



ESTIMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE METANO EN CAPRINO LECHERO Y SU PAPEL SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA SOSTENIBILIDAD

La población mundial de cabras produce alrededor del 5% de las emisiones totales de CH_4 del ganado. La producción de metano varía con la nutrición: la alimentación es una de las vías de reducción de las emisiones de CH_4 en rumiantes. Además de la calidad de la dieta, existen diversos nutrientes que tienen un efecto directo sobre su producción.

Carlos Fernández

Catedrático de Producción Animal de la Universitat Politècnica de València

Dentro del ganado rumiante, la mayor parte de las emisiones de metano (CH_4) provienen del ganado bovino (74%) y búfalos (11%). La población mundial de cabras (1,01 mil millones) produce alrededor de 4,6 millones de toneladas de CH_4 entérico, lo que representa el 5% de las emisiones totales de CH_4 del ganado (FAOSTAT 2018).

GANADO CAPRINO, EMISIONES DE METANO Y NUTRICIÓN

El CH_4 se produce como consecuencia de la actividad fermentativa microbiana que tiene lugar en el rumen, donde la materia orgánica de la dieta es degradada por bacterias, hongos, protozoos y, finalmente, una parte importante del hidrógeno generado es empleado por las arqueas metanogénicas para producir CH_4 a partir de CO_2 . La mayoría de las emisiones de CH_4 se producen por fermentación en el rumen y son eliminadas a través de la respiración y el eructo, con solo un 2-3% de emisión de CH_4 vía rectal (Murray y col., 1976).

Como este gas de efecto invernadero se produce a partir de la fermentación de los alimentos en el rumen del animal, una elevada producción de CH_4 es sinónimo de una menor eficacia alimentaria; es decir, por cada gramo de CH_4 producido por el animal se están perdiendo 55,6 kJ de energía. Por tanto, la producción de CH_4 supone una ineficiencia energética en el rumiante, es decir, parte de la energía ingerida de la dieta se pierde en forma de CH_4 en lugar de canalizarse hacia el metabolismo animal y

la producción de leche. De forma general, algunos autores (Moraes y col., 2014) estiman que esta pérdida energética en forma de CH_4 en rumiantes está entre el 2 y el 12% de la energía bruta ingerida por el animal (que técnicamente se denomina factor de conversión de CH_4 y se representa por Y_m).

La producción de CH_4 varía con la nutrición, siendo generalmente mayor por unidad de materia seca ingerida y digerida y, en dietas con contenidos altos en fibra. Sin duda, la alimentación también es una de las vías de reducción de las emisiones de CH_4 en rumiantes. Además de la calidad de la dieta (forrajes, concentrados, nivel de inclusión e interacciones) existen diversos nutrientes (por ejemplo, la grasa de la dieta) que tienen un efecto directo sobre la producción de CH_4 .

ECUACIONES DE PREDICCIÓN DE METANO

La determinación directa de la producción de metano es costosa en tiempo y dinero. Además, no todos los Centros, Institutos de Investigación o Universidades tienen el equipamiento necesario para su determinación *in vivo*. Una opción es su estimación mediante ecuaciones de predicción. A continuación expondremos algunas de ellas que se han obtenido específicamente para ganado caprino (*tabla 1*). En España, las ecuaciones de Aguilera (2001) para cabra Granadina, con determinaciones directas realizadas por calorimetría indirecta en cámaras respiratorias, es la más conocida. Posteriormente, destacan las ecuaciones de predicción de CH_4 para caprino de Patra y Lalhriatpuii (2016) con distintas razas (Murciano-Granadina, Alpina, Saanen, Chenghu, Boer \times Spanish y Black). Además, en esta *tabla 1* se han incorporados las ecuaciones recomendadas por el IPCC (2006) y FAO (2010). Destacar que el IPCC (2006) daba un Y_m

de 6,5 % para todos los rumiantes, y en el 2019 se obtuvieron diferentes valores según especies y sistema de alimentación; así, por ejemplo, para ganado caprino se dio un valor de Ym de 5,5 %.

