

## Capítulo XX

### **Metodologías no convencionales para la evaluación genética en características con medidas repetidas**

**Gilberto Pérez Quintero**  
**Manuel Gómez Gil**

---

Siempre que se trata el tema del mejoramiento genético en rebaños de DP, un aspecto central es la elección de las características que deben ser, valga la redundancia, mejoradas. Uno de los elementos que orientan la elección de estas características es la factibilidad de ser medidas con relativa facilidad, bajo las condiciones de campo existentes<sup>1</sup>. Lo primero que debemos aclarar es que la característica y su medición son dos cosas distintas. Un ejemplo de una característica es la “fertilidad” (de las vacas, por ejemplo) y una posible forma de medir esa característica es realizando un examen ginecológico rutinario, que normalmente incluye una palpación transrectal, con el fin de determinar si la vaca está o no está preñada, lo cual sería un indicativo de si la hembra en cuestión es o no es fértil bajo determinadas circunstancias. En resumen, la característica es la “fertilidad” y un indicador de dicha característica es la presencia o no de una preñez.

Una vez elegidas las características a mejorar y hacer, de forma rutinaria, las mediciones respectivas, es necesario “procesar” la información obtenida para, entre otras cosas, predecir valores genéticos en los animales. Recordar que lo que medimos de manera rutinaria es el fenotipo de cada animal y que, a partir de esta información, intentamos predecir cuál es el valor genético de esos animales, una vez que dicho fenotipo es ajustado por ciertos factores ambientales. El procesamiento de la información para obtener valores genéticos es normalmente un proceso bastante complejo ya que requiere de cierto nivel de profundidad en el conocimiento y manejo de procedimientos estadísticos.

1 Damos por descontado que el lector de este artículo ya está al tanto de que las evaluaciones genéticas serias se hacen con base a mediciones objetivas de características (pesos, mediciones de leche, presencia o no de preñeces) y no a apreciaciones visuales o gustos particulares por ciertos aspectos de “belleza animal”.

## **EL PROBLEMA DE LAS CARACTERÍSTICAS QUE PUEDEN MEDIRSE REPETIDAMENTE**

Ciertas características, como la producción de leche o el crecimiento pueden ser medidas varias veces a lo largo de un determinado período. Si se requiere asociar un fenotipo particular a cada animal, estas características presentan entonces una complicación adicional, ya que debe establecerse un procedimiento para determinar dicho fenotipo a partir de las mediciones realizadas, una especie de “medida resumen” a partir de todas las mediciones hechas para la característica a evaluar.

En el caso de la producción de leche es común registrar entre 6 y 10 pesajes de leche por vaca<sup>2</sup>, los cuales son acumulados utilizando diferentes estrategias matemáticas diferentes (Swalve, 1998) para obtener un registro por lactancia. Los registros más comúnmente usados son la producción de leche ajustada a 305 días (en el caso de ganaderías lecheras especializadas) o a 244 días (en el caso de ganaderías de DP). Este registro acumulado es generalmente corregido por otros factores ambientales (época de parto, edad de la vaca, número de lactancias, entre otros). Adicionalmente, note que cada vaca puede, a su vez, tener varios registros acumulados de producción de leche (varias lactancias) a lo largo de su vida productiva. El manejo más común de esta circunstancia es asumir que las producciones de leche de cada lactancia son mediciones de la misma característica.

