



Emisiones de metano en los animales rumiantes: influencia de la dieta

Diferentes intervenciones sobre el tipo y composición de la dieta pueden ayudar a disminuir la producción de metano, pero hay que tener en cuenta potenciales efectos negativos sobre la ingestión y la calidad de los productos.

María Dolores Carro, Trinidad de Evan, Javier González
Departamento de Producción Agraria, ESTIAAB, Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid
Imágenes cedidas por los autores

Introducción

La ganadería se enfrenta al reto de aumentar su producción ante las expectativas de crecimiento de la población mundial, con previsiones de alcanzar cerca de 10 mil millones de personas en 2050 (FAO, 2017). Este reto es complejo y requiere una producción ganadera más eficiente y con menos emisiones contaminantes, tanto de gases de efecto invernadero como de sustancias que contaminen suelos y aguas. En cuanto a los gases de efecto invernadero, el metano tiene un potencial de calentamiento entre 25 y 25 veces superior al del dióxido de carbono y una vida media en la atmósfera que oscila entre 10 y 20 años. Además, este gas supone una pérdida de hasta el 12 % de la energía bruta ingerida por los rumiantes (Gerber *et al.*, 2013), lo que provoca una disminución de la productividad y la eficiencia económica de las explotaciones.

Según estimaciones del Mapama (2018), la agricultura genera aproximadamente la mitad del total del metano de origen antropogénico en España y el 97,9 % de esta cantidad procede de la actividad ganadera. El metano de origen ganadero puede tener dos fuentes: el 67,2 % procede de la fermentación digestiva de los alimentos (metano entérico) y el 32,8 % se origina por la fermentación de estiércol. La mayoría del metano entérico (94,0 %) es producido por rumiantes, mientras que el porcino es la especie que más contribuye al metano generado a partir de estiércol (72,9 %; MAPA, 2018). Por ello, el sector de los animales rumiantes necesita actuaciones a nivel de la fermentación entérica para reducir las emisiones de este gas sin perjudicar la cantidad y calidad de sus productos.

Producción de metano en el rumen

La mayoría del metano entérico es generado en el rumen (85-95 %) y solo un 5-15 % del total se genera en el intestino grueso. El metano es producido por las arqueas metanogénicas y se forma a partir de los productos resultantes de la fermentación de la materia orgánica de los alimentos. La mayoría de las arqueas genera metano a partir de CO₂ e hidrógeno (*tabla 1*), siendo minoritarias las que producen metano por reducción del ácido acético (CH₃COOH → CH₄+CO₂). Otras fuentes menores para la síntesis de metano son el ácido fórmico, las metila-



En general, los rumiantes alimentados con dietas forrajeras generan mayor cantidad de metano por unidad de alimento ingerido que los que reciben dietas con una alta proporción de concentrados

minas, el metanol, el metanotiol y el sulfuro de metilo.

La cantidad de metano entérico generada diariamente por un rumiante depende de múltiples factores pero, como promedio, una vaca lechera, un ternero de cebo, una oveja y una cabra pueden producir diariamente 400, 200, 31 y 19 litros, respectivamente (Crutzen *et al.*, 1986; Patra, 2016). Entre los factores dietéticos que afectan a la producción de metano destacan la cantidad de materia orgánica fermentada, el tipo de macromoléculas (almidón, celulosa, proteínas, etc.) y el perfil de los ácidos

grasos volátiles (AGV) producidos en la fermentación ruminal. La materia orgánica fermentada está constituida básicamente por carbohidratos (estructurales y de reserva) y proteínas.

Fermentación de grasas

La fermentación de las grasas se limita a la fermentación del glicerol liberado de los triglicéridos, que origina AGV, y a la biohidrogenación de los ácidos grasos insaturados libres. Esta biohidrogenación actúa como un sumidero de hidrógeno y reduce el hidrógeno disponible para la síntesis de metano por

parte de las arqueas. Los ácidos grasos libres, principalmente los insaturados, ejercen un efecto tóxico sobre las arqueas, protozoos y algunas especies bacterianas, especialmente las bacterias fibrolíticas, por lo que niveles altos de grasa en la dieta pueden reducir la producción de metano y la digestibilidad de la fibra. La acción negativa de los ácidos grasos libres suele ser mayor con dietas concentradas que con dietas forrajeras, ya que provocan un bajo pH ruminal.

