

Resumen y comentarios artículo: *Modélisation de l'efficience et de la robustesse chez les ruminants, le point de vue nutritionnel.*

Daniel SAUVANT. INRAE Prod. Anim., 2020, 33 (1), 53-64

El original se puede encontrar y descargar en:

<https://productions-animales.org/article/view/3128>

Trata de la eficiencia y robustez de los rumiantes. Alerta sobre la selección hecha sólo en el rendimiento lechero. El sistema INRA-2018 incluye modelos sobre eficiencia y robustez¹.

Introducción

La relación entre el flujo de salida respecto de la entrada, basado en criterios cuantitativos, en cuanto a la alimentación y la producción, ha prevalecido en los programas de selección genética, y, dado que las necesidades de mantenimiento quedaban diluidas dentro de las de producción, se han dejado de lado cualidades de la robustez, tanto en criterios de movilidad como de reacción a cambios alimenticios.

Los nuevos sistemas de alimentación integran ya muchos modelos de eficiencia alimenticia y robustez.

La robustez es la capacidad de mantener la “trayectoria de vida” hasta al menos la edad de reproducción, a pesar de las perturbaciones externas e internas. La robustez incluye:

- ✓ Elasticidad
- ✓ Plasticidad
- ✓ Rigidez
- ✓ Flexibilidad
- ✓ Resiliencia

La robustez es una propiedad emergente de los sistemas complejos que son los organismos vivos, y no es fácil medirla ni modelizarla. Se debe identificar la organización de espacio-tiempo de la robustez, después se deben estudiar y modelizar, desde los diferentes puntos de vista específicos – energía, longevidad hembras desde la reproducción – con medidas experimentales apropiadas, respetando al máximo la complejidad del sistema. Es cierto que los rumiantes no son muy eficientes, pero son capaces de valorizar recursos alimenticios no competitivos con el hombre, y en este aspecto son más robustos que los monogástricos.

Comportamiento alimentario e ingestión

La ingestión de materia seca es función de:

¹ Debemos recalcar la necesidad de ir hacia el nuevo sistema INRA-2018, ya que incorpora las restricciones de ingestión, digestivas y metabólicas, que ya deben tenerse en cuenta

- Efecto de la repleción de los alimentos
- Regulaciones internas (homeoréticas) que hacen que la ingestión esté ligada al potencial productivo. El nivel máximo de ingestión en fibras de forrajes no procesados, no se mejora por la selección genética, quedando en 1,35% del peso vivo. A igualdad cualitativa del forraje, las necesidades energéticas deberán cubrirse con concentrados.
- Regulación homeostática, que, por ejemplo, en raciones muy energéticas limitan la ingestión de MS

Modelización de la ingestión a partir de las unidades alimentarias específicas

La predicción de la MSI como función del **peso vivo** y del **nivel de producción**, son usuales en sistemas que dan mucha importancia a la ingestión, pero están limitadas por el hecho de que las cantidades de MSI no son aditivas entre alimentos y, por tanto, no pueden servir como unidades para el cálculo de raciones.

Demarquilly desde 1960 (!) propuso un sistema (UE) en el que cada forraje se caracteriza por una unidad, que, a su vez, era aditiva. Más adelante Jarrigue lo materializó en el libro rojo INRA, y así hasta la fecha.

Esto permite predecir la influencia de los alimentos y de los regímenes alimentarios sobre la MSI y, por tanto, sobre la eficiencia de los rumiantes. Y, también, las UE se aplican a los animales calculando la CI según peso vivo y nivel productivo y/o fisiológico.

La novedad (interesantísima) del sistema INRA-2018 es que Baumont propusieron valores específicos para los concentrados y subproductos derivados.

Si $UE < 1$ la ingestión es alta y también la eficiencia. En los forrajes verdes y en los henos, existe una relación curvilínea positiva y lógica entre UEL y NDF^2 .

A NDF igual, los ensilados producen más repleción que el resto de forrajes. Y, por otra parte, la relación entre UEL y NDF no es significativa en los ensilados³.

Modelización de la ingestión y del comportamiento alimentario en el pastoreo

Los modelos matemáticos ignoran (seguramente porque es difícil concretar) los detalles de la adaptación y comportamiento de los animales (etología) y se concentran en el papel de los factores globales (tiempo de acceso, biomasa oferta, etc.).

