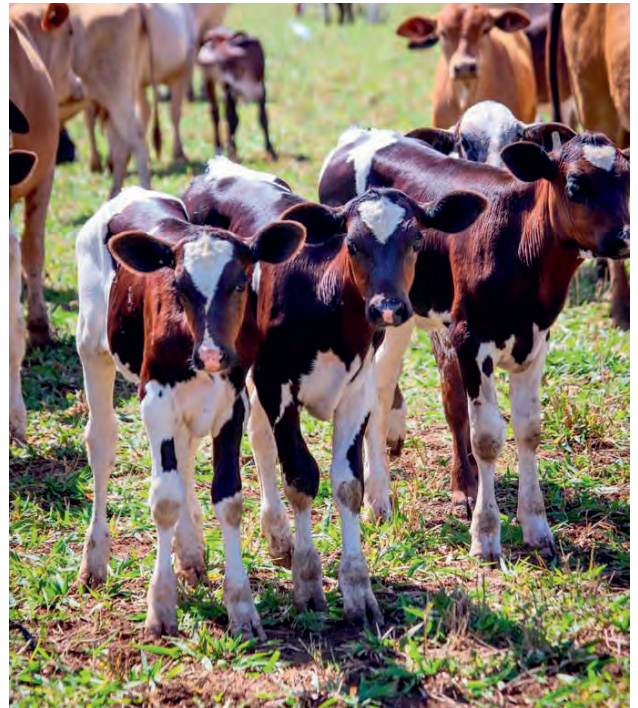
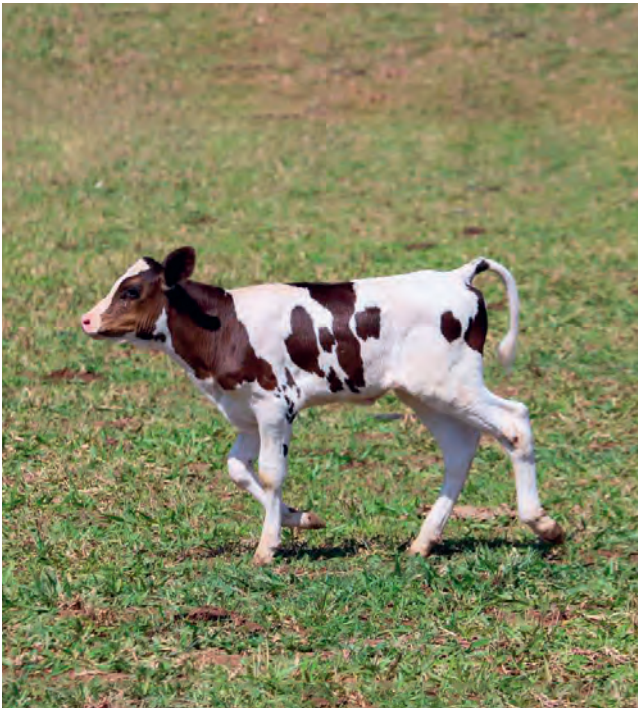




El gen *SLICK*: la genética que blindada la rentabilidad lechera frente al calor húmedo de Galicia

El incremento del estrés térmico por calor y humedad en Galicia está afectando de forma directa al rendimiento reproductivo y a la producción de la vaca frisona. Frente a las limitaciones y los costes operativos de los sistemas de enfriamiento mecánico, la incorporación del gen *SLICK* se presenta como una solución genética hereditaria para mejorar la capacidad de termorregulación del ganado, preservando la estabilidad productiva y la rentabilidad de las explotaciones lecheras.

Francisco Juan Carbone

Asesor ganadero, CEO y cofundador de Asesoría Genética Integral (AGI)

Durante décadas, Galicia se vendió a sí misma como un refugio climático para la vaca frisona: humedad constante, temperaturas suaves y veranos cortos. Ese relato ya no es sostenible. Los registros de estrés térmico que hoy manejamos en explotaciones de la provincia muestran algo que hace diez años habría sonado alarmista: la ganadería de alta producción del norte está empezando a pagar, en litros y en fertilidad, la misma factura que durante décadas fue exclusiva del trópico. Mi trabajo como asesor no es reaccionar

cuando el problema ya es evidente en el tanque de leche, sino anticipar la tendencia y traer a la mesa la herramienta genética correcta antes de que el mercado la banalice o la regulación la endurezca. El gen *SLICK* es, hoy, esa herramienta.

