

RESPUESTA ECONÓMICA A LA SELECCIÓN POR EFICIENCIA ALIMENTARIA

Hasta ahora, la selección por eficiencia alimentaria en líneas paternas de conejo se ha realizado de forma indirecta, centrando el objetivo de selección en la tasa de crecimiento debido a la dificultad de medir el consumo individual. Sin embargo, la correlación genética entre crecimiento y eficiencia no es extremadamente alta. En la Universitat Politècnica de València hemos iniciado un experimento de selección divergente basado en un índice económico de eficiencia alimentaria. Este índice combina los valores genéticos estimados de consumo y ganancia de peso entre las 7 y 9 semanas de edad, ponderados por sus pesos económicos, y tiene en cuenta las heredabilidades y la relación entre los caracteres. Además de los beneficios económicos, se espera que el progreso genético logrado mediante este índice tenga un impacto positivo en términos medioambientales, al aumentar la velocidad de crecimiento y disminuir la cantidad de alimento necesaria para llegar al peso comercial.

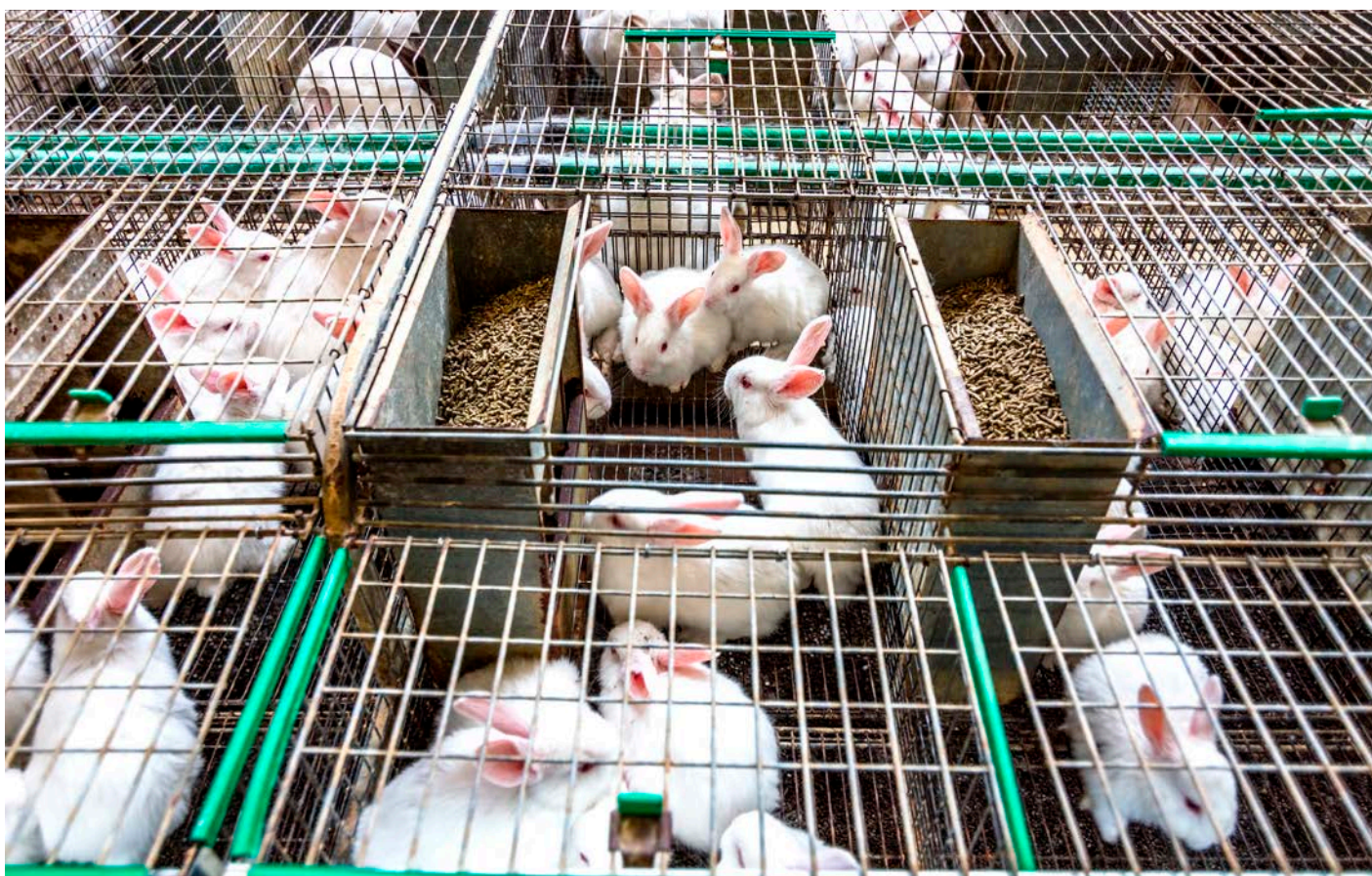
BLASCO A., CELUS C.S., RODRÍGUEZ-SOLDEVILA M., HERNÁNDEZ P., MARTÍNEZ-ÁLVARO M.
Instituto de Ciencia y Tecnología Animal, Universitat Politècnica de València



