumento oscila entre 6 y 15% en cruces británicas y entre 3 y 32% para vacas cruce entre razas británica y cebuínas. Novillos de cruce simple de hembras británicas, con toros de otra raza británica o una raza continental o toros cebuínos, superan el desempeño de novillos de raza pura, lo que se refleja en mayor ganancia diaria y en una tasa de crecimiento relativa superior en el período destete-peso al año y entre el peso a los 15 meses y el peso a los tres años (Gimeno *et al.*, 2002b).

En otras situaciones, el uso de toros de razas de alto crecimiento (continentales) sobre vacas de tamaño moderado (*e.g.* británicas) permite generar productos de alto crecimiento (sobre madres de tamaño menor y, por tanto, con menores requerimientos de mantenimiento). El uso de cruzamiento con proporción de razas cebuínas o de razas sintéticas (o compuestas) como Braford y Brangus incorpora parte del vigor híbrido sin perder completamente los beneficios de las británicas en calidad de canal y carne, y pudiendo incorporar mayores niveles de resistencia a ectoparásitos (Cardoso *et al.*, 2015).

Los sistemas de cruzamientos estabilizados no constituyen una tecnología ampliamente adoptada en la producción ganadera nacional, siendo

prevalente el uso de sistemas productivos con razas puras. En momentos en que se incorpora alguna raza al sistema de producción (por ejemplo, el uso de toros Angus sobre rodeos de otra raza), en forma mayoritaria evolucionan hacia el descarte de la raza nueva o hacia la absorción completa del rodeo por la misma.

Este contexto resulta en una menor explotación o una explotación parcial de los beneficios generados por los cruzamientos. Esto abre una gran oportunidad para que la adopción efectiva de los cruzamientos sea una forma rápida de mejorar el retorno económico, logrando efectos positivos sobre la sostenibilidad ambiental, dada la mayor productividad obtenida.

3.5. Uso de información genómica

La disponibilidad de plataformas de genotipado masivo en conjunto con el desarrollo de metodologías bioinformáticas han permitido disponer de herramientas de selección utilizando miles de marcadores moleculares distribuidos en todo el genoma, conociéndose en la actualidad como “selección genómica” (Meuwissen *et al.*, 2001). Paneles con miles de marcadores (del tipo polimorfismos de un solo nucleótido, o SNP, por sus siglas en inglés) se encuentran disponibles y han sido utilizados en varias poblaciones de animales a nivel nacional, tanto en rodeos y majadas experimentales como a nivel comercial. Las predicciones de méritos genómicos se pueden desarrollar una vez que existen poblaciones de entrenamiento o calibración compuestas por animales con registros de fenotipos y con información genómica.

En Uruguay, la construcción inicial de diferentes poblaciones de entrenamiento ha sido llevada a cabo a través de varios proyectos de investigación y desarrollo. Gracias a estos, el material genético se almacena y procesa a través del Banco de ADN del INIA Las Brujas (Navajas *et al.*, 2012) y la información genómica en una base de datos genómica (db-SNP) administrada por el INIA. Muchas de estas actividades se realizan en el marco del convenio con la ARU, donde son establecidas en conjunto con las sociedades de criadores parte de las actividades a realizar. La implementación de evaluaciones genéticas con información genómica depende de la disponibilidad de poblaciones de entrenamiento o referencia constituidas por la información fenotípica, genética y genómica. Las precisiones de las DEP genómicas aumentan al incrementar el tamaño de las

poblaciones, promoviendo la adopción de la herramienta por el sector productivo (Berry *et al.*, 2016) y, por ende, favoreciendo los procesos de selección.

Varias razas a nivel nacional se encuentran estableciendo dichas poblaciones de entrenamiento, lo cual ha posibilitado la publicación de méritos genéticos utilizando información genómica para la raza Hereford (Ravagnolo *et al.*, 2018) y las primeras evaluaciones genómicas, en 2021, de Angus y, a nivel experimental, de Merino australiano. En otras razas (*e.g.* Holando, Corriedale), estas evaluaciones genómicas estarán disponibles en los próximos años. Esta incorporación se hará mediante la metodología conocida como Single-Step (Aguilar *et al.*, 2010), la cual permite adicionar la información genómica a las evaluaciones genéticas tradicionales, para disponer de un método simple de predicción de méritos genéticos con información molecular o genómica.