1. POR QUÉ GALICIA YA NO ES ZONA DE CONFORT TÉRMICO

La vaca holstein de alta producción genera una carga metabólica interna enorme —fruto de la rumia y de la síntesis de leche— que ya no depende exclusivamente de la temperatura

del termómetro. En un entorno de humedad relativa estructuralmente alta como el gallego, el umbral de estrés térmico se activa mucho antes de lo que la intuición sugiere, con caídas de ingesta, menor tasa de concepción y más días abiertos como primeras señales visibles.

Cada unidad adicional de índice de temperatura-humedad (ITH) por encima de 72 se ha asociado, en registros de la cornisa cantábrica, a pérdidas de hasta 0,25 kg de leche/vaca/día. Las razas de clima templado están, en términos comparativos, peor pre-

► EL ESTRÉS TÉRMICO DEJÓ DE SER UN EVENTO DE VERANO PUNTUAL PARA CONVERTIRSE EN UNA VARIABLE ESTRUCTURAL DEL NEGOCIO LECHERO GALLEGO. QUIEN LO TRATE COMO ANECDÓTICO LLEGARÁ TARDE

paradas genéticamente para el calor húmedo que las razas de origen tropical, y se recuperan más lentamente tras un episodio de calor.

La respuesta tradicional —ventilación y nebulización— es manejo, no genética: exige inversión continua y no se hereda.

2. QUÉ ES REALMENTE EL GEN *SLICK* (Y QUÉ NO ES)

Para el ganadero, el gen *SLICK* suele presentarse de forma simplificada como “pelo corto”. Como asesor genético, mi obligación es ir a la causa: se trata de una mutación dominante en el gen del receptor de la prolactina (PRLR), localizado en el cromosoma 20 (BTA20).

Las mutaciones —descritas en los exones 9, 10 u 11— introducen codones de parada prematuros que truncan entre 69 y 148 aminoácidos del dominio citoplasmático del receptor.

Esa truncación no anula el receptor; modifica la cinética de señalización de la vía JAK2/STAT5, con dos efectos fenotípicos concretos:

- **Ciclo folicular:** una mayor proporción de folículos pilosos en fase de reposo (telógena), lo que mantiene un pelaje corto y ventilado incluso bajo carga de calor; y
- **Sudoración:** una activación funcional superior de las glándulas sudoríparas, que aumenta la tasa

de sudoración y la pérdida de agua transepidérmica, mejorando el enfriamiento evaporativo.

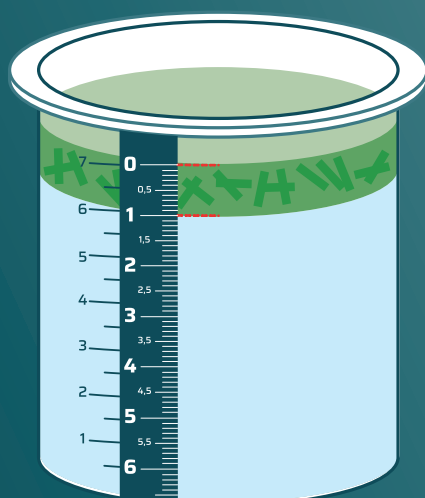
El resultado sistémico es una vaca que mantiene la temperatura corporal más estable bajo calor —del orden de algunas décimas de grado por debajo de sus compañeras convencionales según los ensayos— y que, por tanto, depende menos del jadeo como mecanismo de emergencia. Menos jadeo significa menos pérdida de bicarbonato salival y menor riesgo de acidosis ruminal secundaria al estrés térmico.

Un matiz que suelo aclarar en campo: el gen *SLICK* no es un interruptor que “desconecta” a la vaca del frío. Los animales portadores siguen desarrollando pelo de invierno cuando bajan las temperaturas; el rasgo es una mejora de la capacidad de respuesta térmica, no una vaca permanentemente rapada.