Mejorar la eficiencia alimentaria por selección genética es una de las estrategias más eficaces y sostenibles para aumentar la producción de proteína animal. Un animal que requiere menos kg de alimento por kg de peso vivo producido reduce el coste ambiental asociado a la producción de proteína y aumenta la rentabilidad del ganadero, ya que el alimento es el principal coste en las granjas. Además, los animales genéticamente más eficientes tienen un crecimiento más rápido, debido a la correlación genética – moderada – que hay entre eficiencia alimentaria y velocidad de crecimiento. Esto implica que los animales alcancen antes el peso al sacrificio, y requieran menos energía de mantenimiento por kg de producto si se sacrifica antes, lo cual también contribuye a la eficiencia y a la sostenibilidad de la producción. Además, la selección genética es una estrategia particularmente atractiva porque los avances son permanentes y acumulativos, a diferencia de otras

estrategias como las nutricionales. El Instituto de Ciencia y Tecnología Animal de la Universitat Politècnica de València dispone de una granja experimental equipada con 104 jaulas individuales que permiten registrar el consumo individual, además de capacidad para 200 hembras, plazas para machos y parques de engorde colectivo. Recientemente, se ha iniciado un experimento de selección divergente utilizando un índice económico de eficiencia alimentaria. La eficiencia alimentaria se puede abordar de diferentes formas, por ejemplo, como consumo residual o como índice de conversión. En este experimento la abordaremos como eficiencia alimentaria económica, usando un índice de selección que busca maximizar el beneficio del ganadero (Blasco, 2021). Hasta ahora, la selección de líneas paternas comerciales de conejo se basaba únicamente en la tasa de crecimiento, ya que era difícil monitorizar el consumo individual. Esto ha limitado el progreso hacia animales más eficientes y sostenibles porque la

correlación genética entre ambos caracteres no es elevada (entre -0,38 y -0,49, revisado por Blasco y col., 2018). De manera experimental, tanto el INRA (Garreau y col. 2019, Drouilhet y col. 2016) como el IRTA (Piles y Sánchez, 2019) han desarrollado líneas seleccionadas por diferentes criterios de eficiencia alimentaria, en condiciones de cría individual y colectiva. En ambas instituciones, una de las líneas fue seleccionada por crecimiento bajo restricción alimentaria, pero esta estrategia redujo considerablemente la variabilidad genética de carácter objeto de selección y no se produjo respuesta (Sánchez, 2025). Otra línea fue seleccionada por consumo residual, y aunque sí se obtuvo respuesta en eficiencia alimentaria, se observó una respuesta correlacionada negativa en crecimiento (Garreau y col. 2019, Piles y Sánchez, 2019). En cualquier caso, ninguno de estos criterios de selección tiene una respuesta económicamente óptima, que solo se obtiene cuando se usa un índice de selección ponderando



económicamente los caracteres medidos. El objetivo de este trabajo es describir un experimento de selección por un índice económico de eficiencia alimentaria y que dará lugar a una nueva línea paternal comercial. Se evalúan sus potenciales consecuencias económicas, incluyendo las respuestas esperadas en consumo, ganancia de peso y peso al sacrificio.