4. Posible impacto de las alternativas

4.1. Ovinos más resistentes a nemátodos gastrointestinales

En la raza Merino se ha observado una tendencia genética importante para HPG y se han identificado animales muy resistentes genéticamente. Se ha demostrado que la tendencia corresponde principalmente al material generado en Uruguay y menos a la contribución australiana, contrariamente a lo que pasó con el diámetro de la fibra (Ciappesoni y Gimeno, 2018), como se podía esperar dada la mayor dependencia que tiene esta característica de los efectos ambientales y la epidemiología local. Asimismo, se han desarrollado, por parte del SUL, líneas divergentes (resistente y susceptible) dentro de la raza Corriedale (Castells y Gimeno, 2011), y en la FA, un núcleo de selección por HPG para la raza Merino. Entre los impactos observados de contar con animales más resistentes, más allá del efecto beneficioso en el propio animal y la epidemiología de la majada, se cuenta el de reducir las aplicaciones de drogas, así como su potencial colarario en la biodiversidad de coprófagos o poblaciones no blanco.

4.2. Mejora de eficiencia de conversión y reducción de emisiones

La mejora genética por Efc es posible en la raza Hereford a partir de las estimaciones de las DEP para esta característica. Estas DEP se basan en los fenotipos para consumo de alimento residual (RFI, por sus siglas en inglés) que se han medido en la recría de toritos y novillos a partir del consumo individual de alimento medido en pruebas de 70 días (Figura 2), el peso metabólico promedio, la tasa de crecimiento en ese período y el espesor de grasa medido por ultrasonido al final de la prueba.

La selección en esta característica busca reducir el consumo de alimento sin afectar el desempeño, con un impacto favorable en la reducción de los costos de producción que son explicados en más del 75% por la alimentación.

FIGURA 2. MEDICIÓN DE EFICIENCIA DE CONVERSIÓN Y DE METANO EN LA RAZA HEREFORD EN LA CENTRAL DE PRUEBA DE KIYÚ



Fuente: Elaboración propia.

A solo tres años de iniciada la publicación de las DEP de Efc,⁶ se cuenta con información de una proporción aún reducida de la población como base para la selección. Al disponer de una población de referencia para la estimación de DEP genómicas, en la medida en que aumente la utilización de información genómica por parte del sector productivo es esperable

⁶ <www.geneticabovina.com.uy>.

contar con una mayor cantidad de animales evaluados y potenciar así el progreso genético. Actualmente se cuenta con DEP de consumo y Efc para la raza Merino australiano, y están en desarrollo para otras razas ovinas (Corriedale, Merino Dohne y Texel). Asimismo, en todas estas razas ovinas (Figura 3) y en Hereford se están realizando mediciones individuales de metano, permitiendo seleccionar directamente por esta característica en un futuro cercano (herramienta ya disponible en Merino australiano, a nivel experimental).

FIGURA 3. PLATAFORMA DE FENOTIPADO INTENSIVO PARA OVINOS EN EL INIA LA MAGNOLIA: MEDICIÓN DE CONSUMO INDIVIDUAL Y PESOS CORPORALES (IZQUIERDA), Y DE EMISIONES DE GASES EFECTO INVERNADERO (DERECHA)



Fuente: Elaboración propia.

La mejora en la Efc aumenta a su vez la oferta de servicios ecosistémicos de provisión (carne y lana) y de regulación (atmosférica, en este caso por las menores emisiones de metano).

4.3. Incremento del retorno económicos: índices y cruzamientos

Un ejemplo para mencionar es la raza Hereford, que dispone de índices de selección desde el año 2012 y que incorporó en el año 2019 el índice de ciclo completo, el cual contempla la cría y el engorde en un solo siste-

ma de producción y refleja en forma más cercana el proceso productivo nacional. Las tendencias genéticas indican una mejora, en dicho índice, de unas 530 unidades por año, lo que traducido a unidades monetarias implicaría un incremento anual promedio de entre US\$ 65 y 70, generado por el uso de cada uno de los toros Hereford en el rodeo nacional. Se estima que se incorporan anualmente entre 4.000 y 5.000 toros Hereford al rodeo nacional, lo que significa un beneficio económico nacional relevante.

Los resultados de las evaluaciones genéticas en el país presentan tendencias favorables para las diferentes características, que también son observables en índices de selección en todas las razas. Esta información es pública y puede ser verificada en las páginas donde se publican las evaluaciones genéticas poblacionales ya mencionadas.

Es de destacar que el uso de índices de selección o de los cruzamientos, al aumentar el desempeño animal, no solo impacta en el resultado económico sino también en las emisiones por kg de producto (carne, lana, leche).

El país tiene a futuro un desafío importante que consiste en continuar con la incorporación a las evaluaciones genéticas de las diferentes razas características que permitan el desarrollo de un objetivo de selección agroecológico. Es necesario contemplar en este desarrollo aspectos de sostenibilidad ambiental y social a través de potenciar el intercambio de saberes entre los diferentes actores de las cadenas productivas.