El crecimiento también es una característica que puede medirse repetidamente durante la vida de un animal. De hecho, es una característica que, en teoría, puede medirse infinitas veces<sup>3</sup> desde que el animal nace. Si se desea y las condiciones lo permitieran, se podrían hacer pesajes cada hora de cada día durante toda la vida de un animal, por ejemplo. Sin embargo, desde el punto de vista práctico, los criadores de ganado bovino no han estado tan interesados en el crecimiento de sus animales, entendida como una función biológica longitudinal gradual, sino en el peso particular que alcanzan sus animales en diferentes etapas de la vida que, aunque establecidas de forma arbitraria, tienen una alta relación con ciertos cambios biológicos que ocurren a determinadas edades. Tradicionalmente, se han establecido tres etapas que son representadas cada una de ellas con un peso particular: el crecimiento prenatal se representa con el peso al nacer, el crecimiento predestete con el peso al destete (alrededor de los 7 u 8 meses) y el crecimiento posdestete que, en nuestras condiciones, suele hacer-

- 2 Es el número de pesajes que se obtienen si se hacen controles mensuales. En caso de controles quincenales o semanales en sistemas de DP la cantidad de mediciones obviamente aumenta. También está el caso de controles diarios apoyándose en sistemas automatizados de información, lo cual generaría un dato de producción cada vez que la vaca ingresa al ordeño. Paradójicamente, a mayor cantidad de información la precisión se incrementa, pero las dificultades de gestión de la información también se incrementan enormemente.
- 3 Supóngase que es posible mantener a un animal durante toda su vida sobre una balanza y que es posible registrar el peso cada vez que se desee. Adicionalmente, supóngase que puede programarse la balanza para que registre el peso a intervalos de tiempo tan cortos como se desee, cada milisegundo, por ejemplo. Dado que es posible imaginar infinitos intervalos de tiempo para pesar el animal, también es posible imaginar infinitos pesos registrados durante la vida de ese animal.

se después de los 18 meses de edad. Nótese que los pesos son las medidas y la característica real es el crecimiento, pero esta práctica común de tomar los pesos a ciertas edades particulares y evaluarlos por separado ha hecho que asumamos dichos pesos (medidas) como si fuesen características individuales, olvidando frecuentemente que cada peso es sólo una parte de una característica que se expresa permanentemente y que llamamos "crecimiento".

## **VIEJAS IDEAS, NUEVAS APLICACIONES. ¿CÓMO USAR TODA LA INFORMACIÓN DISPONIBLE?**

Como hemos visto, existe una tendencia natural a simplificar el cúmulo de mediciones que se hacen de una característica de cada animal en un registro único. Dicha simplificación obedece generalmente a las dificultades metodológicas que representa el desafío de predecir valores genéticos de ciertas características en una población dada. Sin embargo, esa simplificación genera algunos otros problemas que están asociados, en especial, a la precisión<sup>4</sup> de las estimaciones y de las predicciones.

A manera de ejemplo, imaginemos que se hacen pesajes mensuales de leche en un rebaño de DP. A partir de esas mediciones se hace una estimación de la producción de leche total y luego se ajusta a una duración dada (244 ó 305 según sea el caso). A las vacas cuyas lactancias están en progreso se les extrapola su producción asumiendo una curva de lactancia estándar (Wood, 1967). Estos procedimientos implican manipulaciones matemáticas que inevitablemente llevan asociado un error el cual, en principio, no es tomado en cuenta para la predicción de los valores genéticos. Adicionalmente, se asume que los factores no genéticos que afectan cada pesaje de leche dentro de una misma lactancia son los mismos, lo cual obviamente no es cierto<sup>5</sup>. En el caso de varias lactancias, normalmente se asume que la característica evaluada es la misma en cada vaca (las correlaciones genéticas entre las lactancias es 1), añadiendo al modelo el número de lactancias como efecto fijo, aplicando entonces un "modelo de repetibilidad".

En el caso del crecimiento, las mediciones que se hacen en diferentes etapas también son también preajustadas antes de analizarlas. Así, es muy común preajustar el peso al destete a una edad fija de 205 días y el peso posdestete a una edad fija de 548 días. Estos preajustes son realizados asumiendo una tasa de crecimiento lineal lo cual no es necesariamente cierto. Luego, las diferentes medidas (peso al nacer, a los 205 días, a los 548 días) son tenidas como características diferentes, asumiendo cambios en las covarianzas entre las diferentes etapas del crecimiento, constituyendo así los conocidos como "modelos multicaracter".