Como observamos, la mayor parte de estas ecuaciones son lineales y estiman el CH₄ a partir de las características nutritivas de las dietas (materia seca, fibra, grasa, digestibilidad, etc.). En general las ecuaciones no tienen en cuenta características relacionadas con la fisiología del animal (peso vivo, estado productivo, grado de actividad, tracto digestivo, tránsito del alimento, producción de leche, etc.). Por comodidad vamos a elegir una de fácil representación como es la regresión lineal de un factor de Patra y Lalhriatpuii (2016). En la *tabla 1* observamos que predice la producción de CH₄ (en términos de pérdidas energéticas MJ/d en lugar de masa o volumen) en función de la Energía Digestible Ingerida (EDI, en MJ/d). Es decir, podemos leer la ecuación de la forma siguiente: cuando la cabra no consume alimento, su actividad fermentativa en el rumen emite CH₄ que supone una pérdida de calor de 0,242 MJ/d, y cuando empieza a consumir alimento hay que aumentar esa cantidad en 0,0511 MJ por cada MJ de EDI. Otra característica de esta ecuación es que el aumento en la producción de CH₄ se produce de forma lineal respecto al aumento de la EDI, y que cuando más digestible es la dieta, mayor producción de CH₄ se va a producir (*figura 1*).

Existen otros modelos que son más complejos de construir al no ser lineales, pero muy útiles a nivel práctico pues permiten una visión integral de la dieta, sus nutrientes, digestibilidad, aspectos metabólicos del animal y aspectos productivos. Un ejemplo de modelo animal con cabras Murciano-Granadinas en lactación consumiendo raciones mixtas son los modelos dinámicos desarrollados por Fernández (2018) y Fernández y col. (2020). En estos trabajos se pueden consultar los detalles de su desarrollo y validación, aquí solo voy a tratar aspectos prácticos. Voy a comentar una aplicación directa del modelo de Fernández y col. (2020) que se muestra en la *figura 2*.

Una aplicación práctica de este modelo lo resumimos en la *tabla 2*. Por ejemplo, consideramos como entradas en este modelo el peso vivo de las cabras (45 kg), dos ingestiones de MS (1,5 y 2 kg/día) y dos niveles de fibra neutro detergente (FND) en las raciones (25 % y 45 %). Y dado que el aumento de la fibra supondría un incremento en las emisiones de CH₄ buscamos un ingrediente que nos permita reducir esas emisiones. Así, incorporamos dos niveles de grasa (EE) en la dieta (2 % y 4 %) de manera que a las raciones que tengan más fibra, también se les añada más grasa. Por tanto, estamos trabajando a 4 niveles y sus interacciones animal y dieta; peso vivo, ingestión, nivel de fibra y grasa de la dieta, mientras que en la *figura 1*

TABLA 1. Ecuaciones de regresión para la predicción del metano en ganado caprino.

MODI = materia orgánica digestible ingerida; EDI = energía digestible ingerida; L = nivel de alimentación; FNDi = ingestión de fibra neutro detergente; EEi = ingestión de extracto etéreo; NFCi = ingestión de carbohidratos no fibrosos; OMDm = materia orgánica digestible a nivel de mantenimiento; GEi = energía bruta ingerida; DMd = digestibilidad de la materia seca; DMI = materia seca ingerida; PV = peso vivo; ED = energía digestible. Recordamos que cada gramo de CH₄ tiene un valor calórico de 55,6 kJ.

ECUACIÓN DE REGRESIÓN	REFERENCIA
CH ₄ (l/día) = 0,0496 × MODI (g/día)	Aguilera, 2001
CH ₄ (KJ/100 KJ EDI) = 15,1 - (2,19 × L)	Aguilera, 2001
CH ₄ (MJ/día) = 0,242 + (0,0511 × EDI[MJ/d])	Patra y Lalhriatpuii, 2016
CH ₄ (MJ/día) = -1,04 + (2,21 × FNDi[kg/d]) - (2,42 × EEi[kg/d]) + (1.456 × NFCi[kg/d]) + (0,0208 × OMDm[kg/d]) - (0,513 × L)	Patra y Lalhriatpuii, 2016
CH ₄ (MJ/día) = 0,065 × GEi[MJ/d]	IPCC, 2006
CH ₄ (MJ/día) = ((9,75 - 0,005DMd[g/kg])/100) × EDI[MJ/d]	FAO, 2010

estábamos considerando un solo nivel; la EDI. Vamos a ver si somos capaces de cuantificar esos cambios en la dieta a nivel de emisiones y producción.