4.5. La era genómica y fenómica

La selección genómica y el registro intensivo de nuevas características (fenómica) permitirán acelerar los procesos de mejora genética, no solo en los rasgos que se registran a nivel comercial (cabañas) sino también en las estaciones experimentales o los núcleos informativos vinculados a las evaluaciones genéticas. De esta forma se podrá acelerar la incorporación de reproductores mejor posicionados en los objetivos de selección agroecológicos definidos.

Asimismo, la genómica brindará un excelente potencial para caracterizar los animales de predios comerciales en cuanto a las principales características definidas y diseñar un programa de mejora que permita trazar transiciones agroecológicas desde el punto de vista genético, dentro de un enfoque general que tenga por objetivo desarrollar un agroecosistema sostenible.

Referencias

Aguilar, I., Misztal, I., Johnson, D. L., Legarra, A., Tsuruta, S. y Lawlor, T. J.

(2010), "Hot topic: A unified approach to utilize phenotypic, full pedigree, and genomic information for genetic evaluation of Holstein final score", en *Journal of dairy science*, 93(2), pp. 743-752.

Barwick, S. A., Henzell, A. L. y Herd, R. M.

(2019), "Methods and consequences of including reduction in greenhouse gas emission in beef cattle multiple-trait selection", en *Genet Sel Evol*, 51, p. 18. Disponible en: <<https://doi.org/10.1186/s12711-019-0459-5>>.

Berry, D. P., Garcia, J. F. y Garrick, D. J.

(2016), "Development and implementation of genomic predictions in beef cattle", en *Animal Frontiers*, pp. 32-38.

Brito, L. F., Schenkel, F. S., Oliveira, H. R., Cánovas, A. y Miglior, F.

(2018), Meta-analysis of heritability estimates for methane emission indicator traits in cattle and sheep. *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*.

Cardoso, F. F., Gomes, C. C. G., Sollero, B. P., Oliveira, M. M., Roso, V. M., Piccoli, M. L., Higa, R. H., Yokoo, M. J., Caetano, A. R. y Aguilar, I.

(2015), "Genomic prediction for tick resistance in Braford and Hereford cattle", en *J. Anim. Sci.*, 93, pp. 2693-2705.

Castells, D.

(2009), *Evaluación de resistencia genética de ovinos Corriedale a los nematodos gastrointestinales en Uruguay. Heredabilidad y correlaciones genéticas entre el recuento de huevos de nematodos y características productivas*, Tesis de Maestría, Universidad de la República, Montevideo.

Castells, D. y Gimeno, D.

(2011), "Selection of Corriedale sheep for resistance or susceptibility to nematode infection in Uruguay", 23 International Conference of the World Association for the Advancement of Veterinary Parasitology, Buenos Aires.

Castells, D., Nari, A., Rizzo, E., Marmol, E. y Acosta, D.

(1995), Efecto de los nematodos gastrointestinales sobre diversos parámetros productivos del ovino en la etapa de recria. Año II 1991. *Producción ovina* 8, pp. 17-32.

Ciappesoni, G. y Gimeno, D.

(2018), "Innovaciones, logros y desafíos del programa de mejora genética de la raza Merino en el Uruguay", en 10° Conferencia mundial Merino, 12 de abril 2018, Montevideo.

Ciappesoni, G., Goldberg, V. y Gimeno, D.

(2013), "Estimates of genetic parameters for worm resistance, wool and growth traits in Merino sheep of Uruguay", en *Livestock Science*, 157(1), pp. 65-74.

De los Campos, G., De Mattos, D., Montossi, F., San Julián, R. y Frugoni, J. (2000), *Incorporación de las señales de mercado a la toma de decisiones en mejora genética*, Serie de Actividades de Difusión N° 246, INIA Tacuarembó.

Gimeno, D., Aguilar, I., Avendaño, S. y Navajas, E. (2002b), “La ventaja del novillo cruza en sistemas extensivos de producción: períodos de crecimiento: destete - tres años de edad”, en Seminario de Actualización Técnica: Cruzamientos en Bovinos para Carne, Serie Actividades de Difusión N° 295, INIA Tacuarembó, pp. 21-30.

Gimeno D., Avendaño S., Navajas E. y Lamas A. (2002a), “Utilización de cruzamientos como herramienta para el aumento del beneficio económico”, en Seminario de Actualización Técnica: Cruzamientos en Bovinos para Carne, Serie Actividades de Difusión N° 295, INIA Tacuarembó, pp. 5-9.

Gimeno, D. y Ciappesoni, G. (2016), “Mejoramiento genético ovino en Uruguay: conquistas y desafíos”, en Seminario Internacional de Producción Ovina, 50 años del SUL, 1-2 de agosto, Montevideo.