4 En las evaluaciones genéticas a gran escala, para producir reproductores probados o para elegir hembras como donadoras de óvulos, la precisión de un valor genético predicho es tan importante como el propio valor genético. En este contexto, valor genéticos predichos con precisiones asociadas bajas (por debajo de 0,70, digamos) prácticamente no sirven de nada.

5 Si, por ejemplo, una vaca perteneciente a un rebaño de DP ubicado en el pic de monte andino tiene un parto en enero, es muy probable que las condiciones de humedad y temperatura sean muy diferentes cuando se realicen el primer y el último pesaje. El primer pesaje se realizará en enero (sequía) y el último se realizará aproximadamente en agosto (lluvia).

¿Cómo puede abordarse estadísticamente una característica que se mide repetidamente, sin necesidad de resumir los datos en un sólo registro ni hacer preajuste de las mediciones? Kirkpatrick y otros autores han propuesto el uso de funciones de covarianza (FC) para abordar el análisis de este tipo de datos (Kirkpatrick & Heckman, 1989; Kirkpatrick *et al.*, 1990; 1994). Una FC es una función continua que proporciona la varianza y la covarianza de características medidas en diferentes puntos de una trayectoria (Kirkpatrick & Heckman, 1989; Kirkpatrick *et al.*, 1990). La función ayuda a proporcionar información sobre la forma como tales características cambian con el tiempo y sobre las causas de variación de dicho cambio. Este enfoque ofrece varias ventajas sobre los métodos tradicionales cuando son aplicados sobre este tipo de datos (Kirkpatrick & Heckman, 1989).

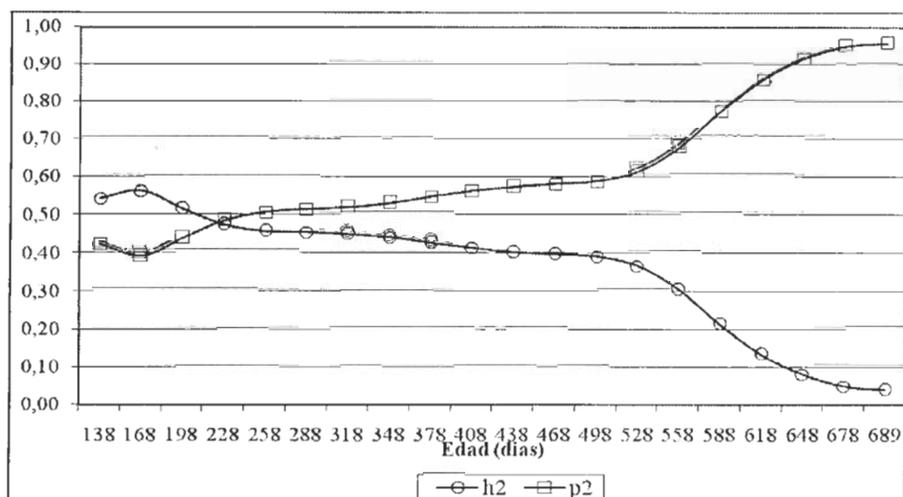
- Describe el carácter en todos los puntos de la trayectoria en vez de sólo algunos puntos preestablecidos, como ocurre en la evaluación de pesos a determinadas edades.
- Puede hacer estimaciones más eficientes de los parámetros de interés.
- Provee de un método para analizar patrones de variación genética que revele potenciales cambios en la trayectoria de la característica, para los cuales pudiese existir una variación genética sustancial.