Los modelos mecanicistas se fijan en la altura del forraje y la influencia en el bocado y en la velocidad de ingestión, en el impacto del bocado o dentellada en el forraje.

Se debe integrar el modelo mecanicista y el de comportamiento.

² Aquí parece ser donde Demarquilly no acertó, y se empeñó en emplear FB en vez de NDF, y tenía su lógica ya que tenían muchísimos datos con FB y pocos en NDF. Sin embargo, fue un gran investigador, con quien tuvimos el honor de compartir una comida en Clermont-Ferrand, Trias y yo.

³ Hecho que todos nosotros hemos comprobado in situ, sólo oliendo el ensilado...

La masa del bocado y su contenido, tienen influencia en la velocidad de ingestión y la MSI diaria. La masa del bocado tiene que ver, también, con la anchura del arco incisivo (a mayor anchura, mayor volumen del bocado).

Interés de la ingestión residual por mejorar la eficiencia alimentaria

Empleando las relaciones entre MSI y las características animales se ha visto que existen variaciones individuales residuales de la MSI y sus componentes genéticos; por tanto, deben identificarse los animales más eficientes y establecer relaciones con otros criterios como, por ejemplo, actividad de desplazamiento, actividad de masticar. La heredabilidad del consumo alimentario residual es muy débil. Queda por saber si los animales más eficientes son también los más robustos.

Eficiencia digestiva y robustez

La mejora de la eficiencia digestiva y alimentaria a través de los recursos

El principal factor de variación de la eficiencia digestiva es la dMO de los alimentos y de las raciones, y además está controlado.

dMO = $69,1 \pm 7,5\%$

De las tablas INRA-2018:

Forrajes

Ensilados: $68,9 \pm 4,9\%$; Forrajes verdes: $72,1 \pm 6,7\%$; Henos: $62,3 \pm 4,9\%$; Henos deshidratados: $65,3 \pm 7,1\%$; Pajas y otros subproductos forrajeros: $52,1 \pm 8,2\%$.

Concentrados y subproductos

Cereales, leguminosas, tubérculos: $84,1 \pm 7,8\%$; Subproductos de cereales, leguminosas y tubérculos: $74,7 \pm 12,8\%$; Otros frutos y subproductos: $65,3 \pm 22,2\%$.

El impacto de las variaciones de dMO sobre la eficiencia energética de los animales, en un mismo sistema productivo, tiene una relación positiva:

Energía a leche = $- 8,84 \pm 0,39 \times \text{dMO}$

Una mejora de 10 puntos de dMO (0-100) hace que la eficiencia energética aumente 4 puntos.

Regímenes intensivos y robustez digestiva

A las vacas de alta producción se les suministran poca cantidad de forrajes, para que las raciones sean más ingestibles y, así, cubran las altas necesidades energéticas; pero con ello ponen a prueba la robustez digestiva. Existe menos secreción salivar para regular el pH del rumen.

Compromiso existente entre MSI, pH ruminal, proporción de fibras alimentarias provenientes de los forrajes, de modo que la subacidosis en las vacas de alta producción pueden alterar las producciones y la eficiencia, una bajada del pH y una menor tasa de grasa.

Interés por la función del rumen

En el rumen existe un ecosistema complejo, con millones de microorganismos. Es el origen, en gran parte, de la capacidad de adaptación y de la robustez de los rumiantes hacia los sistemas de alimentación. Ahora hay incluso más estudios debido al interés en la producción de metano.

Modelos mecanicistas de la digestión

Cuando un modelo mecánico se aplica a un mismo régimen alimenticio, no da los mismos resultados que con otro. No está bien resuelto.

El ecosistema ruminal es robusto puesto que tiene un comportamiento elástico eficaz, a corto plazo, después de comer. Los modelos mecánicos no lo captan bien, y de cada vez será más complicado utilizar cánulas digestivas.

Modelización empírica de la digestión en los sistemas de unidades de alimentación

Se integran modelos simples pero realistas y aptos para tener en cuenta las respuestas a los regímenes, tales como degradación de sustratos, producción de productos terminales, AGV, gas, tráfico de partículas, producción de biomasa microbiana, etc.