Fermentación de carbohidratos

En la fermentación de las hexosas y otros monosacáridos liberados en la degradación de los carbohidratos se generan diferentes cantidades de hidrógeno en función de los AGV producidos. En la producción de acético y butírico se libera hidrógeno (*tabla 1*). Por el contrario, en la producción de ácido propiónico se capta hidrógeno, por lo que la producción de metano aumenta al hacerlo la relación [(acético+butírico)/propiónico] en la fermentación ruminal (*figura 1*). La producción de acético y butírico es mayor con dietas forrajeras, pues proliferan las bacterias fibrolíticas que producen estos AGV. También se producen aumentos en la producción de metano al aumentar la población de protozoos, ya que estos contribuyen fundamentalmente a la producción de ácido butírico y conviven en simbiosis con algunas arqueas metanogénicas.

Influencia de la dieta en la cantidad de metano producido

El tipo de dieta ingerida por los rumiantes es uno de los principales factores que condicionan la cantidad de metano producida. La fermentación de dietas forrajeras, ricas en carbohidratos estructurales, genera una mayor cantidad de metano por unidad de alimento ingerido que la fermentación de dietas ricas en carbohidratos no estructurales (almidón y azúcares). Por esta razón, así como por la mayor duración del periodo productivo, los animales en pastoreo generan mayores emisiones de metano por unidad de producto obtenido (carne o leche) que los animales en explotaciones intensivas, donde reciben dietas con altos porcentajes de concentrados. El porcentaje de la energía bruta que es convertido en metano suele superar el 6,5 % en las dietas forrajeras, mientras que en las dietas concentradas suele ser inferior al 4 % (Beauchemin *et al.*, 2009).

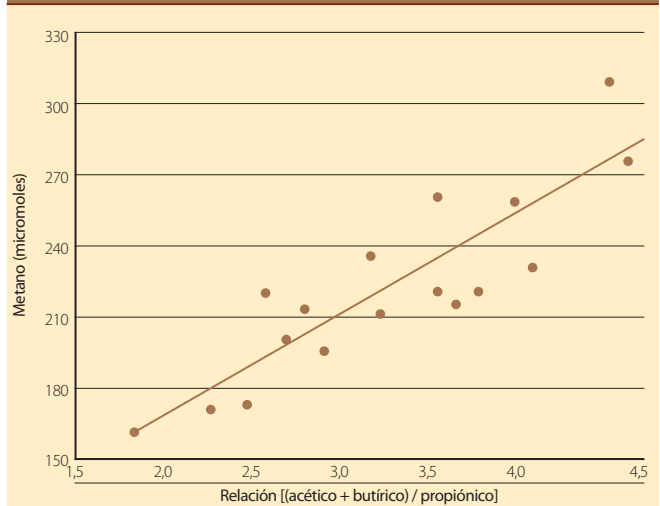
Porcentaje de forraje y concentrado

De este modo, la relación forraje:concentrado es uno de los principales factores que afectan a la producción de metano.

Tabla 1. Producción de ácidos grasos volátiles a partir de la fermentación de hexosas y formación de metano (CH₄) en el rumen.

Fermentación de hexosas (glucosa)	Producción de ácido acético	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2 C_2H_4O_2 + 2 CO_2 + 8 H^+$
	Producción de ácido propiónico	$C_6H_{12}O_6 + 4 H^+ \rightarrow 2 C_3H_6O_2 + 2 H_2O$
	Producción de ácido butírico	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow C_4H_8O_2 + 2 CO_2 + 4 H^+$
Producción de metano		$CO_2 + 8 H^+ \rightarrow CH_4 + 2 H_2O$

Relación entre el perfil de ácidos grasos volátiles y la cantidad de metano producida en la fermentación ruminal *in vitro* (adaptado de Moss *et al.*, 2000).





Las plantas maduras contienen más carbohidratos estructurales y menos fermentables, lo que disminuye la digestibilidad; los forrajes más maduros suelen aumentar la producción de metano.