Efectos que van más allá de la piel

La evidencia más reciente apunta a que el alelo *SLICK1* modifica la expresión ►

CULTIVA BIEN ALIMENTA MEJOR



Ruminology es nuestro método de nutrición de precisión, basado en el análisis QUÍMICO y, sobre todo FÍSICO del forraje.

Sabemos su comportamiento en el rumen y respetamos los principios fisiológicos de los rumiantes.

Si quieres MAXIMIZAR TUS FORRAJES y MINIMIZAR EL PIENSO, pídenos una batería de muestras gratuita. Te mostraremos cómo lo hacemos.

Instagram: [nutristarspa](#) | [BESUMA: besuma.nutristar](#)
Delegación España: marc.beltran@nutristar.it | 647915221



BESUMA
2023 SL

NUTRISTAR
KEEP FARMING.

de decenas de genes hepáticos vinculados al metabolismo de aminoácidos, ácidos grasos y a la función inmune. Esto sugiere que el gen no actúa solo sobre el pelaje, sino sobre la fisiología general del animal frente al estrés, motivo por el cual conviene evaluarlo como parte de un paquete genómico, no como un rasgo cosmético aislado.

3. FERTILIDAD: EL BENEFICIO MENOS VISIBLE Y MÁS RENTABLE

Si tuviera que elegir un único argumento económico para recomendar esta genética a un cliente lechero, sería el reproductivo. El estrés térmico compromete la fertilidad porque el animal prioriza la supervivencia sobre la función reproductiva; al estabilizar la homeostasis, el gen *SLICK* protege indirectamente el eje hormonal reproductivo:

- **Reducción del intervalo entre partos**, con rangos reportados que se mueven de 17 a 15 meses en condiciones de clima cálido y húmedo.
- **Mejores tasas de concepción bajo carga térmica**: en un ensayo estacional, la tasa de preñez en primavera fue positiva en animales *SLICK* frente a un fracaso reproductivo casi total en el grupo convencional; conviene tratar esta cifra como indicativa de una tendencia, no como una garantía extrapolable a cualquier rebaño.
- **Protección del desarrollo embrionario y fetal**, sin evidencia de efectos deletéreos atribuibles a portar el alelo.

Cada mes menos de intervalo entre partos se traduce directamente en menos dosis de semen, menos visitas veterinarias y menos días improductivos. Es, en la práctica, la diferencia entre una vaca que “aguant” el verano y una vaca que sigue ciclando con normalidad.

4. LA CUENTA DE RESULTADOS: GENÉTICA FRENTE A HIERRO

La comparación que planteo a mis clientes es siempre la misma: invertir en infraestructura de refrigeración es invertir en un activo que se deprecia, consume electricidad y agua, y no se transmite a la siguiente generación. La genética *SLICK* es, en cambio, dominante y hereditaria: basta con que uno de los progenitores porte una copia para que el fenotipo se exprese en la descendencia (tabla 1).

Tabla 1. Comparativa entre enfriamiento mecánico y solución genética *SLICK*

Concepto	Enfriamiento mecánico	Genética <i>SLICK</i>
Inversión inicial/animal	2.200 - 3.500 €	45 - 90 € (dosis seminal)
Coste recurrente	Electricidad, agua, mantenimiento	Ninguno tras la concepción
Intervalo entre partos	Sin cambio estructural	De ~17 a ~15 meses (rango reportado)
Naturaleza del activo	Deprecia con el tiempo	Se hereda y se multiplica en el rebaño

Cifras convertidas de dólares estadounidenses a euros a un tipo de cambio orientativo de ≈0,88 USD/EUR (julio de 2026); pueden variar según el tipo de cambio vigente al momento de la compra

Sobre el impacto en producción de leche circulan cifras heterogéneas —desde décimas de kilo por día hasta varios cientos de litros por lactación en climas tropicales extremos—. Como asesor, prefiero no vender la cifra más optimista: lo defendible es que la vaca *SLICK* no gana leche por arte de magia, sino que evita la caída que sufre la vaca convencional cuando se activa el estrés térmico. El verdadero retorno está en la estabilidad de la curva de lactación en los meses críticos, no en un salto productivo milagroso.