El modelo INRA-2018 se basa en un modelo mecánico digestivo, calibrado sobre ecuaciones estructurales de flujo, derivadas de meta-análisis de datos de la literatura especializada. Con ello, se puede aplicar a un amplio rango de situaciones alimentarias, y además permite tener en cuenta nuevos hechos ligados a la eficiencia y robustez.

Ejemplos.

a) Las pérdidas digestivas endógenas no productivas de proteínas y de materia orgánica, de siempre han sido mal evaluadas, y el caso es que no son despreciables en relación con las necesidades de mantenimiento.

Pérdidas fecales de proteínas endógenas > necesidades estrictas de mantenimiento (ligadas a la renovación de las proteínas del organismo).

$$\text{MNT fecal} = 0,94 \pm 0,33 \text{ g}$$

$$\text{MSI} = 29,2 \pm 8,7 \text{ g/kg Pv}$$

$$\text{De modo que, } \mathbf{MNT \text{ fecal} = 0,045 + 0,031 \times \text{MSI}}$$

(MSI en g/kg Peso vivo).

Por su parte, la amplitud de las pérdidas de energía no productiva es imputable a las interacciones digestivas. Las pérdidas no productivas aumentan proporcionalmente con el NI (nivel de ingestión) y el NP (nivel de producción).

Por el momento no existe información precisa sobre las variaciones individuales asociadas con estas pérdidas digestivas no productivas.

b) Balance proteico del rumen (BPR). El flujo de PB ingerida que va hacia el duodeno, es aditivo y entra en el cálculo de raciones. Recordemos que BPR es un indicador de la diferencia entre la síntesis proteica microbiana permitida por la MNT degradable disponible en el rumen y la que permitiría la energía disponible en la MOF en el rumen.

Si $BPR < 0$, la ración es pobre en N, en cuyo caso, los animales más robustos reciclan N en forma de urea por la saliva y a través de la pared del rumen, y forman la proteína microbiana; en este caso desciende la dMO según una ley de respuesta.

Si $BPR > 0$ la eficiencia digestiva de las proteínas ingeridas disminuye rápidamente, porque en torno al 70% del exceso de nitrógeno, absorbido como amoníaco a través de la pared del rumen, se pierde como nitrógeno de la orina.

Eficiencia metabólica y robustez

Regulación, eficiencia y robustez

En el flujo de nutrientes y en las distribuciones metabólicas existen dos tipos de regulaciones (homeoréticas y homeostáticas). Las homeoréticas controlan las funciones reproductoras de cara a la pervivencia de la especie - gestación, lactación y crecimiento -. Estas funciones determinan cinéticas del potencial de producción y sus necesidades nutricionales. Las regulaciones homeostáticas controlan las funciones de adaptación a las condiciones del entorno alimentario. Se generan retos múltiples, que pueden modelizarse. Estas condiciones del entorno o perturbaciones pueden ser, repentinas y limitadas en el tiempo, de carácter aleatorio y estratégicas específicas del sistema de racionamiento.

Impacto del nivel del rendimiento sobre la eficiencia metabólica

La utilización metabólica de la energía es el criterio más utilizado para la eficiencia de los animales, dependiendo de la partición (distribución) de los elementos nutritivos entre las funciones de mantenimiento y producción. Existe una relación directa y positiva. Por ejemplo, si aumenta la producción de leche, el C ingerido evoluciona en favor de la leche, y en contra del C del CO_2 , en contra del C fecal y en contra del C del metano y del urinario. De hecho, la selección ha estado orientada hacia el rendimiento lechero.

Componentes de la robustez relacionados con el metabolismo del C y del N

Los animales resisten en el tiempo a las variaciones de las aportaciones de C (energía utilizable contenida en las relaciones covalentes C-H). Existe un comportamiento elástico de las reservas corporales de energía, y no existe una excreción adaptativa en respuesta a una carencia o un exceso de C.

Por el contrario, no existen reservas corporales de N, y en caso de exceso de N, los ácidos aminados se desaminan en el hígado, y su fracción nitrogenada se pierde en forma de urea urinaria. Y, en caso de carencia de N, no puede compensarse por el uso de reservas. Por tanto, las funciones vitales ligadas al metabolismo de las proteínas están limitadas.

Todo esto explica por qué los animales son más robustos en las variaciones de C y energía que en las de proteína⁴.