Un procedimiento equivalente para obtener FC fue propuesto originalmente como modelos de regresión aleatoria, RA (Henderson Jr., 1982; Jennrich & Schuller, 1986; Laird & Ware, 1992; Schaeffer & Dekkers, 1994). Jamrozik & Schaeffer (1997) lo redefinieron como un procedimiento similar al modelo de efectos genéticos maternos para ser usado en datos de producción del día de control (test-day) en bovinos lecheros. Se entiende como modelos para la producción del día de control los modelos que usan cada control lechero como una observación separada y particular de cada animal. Este modelo permite ajustar coeficientes para partes de las funciones de días en lactancia de cada vaca como variables aleatorias. Esta metodología considera dos elementos importantes que no son posibles abarcarlos con los modelos de repetibilidad tradicionales: los cambios de manejo y de ambiente que ocurren a través de la lactancia y los grupos de hembras contemporáneas que no necesariamente son las mismas a través de una misma lactancia. Predicciones de valores genéticos con modelos de RA representan predicciones de diferencias tanto en la forma como en el pico de la curva de lactancia, lo cual podría también permitir la evaluación genética de la persistencia.

## **IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS NUEVOS**

La implementación de modelos de producción del día de control no requiere que se realicen pesajes de leche adicionales, por lo tanto, no requiere modificaciones en las rutinas de manejo existentes en las unidades de producción. Tampoco es necesario el ajuste previo de la lactancia a una duración fija de la misma. De manera adicional, no es necesario extender matemáticamente los registros lecheros de aquellas vacas que no han terminado su lactancia, pudiendo dichos registros utilizarse directamente aportando información que puede contribuir a disminuir el intervalo generacional.

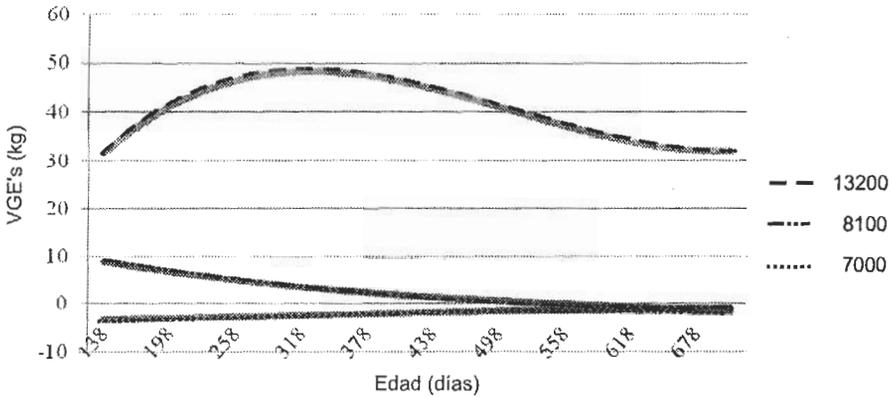
Debido a que es posible estimar componentes de covarianza entre cada uno de los puntos de la trayectoria de la característica (días en lactancia, edad), también es posible estimar valores del índice de herencia para cada punto de la trayectoria. Así, existe la posibilidad de elegir algún punto determinado de la trayectoria de la característica con mayor heredabilidad para hacer las predicciones de valor genético, obteniendo así una mayor precisión asociada a las mismas. Un ejemplo se presenta en el Gráfico 1, donde puede observarse que el índice de herencia del carácter va disminuyendo conforme va avanzando la edad.



**Gráfico 1. Heredabilidad ( $h^2$ ) y proporción de la varianza fenotípica debida al efecto permanente directo ( $p^2$ ) en bovinos de carne.**

Como consecuencia de lo anterior, con estos métodos es posible predecir el valor genético de cada animal para cada punto de la trayectoria de la característica. Así, es posible predecir el valor genético de producción de leche de cada animal para cada día en lactancia o el valor genético de peso para cada día de edad. Con esta información se pueden obtener curvas de valores genéticos en vez de valores genéticos puntuales. Un ejemplo se muestra en el Gráfico 2. Nótese que es posible que existan diferencias genéticas entre dos animales en algún punto de la trayectoria (alrededor de los 140 días de edad entre los animales 8100 y 7000) y luego dichas que diferencias desaparezcan (alrededor de los 680 días de edad).