Goldberg, V., Ciappesoni, G. y Aguilar, I. (2012), “Genetic parameters for nematode resistance in periparturient ewes and post-weaning lambs in Uruguayan Merino sheep”, en *Livestock Science*, 147(1-3), pp. 181-187.

Hazel, L. N. (1943), “The genetic basis for constructing selection indexes”, en *Genetics*, 28(6), pp. 476-490.

Lassen, J. y Difford, G. F., (2020), “Review: Genetic and genomic selection as a methane mitigation strategy in dairy cattle”, en *Animal*, 14(3), s473-s483.

Lema, O. M., Gimeno D., Dionello N. J. y Navajas E. A. (2011), “Pre-weaning performance of Hereford, Angus, Salers and Nellore crossbred calves: Individual and maternal additive and non-additive effects”, en *Livestock Science*, 142 (1-3), pp. 288-297.

Martinez Boggio, G., Lema, M., Aguilar, I., Gimeno, D. y Ravagnolo, O. (2021), “Reproductive performance of Angus, Hereford, Salers and Nellore crossbred females: Additive and nonadditive effects”, en *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 138(6), pp. 688-697.

Meuwissen, T. H., Hayes, B. J. y Goddard, M. E. (2001), “Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps”, en *Genetics*, 157(4), pp. 1819-1829.

Navajas, E. A., Pravia, M. I., Lema, M., Clariget, J., Aguilar, I., Ravagnolo, O., Brito, G., Peraza, P., Dalla Rizza, M. y Montossi, F. (2014), “Genetic improvement of feed efficiency and carcass and meat quality of Hereford cattle by genomics”, *Proceedings of the 60th International Congress Meat Science Technology*, pp. 17-22.

Navajas, E. A., Ravagnolo, O., Aguilar, I., Ciappesoni, G., Peraza, P., Dalla-Rizza, M. y Montossi, F.

(2012), *Desarrollo de una plataforma en selección genómica enfocada en el progreso genético animal*, Serie Actividades de Difusión 698, INIA, Montevideo.

Pereyra, F., Urioste, J., Gimeno, D., Peñagaricano, F., Bentancur, D. y Espasandín A.

(2015), “Parámetros genéticos en la etapa de cría para el cruzamiento entre Hereford y Angus en campo natural”, en *Agrociencia Uruguay*, 19(1), pp. 140-149.

Phocas, F. et al.

(2016), “Review: Towards the agroecological management of ruminants, pigs and poultry through the development of sustainable breeding programmes: I-selection goals and criteria”, en *Animal*, vol. 10, 11, pp. 1749-1759.

Ponzoni, R. y Newman, S.

(1989), “Developing breeding objectives for Australian beef cattle production”, en *Anim. Prod.*, N° 49, pp. 35-47.

Pravia, M. I., Ravagnolo, O., Urioste, J. I. y Garrick, D. J.

(2014), “Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in Uruguay”, en *Livestock Science*, 160, pp. 21-28.

Quinton, C. D., Hely, F. S., Amer, P. R., Byrne, T. J. y Cromie A. R.

(2018), “Prediction of effects of beef selection indexes on greenhouse gas emissions”, en *Animal*, 12, pp. 889-897.

Ravagnolo, O., Aguilar, I., Crowley, J. J., Pravia, M. I., Lema, M., Macedo, F. L. y Navajas, E. A.

(2018), “Accuracy of genomic predictions of residual feed intake in Hereford with Uruguayan and Canadian training populations”, en *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*, Volume Electronic Poster Session—Species—Bovine (beef) (p. 723).

Rivero Viera, M.

(2004), *Objetivos de selección para un sistema de producción lechero con remisión a planta*, Tesis de grado, Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo.

Rovere, G., Astigarraga, L. y Urioste, J. I.

(2010), “Economic Values For Production And Reproduction Traits In Uruguayan Pasture Based Dairy Systems”, en *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production*.

Sánchez A. L., Bell, W. y Ponzoni R. W.

(2021), “A desired gains approach for the prediction of genetic gain in resistance to gastrointestinal nematodes in a multi-trait breeding objective in Uruguayan Merino sheep”, en *J. Anim. Breed. Genet.*, 00, pp. 1-10.

Soares de Lima, J. M.

(2009), *Modelo bio-económico para la evaluación del impacto de la genética y otras variables sobre la cadena cárnica vacuna en Uruguay*, Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica de Valencia, 240 pp.

Urioste, J. I., Ponzoni, R. W., Aguirrezabala, M., Rovere, G. y Saavedra, D.

(1998). “Breeding objectives for pasture fed Uruguayan beef cattle”, en *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 115(1-6), pp. 357-373.

Wall, E., Simm, G. y Moran, D.

(2010). “Developing breeding schemes to assist mitigation of greenhouse gas emissions”, en *Animal*, 4, pp. 366-376.