JNW/shutterstock.com

El tipo de dieta ingerida por los rumiantes es uno de los principales factores que condicionan la cantidad de metano producida

A medida que aumenta la proporción de concentrado en la ración, se reduce el pH ruminal, cambian las poblaciones microbianas, aumenta la producción de ácido propiónico y se genera menos hidrógeno en la fermentación ruminal, lo que provoca una reducción de la cantidad de metano. En condiciones in vitro (Van Kessel y Russell, 1996; Lana *et al.*, 1998) se ha observado que la reducción del pH por debajo de 6,5 reduce drásticamente la producción de metano. Sin embargo, en vacuno de carne se ha observado una baja correlación entre la emisión de metano y el pH ruminal (Hünerberg *et al.*, 2015). Dicho estudio sugirió la existencia de mecanismos que permiten a las arqueas metanógenas superar episodios de bajo pH ruminal, como cambios hacia especies con mayor tolerancia a pH ácidos o su secuestro en microambientes protectores, como biofilms y protozoos.

La cantidad de metano entérico generada diariamente por una vaca lechera, un ternero de cebo, una oveja y una cabra equivale a 400, 200, 31 y 19 litros, respectivamente.

La relación entre la producción de metano y la relación forraje:concentrado es cuadrática. Esto significa que las pérdidas en forma de metano se van reduciendo ligeramente al aumentar el nivel de concentrado hasta llegar al 30-40 %. A partir de este nivel, las pérdidas de metano se reducen drásticamente hasta representar solo el 2-3 % de la energía bruta en dietas que contengan 80-90 % de concentrado (Martin *et al.*, 2010). Sin embargo, existen diferencias entre concentrados en la cantidad de metano generado. Los granos de cereales que se fermentan rápidamente en el rumen (trigo, cebada, avena) provocan un mayor descenso del pH ruminal. Esto reduce la producción de metano, pues disminuye el número de arqueas metanogénicas y aumenta la producción de propiónico, en mayor grado que en el caso de los granos de fermentación más lenta como maíz o sorgo. No obstante, algunos estudios (Beauchemin y McGinn, 2005) no observan diferencias →

LA COMBINACIÓN GANADORA FRENTE AL ESTRÉS OXIDATIVO

mel feed
FUENTE NATURAL DE ANTIOXIDANTES PRIMARIOS

alkosel® R397
La Fuente Óptima de Selenio Biodisponible

+ Es un zumo de melón liofilizado naturalmente rico en antioxidantes primarios (SOD, catalasa)

+ 100% selenio orgánico

La combinación de estos antioxidantes es la primera línea de defensa frente al estrés ambiental y fisiológico

Estrés oxidativo controlado = Resultados zootécnicos optimizados

LALLEMAND ANIMAL NUTRITION
Tél.: +34 932 413 380 Email: animal-iberia@lallemand.com

www.lallemandanimalnutrition.com

LALLEMAND

Una vida - www.unavida.fr - ALKO_MELCO_AEP01019



→ marcadas en la producción de metano al sustituir cebada por maíz en la dieta de terneros en cebo.

Calidad del forraje

La calidad del forraje también puede afectar de forma importante a la producción de metano. En general, a medida que aumenta la madurez de las plantas aumenta su contenido en carbohidratos estructurales y se reduce su contenido en carbohidratos más fermentables (azúcares, almidón), lo que provoca una disminución de la digestibilidad. Por ello, los forrajes más maduros suelen provo-

car una mayor producción de metano, especialmente si se expresa por unidad de materia seca (MS) ingerida (Hristov *et al.*, 2013). Es importante cosechar los forrajes en el momento adecuado para maximizar la cantidad y digestibilidad de los nutrientes que contienen. El procesado de los forrajes también puede influir en la producción de metano. Se ha observado que la molienda y granulación reducen la producción de metano, lo que se ha atribuido a un menor tiempo de fermentación ruminal y a una bajada del pH al disminuir la actividad ruminativa. En cuanto a los ensilados, un estudio reali-

zado en el Reino Unido (DEFRA, 2010) mostró que la administración de una dieta con un 25 % de ensilado de hierba y un 75 % de ensilado de maíz producía reducciones del 13 % (por unidad de MS ingerida) y el 6 % (por kg de leche) del metano producido en vacas lecheras, respecto a dietas con un 75 % de ensilado de hierba y un 25 % de ensilado de maíz.