Una vez ejecutado el modelo, obtendríamos las salidas que aparecen en la *tabla 2*. En la *tabla 1* hemos mostrado ecuaciones de muy fácil aplicación; conociendo la composición química de la dieta podemos obtener como salida o variable respuesta la producción de CH₄. Siguiendo, por ejemplo, el modelo de Patra y Lalhriatpuii (2016) de la *tabla 1* y *figura 1*, podemos estimar la producción de CH₄ para ingestiones de 18 y 25 MJ de EDI por día. En la *tabla 2*, en rojo, hemos anotado el resultado que sería 1,2 y 1,5 MJ/d, respectivamente.

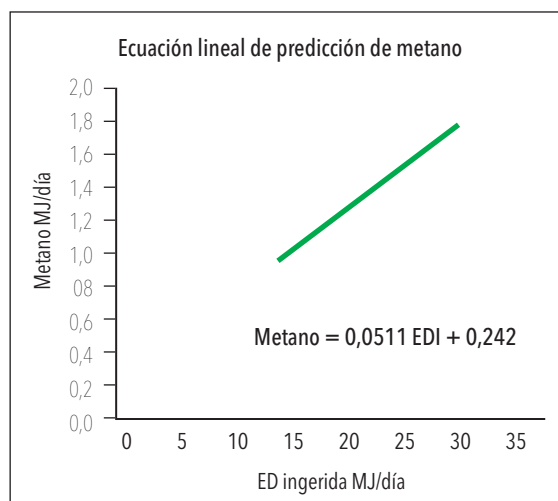


FIGURA 1. Modelo lineal de producción de CH₄ en ganado caprino en lactación según Patra y Lalhriatpuii (2016).



Modelos dinámicos con multicomponentes como el de la *figura 2*, aunque más difíciles de desarrollar, permiten analizar mucha más información que únicamente la producción de CH_4 . Así, por ejemplo, yo puedo conocer cuanta ED y EM consume la cabra en cada escenario propuesto. También la producción de leche y las pérdidas energéticas en forma de calor, es decir, el coste energético de la actividad productiva. Además de la producción de CH_4 , el modelo permite conocer cuánto CH_4 se produce por kg de MS consumida o kg de leche producida y también obtener el factor de conversión de metano para estas dietas:

$$Y_m = (\text{Energía en } \text{CH}_4 / \text{EB ingerida}) \times 100$$

Así, en la *tabla 2* podemos observar que a mayor ingestión de MS se produce más leche, pero también más metano y que, aunque la fibra de la dieta incrementa la producción de CH_4 , la grasa de la dieta ha actuado como una estrategia de reducción de emisiones. He marcado en rojo que el modelo es capaz de detectar cambios en la alimentación que la regresión lineal propuesta como ejemplo no fue capaz; recordemos que la energía perdida en forma de CH_4 fue 1,2 y 1,5 MJ/d cuando la ingestión subió de 18 a 25 MJ de ED/d. En el modelo dinámico observamos que cuando la MS ingerida sube de 1,5 a 2 kg MS/d las pérdidas energéticas en forma de CH_4 fueron 1 y 2,2 MJ/d, respectivamente. Cuando la FND pasa de 25 % a 45 % el CH_4 disminuye de 2,1 a 1,1 MJ/d, algo que parecería un error, ya que a mayor contenido en fibra las emisiones de CH_4 deberían aumentar. Lo que sucede es que a esas dietas con un 45 % de FND se les había subido la grasa en un 2 %, y la grasa de la dieta reduce las emisiones de CH_4 . Por tanto, los modelos dinámicos contruidos con diferentes componentes (en este caso el tracto digestivo, alimento asimilado y reservas corporales) permiten una mayor sensibilidad, detección y cuantificación de los cambios que se producen en la nutrición y fisiología del animal (*tabla 2*).