5. ORIGEN DEL RASGO: UN CASO DE LIBRO DE EVOLUCIÓN CONVERGENTE

Lo que hace especialmente interesante este gen desde el punto de vista genómico es que no tiene un único origen. Es un ejemplo de evolución convergente: poblaciones bovinas completamente distintas, sometidas a la misma presión ambiental, desarrollaron mutaciones independientes en el mismo gen.

- **La raza senepol**, creada en Santa Cruz (Islas Vírgenes de EE. UU.) en 1918 a partir de ganado criollo cruzado con N'Dama y Red Poll, es portadora de la variante *SLICK1*, identificada sistemáticamente a comienzos de los años noventa.
- **El llamado “gen pelón”** del ganado criollo lechero de Puerto Rico, descendiente de bovinos ibéricos traídos hace cinco siglos, es el resultado de un proceso propio de selección adaptativa —la “criollización”— sin relación de diseño con el caso senepol.

Se han caracterizado hasta seis variantes naturales (*SLICK1* a *SLICK6*), resumidas en la tabla 2.

Para un asesor genético, este dato no es anecdótico: confirma que el rasgo es robusto y repetible en la naturaleza bajo presión de calor, lo

Tabla 2. Caracterización de seis variantes naturales

Variante	Mutación	Exón	Distribución principal
<i>SLICK1</i>	Delección c.1382del	Exón 10	Senepol y sus cruces
<i>SLICK2</i>	Nonsense p.Arg497*	Exón 11	Carora, limonero
<i>SLICK3</i>	Nonsense p.Ser465*	Exón 11	Limonero, criollo lechero mexicano
<i>SLICK4-6</i>	Inserción/delección o nonsense	Exón 11	Blanco orejinegro, romosinuano, carora, criollo tropical

cual reduce el riesgo de que estemos ante una curiosidad puntual sin base evolutiva sólida.

6. CÓMO SE INTRODUCE EN EL REBAÑO: DOS CAMINOS, UN MISMO DESTINO

En el terreno regulatorio y comercial es donde más se juega la implementación práctica en España y es también donde más valor aporta un asesor que conozca ambos caminos.

- **Retrocruzamiento tradicional**: se utiliza semen de toros que portan la mutación de forma natural. Es la vía lenta pero jurídicamente tranquila: 100 % legal en la UE, sin necesidad de etiquetado especial, y hoy ya existen sementales de mérito genético elevado que no obligan a sacrificar producción de grasa o proteína.
- **Edición genética con CRISPR**: permite insertar la mutación exacta en embriones de alto valor genético, acortando drásticamente el proceso. La FDA estadounidense ya calificó en 2022 el ganado PRLR-*SLICK* editado como de bajo riesgo, pero en la Unión Europea seguimos bajo el marco normativo de organismos modificados genéticamente, lo que introduce incertidumbre regulatoria y comercial. ➡

INMUNOFARM

Alternativa natural para un refuerzo de las defensas naturales y una ubre sana

Nuestros animales suelen tener periodos de estrés en los que se reducen las defensas naturales:

- » Épocas frías y húmedas.
- » Épocas de estrés por calor.
- » Épocas con mastitis y/o recuentos celulares altos (RCS).
- » Programas de vacunación.
- » Agrupaciones de ganado, concursos.
- » Cuando aparecen pases víricos que pueden desembocar en catarros, toses, diarreas, etc.



✓ Sin retirada de leche

✓ Sin antibióticos

✓ Sin receta veterinaria

 **innofarm**
Nutrición y Salud

grupoinnofarm@grupoinnofarm.com www.grupoinnofarm.com

► MI FUNCIÓN NO ES VENDER UN GEN DE MODA. ES LEER, CON DATOS Y CON RED DE CONTACTOS INTERNACIONAL, HACIA DÓNDE SE MUEVE LA GENÓMICA APLICADA ANTES DE QUE SE CONVIERTA EN UN ESTÁNDAR DE MERCADO, Y TRADUCIR ESA LECTURA EN UNA DECISIÓN DE ACOPLAMIENTO CONCRETA PARA CADA REBAÑO

Un riesgo técnico que como asesor no minimizo: los fundadores editados pueden presentar mosaicismos genéticos —no todas sus células portan el cambio—, por lo que la heredabilidad del rasgo a la primera generación no está garantizada y exige un cribado genómico riguroso de la descendencia.