Cantidad de proteína

La producción de metano se ha relacionado tradicionalmente con la fermentación de los carbohidratos, fundamentalmente de los estructurales, mientras que su generación a partir de la degradación de las proteínas apenas ha recibido atención. Sin embargo, diversos trabajos *in vitro* (Carro y Miller, 1999; Vanegas *et al.* 2017a,b) en los que se sustituyó proteína por nitrógeno no proteico, o se redujo la degradación ruminal de la proteína mediante

es un método simple para reducir la producción de metano. Esto se consigue limitando el aporte de proteína degradable en la dieta al nivel estrictamente necesario para un óptimo crecimiento de los microorganismos ruminales. Adicionalmente, esta práctica mejoraría la eficacia del uso del nitrógeno, que es más baja en los rumiantes que en los animales monogástricos. La mayoría de las materias primas sin procesar contienen una elevada proporción de proteína degradable, pero esta fracción es menor en alimentos tratados para proteger las proteínas frente a la degradación ruminal o sometidos a tratamientos industriales con un fuerte impacto térmico. La utilización de materias primas protegidas en cantidades adecuadas permite reducir los aportes de proteína degradable y aumentar el aporte de proteína bypass, lo que contribuye a una menor emisión de metano.

En la actualidad no existen aditivos para reducir eficazmente la producción de metano sin afectar negativamente la productividad de los animales.

tratamientos con ácidos y calor, han mostrado la generación de metano a partir de la fermentación de las proteínas. Vanegas *et al.* (2017b) observaron que la fermentación ruminal de 100 g de proteína generaba casi tres litros de metano, lo que se atribuyó a la liberación de hidrógeno en la fermentación de las cadenas carbonadas resultantes de la desaminación de los aminoácidos. Por ello, disminuir dicha desaminación

Cantidad de grasa

La adición de grasa a la dieta, especialmente de grasas insaturadas, puede reducir la producción de metano debido a la biohidrogenación de los ácidos grasos que consume hidrógeno y su efecto negativo sobre los protozoos y las arqueas metanogénicas. Sin embargo, esta práctica también puede provocar efectos negativos en la fermentación ruminal, debido a su efecto tóxico

NUEVO

DENKAPIG
Mellow Go

Mellow Go
El mejor lactoiniciador

- Óptima higiene
- Facilidad de manejo y aplicación
- Alimento sólido de ingesta precoz

Dinuvet
DENKAVIT
CRECIENDO JUNTOS

WWW.DENKAVIT.COM

Tabla 2. Ecuaciones para la predicción de la producción de metano de origen entérico (CH_4 , MJ/d excepto cuando se indican otras unidades) en diferentes especies de animales rumiantes.