MATERIAL Y MÉTODOS

El origen genético de las líneas procede de cruces cárnicos comerciales. Los animales se reprodujeron al azar durante 3 generaciones. Los apareamientos se diseñaron con el fin de minimizar el parentesco utilizando el software *seq_mating* (Caballero y col., 1996). Tras estas 3 generaciones, se ha constituido la población base que consta de unas 250 hembras y 30 machos. A partir de esta generación base, se han constituido las líneas de alto y bajo beneficio económico, seleccionadas por un índice que incluye como caracteres objetivo los valores

EL OBJETIVO DE ESTE TRABAJO ES DESCRIBIR UN EXPERIMENTO DE SELECCIÓN POR UN ÍNDICE ECONÓMICO DE EFICIENCIA ALIMENTARIA Y QUE DARÁ LUGAR A UNA NUEVA LÍNEA PATERNAL COMERCIAL

genéticos del consumo (kg de pienso) y la ganancia de peso (kg de peso) de 7 a 9 semanas de edad. Estos valores genéticos se estiman con un modelo animal bicarácter con los fenotipos consumo y ganancia de peso, teniendo en cuenta el pedigrí, efectos

ambientales y efectos de camada común. Aunque los caracteres se midan solo durante las últimas dos semanas de engorde, la correlación fenotípica obtenida entre el consumo medido en las 2 últimas semanas y en todo el engorde, con datos propios, es de 0,92, y en este trabajo suponemos que las correlaciones fenotípicas y genéticas son muy similares (Koots y Gibson, 1996). Los valores genéticos se ponderan por sus respectivos pesos económicos, que son -0.448 €/kg de pienso de engorde para el consumo (calculado a partir de facturas propias) y $+2.40$ €/kg de conejo vivo para la ganancia de peso (media de 2024 de los valores ofrecidos en Lonjas <https://asescu.com/mercado-de-conejo-lonjas/>). La proporción de selección aplicada es de 25% para las hembras y 6% para los machos, que corresponden a intensidades de selección de 1,27 y 1,98 respectivamente, y 1,62 de media. Por otro lado, constituir líneas divergentes permite obtener el doble de respuesta por unidad de tiempo, y estudiar la biología genética del carácter en ambas direcciones.

Además, una línea hace de control de la otra. En cuanto al manejo de la granja, se practican adopciones al nacimiento, homogeneizando camadas aprox. a 9 gazapos. Los animales se destetan a las 5 semanas de edad y pasan a parques comerciales de 2 m² en grupos de 25 gazapos por parque (0,8 gazapos/m²). A las 7 semanas de edad, los animales pasan a jaulas individuales donde se controla el consumo de cada animal desde las 7 hasta las 9 semanas. Todos los animales, machos y hembras, se pesan al destete, a las 7 y a las 9 semanas de edad. Los gazapos reciben un pienso comercial que contiene 14,5% de proteína bruta, 20,0% de fibra bruta, 3,0% de grasa, 1,2% de calcio, 0,44% de fósforo y 0,31% de sodio. La granja tiene ventilación e iluminación controladas. Este trabajo se ha realizado con ~900 datos de consumo y ganancia de peso de 7 a 9 semanas, y pesos a las 7 y a las 9 semanas procedentes de las 3 generaciones de selección al azar y la generación base. Los parámetros descriptivos de los caracteres se estimaron tras corregir por los efectos fijos de orden de parto (5 niveles) y mes (11 niveles) y la covariable nacidos destetados (teniendo en