Y un riesgo comercial que es hoy más determinante que el técnico: ninguna gran industria láctea española se ha pronunciado todavía sobre la leche procedente de animales editados. Recomendar la vía CRISPR sin un acuerdo previo con la industria procesadora es, en este momento, una apuesta especulativa. La vía de retrocruzamiento tradicional queda libre de ese riesgo y es, para la mayoría de mis clientes actuales, la recomendación prudente.

7. EL VALOR DEL ASESOR: ANTICIPAR LA TENDENCIA ANTES DE QUE EL MERCADO LA FIJE

El gen *SLICK* ilustra bien por qué la asesoría genética especializada aporta un margen que la información pública, por sí sola, no puede ofrecer:

- **Vigilancia temprana de tendencias internacionales:** seguimiento de resultados en EE. UU., Puerto Rico, Florida y el Caribe antes de que la genómica adaptativa al calor húmedo llegue como necesidad urgente a Galicia.
- **Acoplamiento genómico equilibrado:** seleccionar *SLICK* sin sacrificar salud de ubre, profundidad de patas ni producción, evitando la selección “solo por el pelo” que preocupa —con razón— a criadores escépticos.
- **Gestión del riesgo regulatorio y comercial:** distinguir cuándo recomendar la vía de retrocruzamiento tradicional frente a la edición genética, en función del apetito de riesgo del cliente y de la postura

—aún no definida— de la industria procesadora.

- **Lectura económica realista:** presentar rangos de retorno defendibles en lugar de la cifra más favorable disponible, protegiendo la credibilidad del asesor y la decisión de inversión del ganadero.

Esa combinación —anticipación, rigor técnico y gestión de riesgo comercial— es exactamente el rol que ejerzo hoy en la interfaz entre la genómica bovina de vanguardia y las explotaciones lecheras de Galicia y del norte de España.

Presencia directa en la vanguardia: el Elite Dairy Summit de Puerto Rico

Esta anticipación no se construye solo leyendo bibliografía: se construye estando de forma física en las salas donde se decide hacia dónde va la genética lechera tropical.

Del 19 al 22 de mayo de 2026 participé, como invitado especial por parte de STgenetics y Proterra Genetics, en el primer Elite Dairy Summit celebrado en el Hyatt Regency Grand Reserve de San Juan, Puerto Rico, un encuentro que reunió a un centenar de los mayores productores lecheros de Estados Unidos junto a referentes científicos y empresariales del sector: Juan F. Moreno (fundador y CEO de STgenetics), Pablo Ross (director científico de STgenetics), Kevin Ziemba (responsable global de consultoría genética aplicada de STgenetics), Mitch Hockett (director de STgenetics Farmfit Technologies), Jocelyn Johnson (responsable de investigación ganadera y sostenibilidad de STgenetics), Francisco Rodríguez DVM (Colganados y Proterra Genetics), Tim Doelman (ex CEO de Fairlife) y Mike McCloskey (cofundador de Select Milk Producers y de Fair Oaks Farm, ex presidente de Fairlife).

Puerto Rico no es un escenario casual para este debate: es, precisa-



mente, la cuna del “gen pelón” criollo del que habla este artículo y hoy concentra genómica aplicada, inversión institucional y una de las mayores densidades de productores lecheros de escala industrial de EE. UU. Compartir mesa con parte del equipo científico y directivo detrás de buena parte de la bibliografía citada en la sección anterior es, en la práctica, la diferencia entre traer una tendencia a Galicia antes de que se convierta en estándar de mercado, o después.