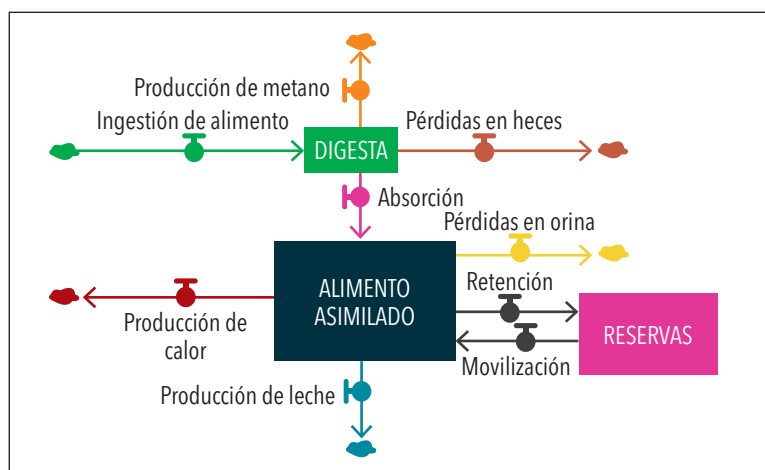


FIGURA 2. Modelo dinámico de reparto de energía en cabras Murciano-Granadinas en lactación según Fernández y col. (2020).

TABLA 2. Simulación realizada con el modelo dinámico de Fernández y col. (2020).

ENTRADAS				
Peso vivo, kg	45			
MSI, kg/d	1,5	2		
FND, %	25	45	25	45
EE, %	2	4	2	4
MJ/D		SALIDAS		
EBI (energía bruta ingerida)	26	26	34	34
EDI (energía digestible ingerida)	18	18	25	25
EMI (energía metabolizable ingerida)	18	18	24	24
PC (producción de calor)	10	10	14	14
Energía leche	7	7	9	9
Leche, kg/d	1,8	1,8	2,5	2,5
CH_4 , g/d	17	16	24	23
CH_4 , MJ/d	1,0	0,9	3,1	1,3
CH_4 , MJ/d (Patra y Lalhriatpuii, 2016)	1,2	1,2	1,5	1,5
g CH_4 /kg MSI	11	10	12	12
g CH_4 /kg leche	9	9	10	9
Ym, %	4	3	4	4

SOSTENIBILIDAD

El alcance de este tipo de modelos nos lleva hacia el futuro de sostenibilidad que la Unión Europea nos propone con la frase “de la granja a la mesa”; la explotación tiene que ser rentable, minimizar el impacto ambiental y permitir el desarrollo social. Los modelos dinámicos que hemos comentado serán una herramienta clave para este futuro sostenible que incluye la “nutrición de precisión”. La nutrición de precisión tiene un enfoque holístico en el que incorporando más conocimiento permitirá alimentar al animal de forma individualizada y eficiente, en vez de por grupos (donde unos animales comerán por encima y otros por debajo de sus necesidades). Para conseguir esa producción sostenible habrá que buscar un equilibrio entre producción (incrementar el ritmo de un proceso biológico hasta un máximo) y eficiencia (disminuir pérdidas). Quizá sea necesario un crecimiento más lento para que haya oportunidad de respetar el bienestar animal, el medio ambiente y recuperar los ciclos biológicos de animales y plantas. Es decir, el planteamiento sostenible propuesto por la Unión Europea lo que pretende es un crecimiento más moderado, buscando un equilibrio dinámico entre la máxima rentabilidad y la pérdida de recursos. ♻️

Bibliografía disponible en www.grupoasis.com/albeitar/bibliografias/AL248Fernandez.pdf