cuenta las adopciones), utilizando el paquete de R *RabbitR* (<https://github.com/marinamartinezalvaro/RabbitR>, Martínez-Álvarez y col. 2023). La estimación de los parámetros genéticos de los caracteres se realizó ajustando modelos animales bivariantes combinando los 4 caracteres dos a dos, incluyendo los mismos efectos fijos mencionados, y los efectos aleatorios de camada común (186 niveles) y genético aditivo (el pedigrí incluyó 1,623 animales). Estos modelos se resolvieron con estadística bayesiana, utilizando información a priori plana para todos los parámetros desconocidos salvo los efectos aleatorios, usando el paquete de R *MCMCglmm* (Hadfield, 2010). Aunque en la práctica el índice de selección lo estimamos con el modelo animal teniendo en cuenta todos los datos de los animales en el pedigrí, por simplicidad, en este trabajo vamos a aproximarnos a la situación real asumiendo un índice de selección donde el criterio son los fenotipos corregidos de consumo y ganancia de peso del propio individuo, de su padre, su madre y de 5 hermanos completos, de acuerdo con la estructura de nuestro pedigrí, y el objetivo es la combinación económica óptima de

los valores genéticos de consumo y ganancia de peso del individuo. Se presenta la respuesta económica esperada por generación, la respuesta en cada objetivo de selección y su contribución al índice, y la respuesta correlacionada esperada en P₉, siguiendo la teoría de los índices de selección (Blasco, 2021; Cameron, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **Tabla 1** muestra los parámetros descriptivos de los caracteres de consumo y peso. El peso medio de los animales al sacrificio (9 semanas) fue de 2,49±0,33 kg, algo superior a los publicados por Hernández y col., 2006 (2.18 kg) y Drouilhet y col. 2016 (2,2±0,23 kg) en otras líneas de selección por eficiencia. En el periodo de 7 a 9 semanas, los animales crecieron 0,80±0,16 kg y consumieron 2,59±0,44 kg de pienso por término medio; ambos caracteres mostraron coeficientes de variación similares, en torno al 20%. El índice de conversión medio de 7 a 9 semanas fue de 3,23 kg de pienso/kg de peso; y asumiendo los pesos económicos descritos en métodos, el beneficio económico medio fue de 0,76 €/conejo.

La **Tabla 2** muestra los parámetros genéticos de los caracteres de consumo y peso. Estos parámetros son aproximados porque provienen de cruces de animales, y hasta la tercera generación de apareamientos al azar están afectados por heterosis y desequilibrio de ligamiento, pero son un buen indicador de las relaciones genéticas entre caracteres. Los caracteres objetivo de selección, ganancia de peso y consumo de 7 a 9 semanas mostraron heredabilidades en torno a 0,20. La correlación genética entre ambos fue de 0,61[0,29, 0,82], y su valor garantizado con un 80% de probabilidad fue de 0,50. Su correlación fenotípica, 0,77 estimada fue coherente con su correlación genética. Las heredabilidades de los pesos fueron 0,33 y 0,27, similares a las de la literatura (Blasco y col. 2018). Destaca la elevada correlación genética (0,76) entre consumo y peso al sacrificio, lo cual afectará a los resultados del índice. Además, ambos pesos a 7 y 9 semanas mostraron correlaciones genéticas superiores

Tabla 1.

Parámetros descriptivos de los caracteres¹ peso a las 7 y a las 9 semanas, ganancia de peso de 7 a 9 semanas y consumo de pienso de 7 a 9 semanas.