8. LO QUE DICE LA BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA REVISADA POR PARES

Antes de trasladar cualquier cifra a un cliente, contrasto el material divulgativo y comercial con la literatura original. Esto es lo que confirma, matiza o corrige la bibliografía primaria sobre el gen *SLICK*:

- **Origen convergente confirmado (Porto-Neto et al., 2018, *Frontiers in Genetics*):** un estudio de asociación genómica en las razas limonero y carora confirmó mutaciones truncantes independientes del PRLR en el cromosoma 20, respaldando con datos la evolución convergente del rasgo en distintas poblaciones tropicales.
- **Introgresión original (Dikmen et al., 2014, *Journal of Dairy Science*):** el estudio fundacional que documentó la introgresión del alelo *SLICK1* desde senepol hasta holstein de alta producción ya advertía, desde 2014, que el aumento de la tasa de sudoración no se observaba de forma consistente en todos los animales, un matiz que buena parte del material comercial actual omite. ►►



Nuestros toros, vuestra fortaleza

CRV, líder
en salud y eficiencia



Delta **Roadtrip RF**

Delta Statement X Delta Fast Lane

- ▶ Toro Top GICO
Extraordinaria producción +2583 Kg
187 Kg de grasa + proteína
Excelentes datos de salud

Delta **Cordial**

HMO Sterling X Delta Transform

- ▶ Extraordinarios % de grasa y proteína
Líder en eficiencia
Vacas balanceadas
Excelente conformación
Pedigrí diferente



Dalmore **PP**

Delta Drone PP Red X Visstein K&L Money P

- ▶ Gran producción +2133 Kg
Toro rojo, A2A2 y descornado
Excelente facilidad de parto
Vacas superpersistentes



BETTER COWS > BETTER LIFE

CRV GENETICS ESPAÑA. S.L.

C/. Oro, 32 - nave 14 - Pol. Ind. Sur
28770 - Colmenar Viejo (Madrid)
T 91 803 42 79 E crvinfo@crv4all.es

CRV ofrece la solución
perfecta para su rebaño.
Consulte nuestra web **CRV4all.es**

- **Sin efecto deletéreo en la gestión (Sosa *et al.*, 2021, *Animal Genetics*):** al genotipar 525 animales holstein y senepol, la frecuencia observada del alelo *SLICK1* (0,247) no difirió de la esperada bajo equilibrio de Hardy-Weinberg (0,269), lo que respalda que el alelo no compromete la viabilidad embrionaria ni fetal. Esta es la base real de la afirmación de “ausencia de efectos deletéreos” que circula en el sector.
- **Efecto hepático, con dirección (Sosa *et al.*, 2022, *Animal*):** se confirmaron 71 genes hepáticos diferencialmente expresados en heterocigotos *SLICK1* frente a no portadores, pero con una precisión que rara vez se traslada al discurso comercial: 13 sobreexpresados y 58 infraexpresados, con anotaciones funcionales ligadas a inmunidad y metabolismo de ácidos grasos y aminoácidos.
- **Sudoración: mecanismo funcional, no estructural (Sosa *et al.*, 2022, *Journal of Dairy Science*):** no se hallaron diferencias en la superficie ocupada por glándulas sudoríparas entre heterocigotos y no portadores, pero sí el doble de abundancia de la proteína FOXA1 —necesaria para la función sudorípara— en los heterocigotos; el análisis de expresión génica global no identificó genes ligados específicamente al desarrollo de la glándula. El mecanismo es funcional, no estructural, y más sutil de lo que sugiere buena parte del material divulgativo.
- **El paquete del cromosoma 4 confirmado, pero con una advertencia (Sonstegard *et al.*, 2024, *Journal of Heredity*):** un programa de introgresión de largo plazo en el rebaño holstein de la Universidad de Florida (animales nacidos entre 2012 y 2023) confirmó que el fondo genético senepol remanente fuera del locus PRLR es mínimo, y verificó el segundo agrupamiento de haplotipos senepol en el cromosoma 4 citado en el material comercial. Pero el mismo trabajo señala algo que ese material omite: existe, en general, una correlación genética negativa entre caracteres de producción y capacidad de termorregulación, por lo que seleccionar agresivamente por termotolerancia sin control genómico paralelo puede erosionar mérito productivo con el tiempo.