Diferencias de robustez entre vías metabólicas en respuesta a un cambio nutricional

En el ayuno en vacas de leche, desde hace décadas experimentado, se ha visto que las producciones de lípidos, proteínas y lactosa en leche están afectadas. En cuanto a los lípidos

⁴ Recordamos el racionamiento en el pre y post parto, se limitaba el consumo de concentrado, pero no las aportaciones de proteínas

existe robustez debido a las reservas corporales y la producción baja sólo ligeramente. La producción de proteínas y de lactosa se ven más afectadas, ya que no existen reservas ni proteicas ni de glucógeno.

Recordamos que para la producción de 17,3 kg de leche se necesita la secreción de un kg de lactosa y para la producción de 4,3 kg de leche se necesita un kg de proteína. Por el contrario, la producción de leche no depende de los lípidos.

Las variaciones individuales en los cambios nutricionales son significativas y tienen buena repetibilidad en el tiempo. Hay que saber si esta robustez metabólica a corto plazo, tiene sentido en relación a la robustez global a largo plazo en los rumiantes.

Respuestas múltiples a los regímenes, eficiencia a medio plazo y robustez

Las variaciones en las aportaciones de concentrados están descritas en INRA-2018. Se establece un estado nutricional pivot, que corresponde al balance energético neto igual a 0 y a una eficiencia proteica igual a 0,67.

Modelos de respuesta a las aportaciones energéticas

EM pasa a EN, $k = EN/EM$, existe una mejora de k con raciones más digeribles y con más concentrados (aumenta la relación EM/EB), ya que no se produce tanto calor debido a un trabajo digestivo más débil (menos masticación, menos motricidad en el tubo digestivo). Hay una respuesta múltiple:

Para $BalUFL = 0$, las respuestas marginales por unidad de energía neta son:

2,6 g lípidos/Mcal

13,1 g proteínas/Mcal

17,1 g lactosa/Mcal

Para las tres secreciones se observan también respuestas distintas en torno al pivot $EfPDI = 0,67$.

Para la energía, la respuesta de la eficiencia global se basa en que existe una distribución entre la producción de leche y las reservas.

Los modelos empíricos exploran situaciones plausibles de robustez a medio plazo y permiten construir aplicaciones en los distintos sistemas de racionamiento.

Modelos de respuestas a las aportaciones de PDI

Alrededor del pivot $EfPDI = 0,67$ se producen cambios en la misma eficiencia y en la producción de proteínas de la leche. Las variaciones en $EfPDI$ son consecuencias de las variaciones en las aportaciones de PDI, y están ligadas al flujo de la excreción urinaria. La distribución marginal entre producción de leche y excreción es del 20%.

La combinación de las influencias del BPR y de la $EfPDI$ permiten predecir, con buena precisión, la excreción urinaria de N y la eficiencia de la PDI.

Ejemplos de modelos mecanicistas del metabolismo

Es difícil la representación homeorética y homeostática dentro de un sistema regulador del subsistema operacional (órganos, vías metabólicas).

Actualmente, se ha mejorado el subsistema de regulación y se tienen en cuenta las diferencias entre la cinética de producción de lípidos, proteínas y lactosa en vacas en lactación.

El reciente sistema INRA-2018 no integra explícitamente los modelos de regulación metabólica; no obstante, en vacas y cabras de leche, los fenómenos de movilización y reconstitución bajo la homeosis energética sí se tienen en cuenta, integrando las influencias del potencial de producción y la nota del estado corporal en el parto.

Conclusión

La eficiencia nutricional, medida en estudios a corto y medio plazo, se ha modelizado empíricamente en el sistema INRA-2018, si bien a largo plazo faltan estudios.

En cuanto a la robustez, que es una propiedad emergente de un sistema complejo, faltan datos. En el sistema INRA-2018 se han integrado los modelos de respuestas múltiples, mediante metaanálisis de datos de la literatura específica.

Hasta ahora, se sabe que la eficiencia y los rendimientos de la producción están estrechamente relacionados, lo que ha ocultado otros aspectos biológicos, que intervienen en la eficiencia de la conversión de los alimentos, aspectos tales como el comportamiento, la ingestión y la digestión.

Serán necesarios estudios integrales con la visión genetista, nutritiva, reproductiva y etológica.

En cualquier caso, el sistema INRA-2018 ha dado un importante paso adelante en la integración de conceptos, que sólo podíamos tener en cuenta de forma cualitativa.