	N	MEDIA	SD	CV%
Peso 7 semanas, kg	919	1,67	0,26	15,7
Peso 9 semanas, kg	909	2,46	0,33	13,5
Ganancia de peso, kg	909	0,80	0,16	20,0
Consumo, kg	855	2,59	0,44	17,1

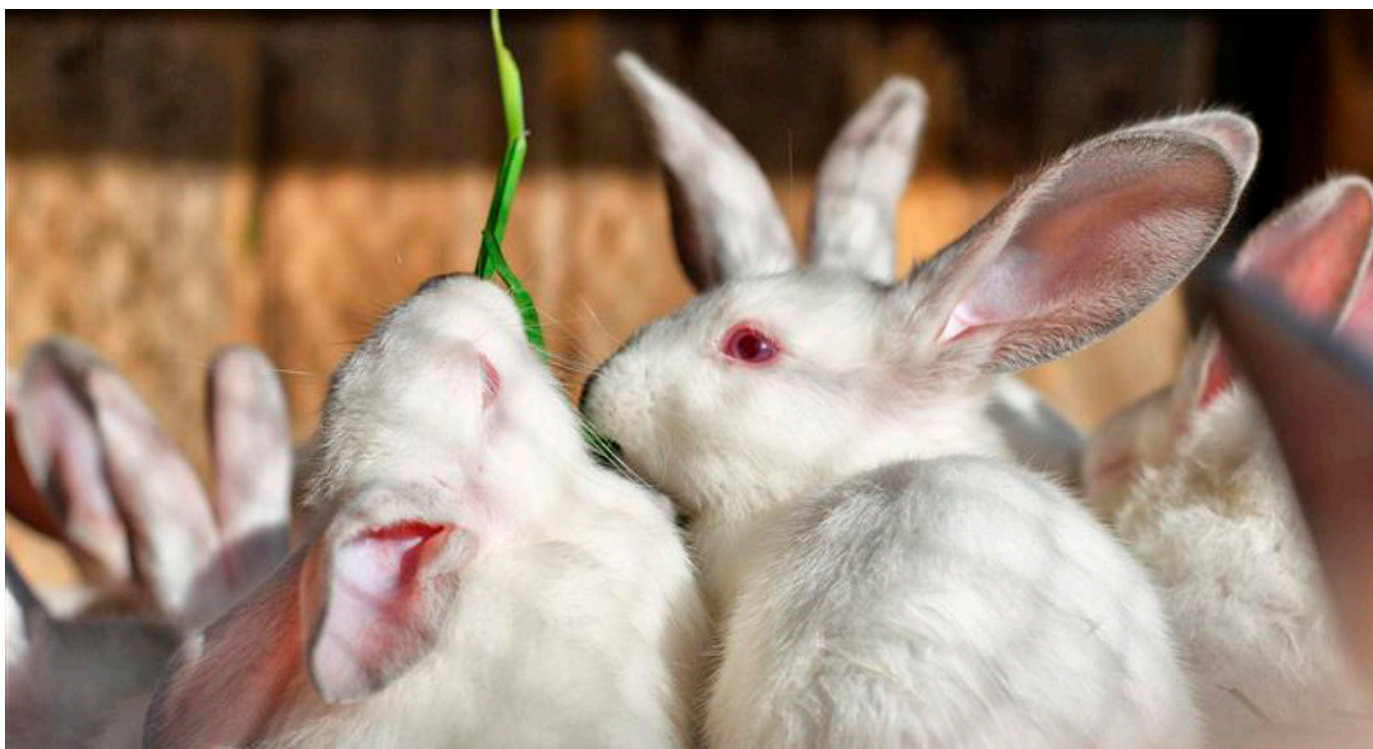
¹ corregidos por los efectos de orden de parto, mes y tamaño de camada al destete.

Tabla 2.

Parámetros genéticos¹ (medias e intervalos de confianza al 95% de probabilidad) de los caracteres peso a las 7 y a las 9 semanas, ganancia de peso de 7 a 9 semanas y consumo de pienso de 7 a 9 semanas.