Especie animal y referencia bibliográfica	Ecuación	R ²
Vacuno de leche		
Moe y Tyrrel (1979)	CH_4 (Mcal/d) = 0,814 + 0,122 × ingestión CNF (kg/d) + 0,415 ingestión HCEL (kg/d) + 0,633 CEL (kg/d)	0,67
Mills <i>et al.</i> (2003)	CH_4 (Mcal/d) = 0,439 + 0,273 × ingestión CNF _{dig} (kg/d) + 0,512 ingestión HCEL _{dig} (kg/d) + 1,393 CEL _{dig} (kg/d)	0,73
Yan <i>et al.</i> (2006)	CH_4 (l/d) = 10,3 × forraje (%) + 0,87 × MSI (%) + 1,1	0,61
Hristov <i>et al.</i> (2013)	CH_4 (l/d) = 0,92 × MSI (%) + 5,93	0,60
Moraes <i>et al.</i> (2014)	CH_4 (l/d) = 47,8 MSI (kg/d) - 0,76 MSI ² (kg/d) - 41	0,75
	CH_4 (l/d) = 0,34 PV (kg) + 19,7 MSI (kg/d) + 12	0,77
	CH_4 (Mcal/d) = 0,37 + 0,0392 × ingestión EB (Mcal/d) + 0,0189 NDF (%) - 0,156 EE (%) + 0,0014 PV (kg)	-
	CH_4 = 9,311 + 0,042 × ingestión EB (Mcal/d) + 0,094 × FND (%) - 0,381 EE (%) + 0,008 × PV (kg) + 1,621 × GL (%)	-
Vacuno de carne		
Jentsch <i>et al.</i> (2007)	CH_4 (kJ/d) = 1,62 × ingestión PB _{dig} (g/d) - 0,38 × ingestión G _{dig} (g/d) + 3,78 × ingestión FB _{dig} (g/d) + 1,49 × ingestión ELN _{dig} (g/d)	0,90
Moraes <i>et al.</i> (2014)	CH_4 = 1,487 + 0,046 × ingestión EB (Mcal/d) + 0,032 × FND (%) + 0,006 × PV (kg)	-
	CH_4 = 0,221 + 0,048 × ingestión EB + 0,005 × PV	-
Ovino		
Patra <i>et al.</i> (2016)	CH_4 = 0,208 + 0,049 × ingestión EB (MJ/d)	0,86
I PPC (2006)	CH_4 = 0,550 + 1,299 × ingestión MS (kg/d) - 0,266 × NI - 0,00093 × FND (g/kg)	0,92
FAO (2010)	CH_4 = 0,065 × ingestión EB (MJ/d)	-
	CH_4 = [9,75 - 0,005 × DMS (g/kg)/100] × ingestión EB (MJ/d)	-
Caprino		
Patra y Lalhriatpuii (2016)	CH_4 = 0,242 + 0,0511 × ingestión ED (MJ/d)	0,83
	CH_4 = -1,042 + 2,205 × ingestión FND (kg/d) - 2,41 × ingestión EE (kg/d) + 1,456 × ingestión CNF (kg/d) + 0,0208 × DMO _m (g/kg) - 0,513 × NI	0,82
	CH_4 = 0,885 + 0,809 × ingestión MS (kg/d) - 0,39 × NI + 0,0198 DMO _m (g/kg) + 2,04 × FAD (kg/d) - 8,54 × ingestión EE (kg/d)	0,88

CNF: carbohidratos no fibrosos; CNF_{dig}: carbohidratos no fibrosos digestibles; CEL: celulosa; CEL_{dig}: celulosa digestible; DMO_m: digestibilidad de la materia orgánica a un nivel de ingestión de mantenimiento; DMS: digestibilidad de la materia seca; EB: energía bruta; ED: energía digestible; EE: Extracto etéreo; ELN_{dig}: extractivos libres de nitrógeno digestibles; EM: energía metabolizable; FAD: fibra ácido detergente; FB_{dig}: fibra bruta digestible; FND: fibra neutro detergente; G_{dig}: grasa digestible; GL: grasa de la leche; HCEL: hemicelulosa; HCEL_{dig}: hemicelulosa digestible; NI: nivel de ingestión; MS: materia seca; MSI: materia seca ingerida; PB_{dig}: proteína digestible; PV: peso vivo. R²: coeficiente de determinación.

sobre algunos microorganismos, y descensos en la digestibilidad de la fibra, la ingestión y la productividad de los animales (p.e. descenso del contenido en grasa y/o proteína de la leche). Grainger y Beauchemin (2011) analizaron 27 estudios científicos con dietas con menos del 8 % de grasa y observaron que un incremento de 10 g de grasa/kg de dieta provocaba una reducción de la producción de metano de 1,0 g (vacuno) y 2,6 g (ovino) por cada kg de MS ingerida. La suplementación de la dieta con grasa con el único objetivo de reducir la producción de metano es una estrategia cuestionable, pero pueden utilizarse subproductos ricos en grasa (p.e., orujo graso de aceituna) que no incrementan el precio de la dieta (Hristov *et al.*, 2013).