Debido a la posibilidad de obtener valores genéticos para cada día de la lactancia, el método permite hacer una evaluación de la persistencia de la lactancia. Es posible que vacas con menor intensidad y mayor persistencia de sus lactancias sean más eficientes en nuestro contexto tropical. Vacas con producciones menos espectaculares en el pico de la lactancia están sometidas a menores niveles de estrés y mantienen con más facilidad su condición corporal, lo cual puede tener un impacto positivo en la reproducción durante los primeros 90 días posparto y, como consecuencia, pueden lograr un mayor número de lactancias de por vida.



**Gráfico 2. Curvas de valores genéticos estimados de crecimiento en bovinos.**

Finalmente, se hace evidente que estos métodos generan valores genéticos más precisos dado que usan toda la información disponible de una característica en vez de un solo registro que resume la información de dicha característica. El incremento en la precisión de las estimaciones redonda directamente en la efectividad de la selección.

## **CONSIDERACIONES FINALES**

La implementación de métodos como los descritos en este texto dependen básicamente de dos condiciones: 1) la disponibilidad de datos de producción y genealógicos confiables y registrados de manera regular durante varias generaciones y 2) el interés de los productores de realizar evaluaciones genéticas.

Como se mencionó anteriormente, para implementar un modelo de producción del día de control, no se requiere la toma adicional de datos a los que regularmente deberían tomarse para hacer evaluaciones tradicionales. Las dificultades de implementación estarían en todo caso asociadas a la capacidad computacional necesaria para manejar grandes bases de datos y a la disponibilidad de personal capacitado para procesar estos datos y hacer las estimaciones necesarias y las interpretaciones apropiadas.

Las ventajas de estas metodologías se concentran en la forma más eficiente del manejo de los datos (lo que redonda en mayor precisión de las estimaciones) y en las posibilidades de hacer análisis más diversos con los mismos datos (analizar no sólo la producción a una duración dada de la lactancia sino también aspectos como la persistencia).

Países como Alemania y Francia utilizan de manera rutinaria desde hace varios años los modelos de producción de leche del día de control en sus evaluaciones genéticas de bovinos lecheros. ¿Es factible implementar estas metodologías en rebaños bovinos productores de leche en Venezuela?

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Henderson Jr CR. 1982. Analysis of covariance in the mixed model: higher-level, nonhomogeneous, and random regression. *Biometrics* 38:623-640.
- Jamozik J, Schaeffer LR. 1997. Estimates of genetic parameters for test-day model with random regression for yield traits of first lactations Holstein. *J Dairy Sci* 80:762-770.
- Jennrich RI, Schuller MD. 1986. Unbalanced repeated-measure models with structured covariance matrices. *Biometrics* 42:805-820.
- Kirkpatrick M, Heckman N. 1989. A quantitative genetic model for growth, shape, reaction norm, and other infinite-dimensional characters. *J Math Biol* 27:429-450.
- Kirkpatrick M, Hill WG, Thompson R. 1994. Estimating the covariance structure of traits during growth and aging, illustrated with lactation in dairy cattle. *Genet Res* 64:57-69.
- Kirkpatrick M, Lofsvold D, Bulmer M. 1990. Analysis of the inheritance and evolution of growth trajectories. *Genetics* 124:979-993.
- Laird NM, Ware JH. 1992. Random-effects model for longitudinal data. *Biometrics* 38:963-974.
- Schaeffer LR, Dekkers JCM. 1994. Random regression in animal models for test-day production in dairy cattle. *Proc 5<sup>th</sup> World Cong Genet Appl Livest Prod*. 18:443-446. Guelph, Canada.
- Swalve HH. 1998. Use of test day records for genetic evaluation. *Proc 6<sup>th</sup> World Cong Genet Appl Livest Prod*. 23:295-302.
- Wood PDP. 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. *Nature* 216:164-165.