	PESO 7 SEMANAS	PESO 9 SEMANAS	GANANCIA DE PESO	CONSUMO
Peso 7 semanas, kg	0.33[0.17, 0.50]	0.87[0.78, 0.94]	0.28[-0.10, 0.56]	0.58[0.22, 0.85]
Peso 9 semanas, kg	0.86[0.84, 0.88]	0.27[0.11, 0.44]	0.57[0.31, 0.79]	0.76[0.56, 0.92]
Ganancia de peso, kg	0.19[0.11, 0.29]	0.61[0.55, 0.66]	0.22[0.12, 0.33]	0.61[0.29, 0.82]
Consumo, kg	0.57[0.50, 0.64]	0.85[0.82, 0.88]	0.77[0.73, 0.81]	0.18[0.05, 0.34]

¹ Heredabilidades en la diagonal, correlaciones genéticas sobre la diagonal y correlaciones fenotípicas bajo la diagonal



con el consumo (0,58 y 0,76) que con la ganancia de peso (0,28 y 0,57). Todas las correlaciones genéticas fueron similares a las fenotípicas. Todas las correlaciones tuvieron una probabilidad igual o mayor a 0,99 de ser positivas, excepto la correlación genética entre peso a las 7 semanas y ganancia de peso, donde la probabilidad fue de 0,93.

Usando los parámetros genéticos de la **Tabla 2**, la ecuación resultante del índice fue:

$$I = -0.15Consumo_{79}^i - 7 \cdot 0.03Consumo_{79}^f + 0.60Ganancia_{79}^i + 7 \cdot 0.15Ganancia_{79}^f$$

Donde el superíndice *i* indica información del individuo y *f* indica información de sus familiares, con los datos centrados. La desviación típica del índice fue de 0,10€, la desviación típica aditiva económica fue de 0,16€ y la precisión del índice fue de 0,67. Utilizando una intensidad de selección media de 1,62, la respuesta económica esperada por generación fue de 0,17 €/conejo, o 0,07€/kg. Cuando los machos de esta línea paternal se cruce con hembras híbridas para producir gazapos comerciales, transferirán la mitad de su valor genético a sus hijos, es decir, 0,085 €/gazapo. Si

se considera que en una granja comercial se producen al menos 50 gazapos/año por plaza reproductiva, la mejora genética se traduce en un incremento económico de al menos $0,085€ \times 50 = +4.25€$ por jaula y año. Para una granja de 750 hembras, el beneficio anual neto asociado a esta mejora sería de +3,187.5 € por año. Como la mejora genética es acumulable, es esperable duplicar este beneficio tras dos generaciones de selección, triplicarlo tras 3 generaciones, y así sucesivamente, sin incrementar prácticamente los costes de manejo.

La respuesta esperada en los caracteres objetivo de selección fue de +0,022 kg de consumo de pienso y +0,076 kg de ganancia de peso en cada generación. Cabe notar que un índice con la misma información familiar, pero incluyendo solo el carácter ganancia de peso, hubiera dado una respuesta directa a la selección de +0,083 kg de ganancia de peso, pero hubiera mostrado una respuesta correlacionada en consumo mucho menos deseable, de +0,129 kg de pienso. Además, considerando los parámetros genéticos que se muestran en la Tabla 2, la selección por este índice económico generará una respuesta correlacionada en el

peso al sacrificio de +0,058 kg por generación. Esto implica que, tras 10 generaciones de selección, y dado que el macho terminal transmite la mitad de su valor genético a sus hijos, los gazapos comerciales a las 9 semanas pesarán, en promedio, unos 300 gramos más. En conclusión, aplicando el índice los conejos crecerán más, pero consumirán relativamente menos pienso que en caso de seleccionar solo por crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

M. Martínez-Álvaro agradece al Ministerio de Ciencia e Innovación por la subvención Ramon y Cajal (RYC2021-032618-I) financiada por MCIN/AEI/ 10.13039/501100011033 y por European Union NextGenerationEU/PRTR. Los autores agradecen a la Conselleria de Educación, Universidad y Empleo la subvención del programa Santiago Grisolia CIGRIS/2023/141 y la subvención a grupos de investigación consolidados CIAICO/2022/016.

BIBLIOGRAFÍA

Queda a disposición del lector interesado en el correo electrónico del autor: mamara19@upv.es