Aditivos para reducir la producción de metano

El análisis de aditivos con potencial antimetanogénico ha sido objeto de numerosos estudios y revisiones bibliográficas (Knapp *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2014). Los antibióticos ionóforos presentan efectos antimetanogénicos demostrados, si bien estos efectos desaparecen con el tiempo y su uso está prohibido en los países de la Unión Europea desde 2006. Entre los aditivos investigados destacan algunos extractos vegetales como los taninos, el aceite de ajo (inhibe la actividad de las arqueas metanogénicas) y las saponinas (inhibe la actividad de los protozoos), pero también pueden reducir la digestibilidad de la fibra. Otros aditivos como los ácidos orgánicos (fumárico y málico) actúan como sumideros de hidrógeno y han mostrado buenos resultados *in vitro*, pero sus efectos *in vivo* no son consistentes (Carro y Ungerfeld, 2015). Los probióticos (levaduras y acetogénicos) han mostrado actividad antimetanogénica únicamente en algunos estudios. En resumen, no existen aditivos que puedan usarse en la alimentación práctica para reducir eficazmente la producción de metano en la actualidad sin afectar negativamente a la productividad de los animales.

¿Se puede predecir la producción entérica de metano a partir de la composición de la dieta?

La *tabla 2* muestra algunas de las ecuaciones existentes para predecir la producción de metano en diferentes especies de animales rumiantes. Como puede observarse, la producción de metano está relacionada positivamente con la ingestión de MS (o de energía) y el peso de los animales, aunque estos dos factores suelen estar correlacionados entre sí. En general, las predicciones que incluyen aspectos de la composición de la dieta suelen tener coeficientes de determinación (R^2) mayores que las que únicamente incluyen la ingestión de MS o el peso vivo. Por ejemplo, Moe y Tyrrel (1979) obtuvieron un R^2 de 0,67 para predecir la producción de metano en vacuno lechero a partir de la ingestión de carbohidratos (no fibrosos, celulosa y hemicelulosa) y la precisión de su ecuación aumentaba cuando se incluía la digestibilidad de estos carbohidratos ($R^2 = 0,73$). Otros autores han desarrollado ecuaciones con valores de R^2 entre

0,82 y 0,90, incluyendo la digestibilidad de algunos componentes de la dieta, en vacuno de carne (Jentsch *et al.*, 2007) y caprino (Patra y Lalhriatpuii 2016). Sin embargo, en condiciones prácticas no suele disponerse de esta información para estimar la producción de metano. Finalmente, hay que considerar que la mayoría de las ecuaciones propuestas tienen un error de predicción que puede oscilar entre el 14 y el 30 % (Storm *et al.*, 2012). ●

Bibliografía disponible en www.albeitar.grupoasis.com/bibliografias/metano220.doc

Conclusiones

En resumen, la dieta que reciben los rumiantes tiene una gran influencia en la cantidad de metano producido y las dietas forrajeras suelen generar más metano que las dietas concentradas. La asociación de prácticas que potencien la formación de ácido propiónico (aumento del nivel de ingestión y del porcentaje de concentrado de la dieta, mejora de la calidad del forraje, inclusión de subproductos con alto contenido en grasa insaturada, etc.) con una reducción del aporte de proteína degradable en la dieta puede reducir la producción de metano y mejorar simultáneamente la eficacia energética (debido al carácter glucogénico del propiónico) y proteica. De este modo se mejora la productividad de los animales. Sin embargo, las modificaciones de la dieta no deben reducir la ingestión ni afectar negativamente a la calidad de los productos animales.

Biocitro. **Evencit®**

PROBENA
PRODUCTOS EN BENEFICIO DE LA NATURALEZA

En PROBENA no ofrecemos alternativas a los antibióticos...

Ofrecemos productos de origen natural que mejoran el estado sanitario e inmunitario de los animales

y de esa forma se consigue prescindir del uso de antibióticos

PRODUCTOS CERTIFICADOS POR CAAE COMO INSUMOS GREEN:

- Biocitro Polvo
- Biocitro Líquido
- Evencit Quality
- Biocitro 20
- Biocitro L-15
- Evencit p.f.

INSUMOS GREEN

CAAE
INSUMO PARA LA PRODUCCIÓN ECOLÓGICA

probenasl.com