► PUERTO RICO NO ES UN ESCENARIO CASUAL PARA ESTE DEBATE: ES, PRECISAMENTE, LA CUNA DEL “GEN PELÓN” CRIOLLO DEL QUE HABLA ESTE ARTÍCULO Y HOY CONCENTRA GENÓMICA APLICADA, INVERSIÓN INSTITUCIONAL Y UNA DE LAS MAYORES DENSIDADES DE PRODUCTORES LECHEROS DE ESCALA INDUSTRIAL DE EE. UU.

- **Riesgo técnico real en la vía CRISPR:** estudios de edición del PRLR muestran que el resultado depende del ARN guía (sgRNA) empleado: algunos han reducido de forma significativa la tasa de escisión y de desarrollo a blastocisto en los embriones editados, mientras que otros no mostraron ese efecto. El riesgo de mosaicismo y de daño al desarrollo embrionario temprano no es un tecnicismo menor: es una variable de diseño experimental que debe auditarse guía por guía antes de escalar cualquier programa de edición. Ninguno de estos matices invalida el caso de negocio del gen *SLICK*. Al contrario: lo hace más defendible, porque distingue lo que está sólidamente probado (el mecanismo molecular, la ausencia de daño reproductivo, el patrón de herencia dominante) de lo que todavía depende del protocolo experimental o del contexto productivo (magnitud exacta del efecto en leche, consistencia de la sudoración, riesgo de erosión de mérito genético si se selecciona sin control). Esa distinción es, precisamente, el trabajo de un asesor genético.

9. CONCLUSIONES PARA EL GANADERO

- El gen *SLICK* no sustituye la ventilación en olas de calor extremo, pero eleva el umbral de resistencia del animal y hace que cualquier inversión en enfriamiento mecánico rinda más.
- Al ser un rasgo dominante, un solo progenitor portador ya produce descendencia con el fenotipo, lo que acelera su difusión en el rebaño sin diluir el resto del programa genético.
- La vía de retrocruzamiento tradicional es hoy la opción comercialmente más segura en el marco regulatorio español; la edición genética con CRISPR es una opción de futuro que exige antes un acuerdo con la industria procesadora.

- El beneficio más sólido y mejor documentado no es el kilo de leche adicional, sino la estabilidad de la curva de lactación y de la fertilidad durante los meses críticos del año.
- La bibliografía advierte de una correlación genética negativa entre producción y termotolerancia: seleccionar *SLICK* sin acompañarlo de control genómico sobre producción y salud de ubre puede, con el tiempo, erosionar mérito productivo. Es el argumento técnico definitivo contra la selección “solo por el pelo”. La genética *SLICK* no es la solución milagrosa al cambio climático en la ganadería, pero es, con los datos disponibles hoy, una de las herramientas de adaptación con mejor relación entre coste, reversibilidad de riesgo y horizonte de rentabilidad. La decisión de cuándo y cómo incorporarla —y con qué sementales, dentro de qué programa de acoplamiento— es precisamente donde una asesoría genética especializada marca la diferencia entre anticiparse a la tendencia y llegar a ella cuando ya dejó de ser una ventaja competitiva. ■

BIBLIOGRAFÍA

- Porto-Neto, L.R. *et al.* (2018). Convergent Evolution of Slick Coat in Cattle through Truncation Mutations in the Prolactin Receptor. *Frontiers in Genetics*, 9:57.
- Dikmen, S. *et al.* (2014). The *SLICK* hair locus derived from Senepol cattle confers thermotolerance to intensively managed lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 97(9):5508-5520.
- Sosa, F. *et al.* (2021). Inheritance of the *SLICK1* allele of PRLR in cattle. *Animal Genetics*, 52(6):887-890.
- Sosa, F. *et al.* (2022). Effects of the *SLICK1* mutation in PRLR on regulation of core body temperature and global gene expression in liver in cattle. *Animal*, 16(5):100523.
- Sosa, F. *et al.* (2022). Effects of the bovine *SLICK1* mutation in PRLR on sweat gland area, FOXA1 abundance, and global gene expression in skin. *Journal of Dairy Science*.
- Sonstegard, T. *et al.* (2024). Maintaining Breed Integrity: Successful Introgression of the *SLICK1* Allele into the Holstein Breed. *Journal of Heredity*.