

¿Cómo reducir la formación de metano en el rumen?

SECUNDINO LÓPEZ¹. JAMES NEWBOLD². RUBÉN GARCÍA¹.

El metano es un gas incoloro, primer compuesto de la serie de los hidrocarburos alifáticos. De él sabemos que se produce en las minas de carbón, se desprende del cieno de algunos pantanos y es el principal componente (entre un 70 y un 95%) del gas natural. Pero al mismo tiempo puede llegar a ser uno de los gases más contaminantes, ya que a medida que se elevan sus niveles en la atmósfera puede afectar negativamente a

Aproximadamente un 70% de la producción de metano es de origen antrópico y sólo el resto tiene un origen natural. El metano procede principalmente de fermentaciones en ambientes anaerobios (ciénos y humedales, fermentación digestiva y descomposición anaerobia de residuos biológicos). Del metano producido como consecuencia de la actividad del hombre, hasta dos terceras partes se genera en actividades agrarias diversas (**Cuadro I**).

En la Unión Europea, las emisiones de

producción de metano constituye, además, una pérdida de energía para el animal (entre un 5 y un 7% de la energía ingerida es perdida en forma de metano). Por tanto, una reducción en la producción de metano por los rumiantes supone un aumento considerable en la eficiencia de utilización de la energía del alimento y, consecuentemente, en la eficiencia productiva del animal.

Por todo ello, en el presente artículo se abordará la descripción de los procesos de formación de metano en el rumen, así como de los factores de variación de dicha producción, para terminar analizando las distintas alternativas para disminuir la formación de metano aumentando la eficiencia de utilización del alimento.

La producción de metano en el rumen

En el rumen los carbohidratos son inicialmente hidrolizados por enzimas microbianas extracelulares. Los monómeros resultantes de la hidrólisis pasan al interior de la célula microbiana donde son fermentados siguiendo la ruta metabólica de Embden-Meyerhof-Parnas o de la glucólisis. En esta ruta, al oxidarse las moléculas se producen co-factores reducidos como el NADH que tiene que ser oxidado de nuevo a NAD, necesario para que no se bloquee la secuencia de reacciones bioquímicas.

En condiciones de aerobiosis, el NADH libera los electrones en la cadena respiratoria siendo el oxígeno el aceptor final de electrones. Sin embargo, en condiciones de anaerobiosis (como en el rumen o en el ciego) el NADH transfiere sus electrones a otros aceptores alternativos, tales como el CO₂, el sulfato, el nitrato o el fumarato.

Aunque el H₂ es uno de los principales productos finales de la fermentación microbiana de los carbohidratos, su concentración en el rumen es muy baja, ya que este gas es inmediatamente utilizado por algunas especies bacterianas que forman parte de la población microbiana del rumen. De esta forma tiene lugar la llamada "transferencia interespecífica de hidrógeno" mediante la asociación entre las especies mi-



Una vaca produce aproximadamente 250 litros de metano al día.

la capa de ozono y contribuye a aumentar el efecto invernadero y el calentamiento global de la atmósfera.

La concentración de metano en la atmósfera aumenta a razón de 10 partes por billón (ppb) cada año, de forma que a lo largo del siglo XX aumentó más del doble pasando de 700 ppb a los valores actuales que se sitúan en torno a 1.700 ppb. Por este motivo, en las últimas décadas se ha investigado el origen de las diferentes emisiones de metano a la atmósfera, así como las posibilidades de reducirlas a niveles menos perjudiciales.

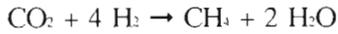
metano relacionadas con la producción animal alcanzan los 10,2 millones de toneladas, representando una de las principales fuentes de metano. De esta cantidad, dos terceras partes proceden de fermentaciones digestivas y el resto se origina a partir de las deyecciones y el estiércol.

La fermentación de los alimentos en el rumen supone la emisión a la atmósfera de una cantidad importante de metano: una vaca produce aproximadamente 250 l de metano al día, mientras que en los pequeños rumiantes (ovejas y cabras) la producción diaria de metano se sitúa en torno a los 40 l. Estas producciones de metano son importantes desde el punto de vista medioambiental por su contribución a la emisión total de este gas contaminante, pero es oportuno recordar que la

(1) Departamento de Producción Animal I. Facultad de Veterinaria. Universidad de León.

(2) Rowett Research Institute, Bucksburn, Aberdeen, Reino Unido.

crobianas fermentativas y las que utilizan H₂ para su metabolismo, como por ejemplo las bacterias metanogénicas. En el rumen la principal vía de eliminación de hidrógeno es la formación de metano que tiene lugar mediante la siguiente reacción:



La utilización de hidrógeno por las bacterias metanogénicas facilita la retirada de un producto final del metabolismo de otros microorganismos, lo que favorece la degradación y fermentación de los carbohidratos por las bacterias, los protozoos y los hongos. El metano producido es eliminado al exterior mediante el eructo. Es importante tener en cuenta que el metano es un compuesto con un elevado contenido energético, por tanto el metano eructado supone la pérdida de una parte de la energía contenida inicialmente en el alimento.

El hidrógeno en forma de protones reducidos también es utilizado para la síntesis de algunos ácidos grasos volátiles o incorporado en la materia microbiana. Atendiendo a la estequiometría de la síntesis de los ácidos grasos volátiles (AGV), la formación de acetato da lugar a la formación neta de hidrógeno, mientras que cuando se forma propionato se produce una utilización neta de hidrógeno. De esta forma, la proporción molar de AGV guarda una relación directa con la producción de metano en el rumen, la formación de acetato y butirato promueve una mayor producción de metano, mientras que la formación de propionato puede considerarse una vía alternativa a la metanogénesis para la utilización de hidrógeno.

En determinadas circunstancias, el H₂ no puede ser convertido en metano y el NADH es utilizado por algunas bacterias para formar etanol y lactato, que al acumularse provocan trastornos digestivos en el rumen.

De acuerdo con estos planteamientos, la producción de metano es mayor cuando el animal consume una ración con una mayor proporción de forraje (hasta 40 l de metano por kg de forraje consumido), ya que la fermentación ruminal de estos alimentos da lugar a una mayor formación de acetato. Sin embargo, el consumo de elevadas cantidades de concentrados está asociada con una menor producción relativa de metano (por término medio unos 30 l de metano por kg de alimento concentrado consumido), al ser mayor la proporción molar de propionato en el rumen.

Por lo tanto, el factor más importante que afecta a la cantidad de metano producido es el tipo de alimento consumido. Cuando el animal consume alimentos con

altos contenidos en almidón la fermentación en el rumen da lugar a una mayor producción de propionato, siendo menor la producción de metano en términos relativos (expresada por kg de materia orgánica fermentada en el rumen). Por el contrario, con forrajes la producción de metano es considerablemente mayor.

La cantidad de energía perdida en forma de metano puede oscilar entre un 6-7% de la energía ingerida cuando el animal consume un forraje a nivel de mantenimiento y un 2-3% de la energía ingerida en un animal que consume una ración con una elevada proporción de ce-

la misma cantidad producto con un menor número de animales, reduciendo las necesidades totales de mantenimiento de los animales y la emisión total de metano. Sin embargo, esto daría lugar al desarrollo de sistemas productivos muy intensivos, mientras que la tendencia actual es ir hacia sistemas de producción más sostenibles.

El diseño de sistemas de alimentación con el fin de mejorar la eficiencia de utilización de los alimentos y optimizar la eficiencia productiva de los animales tiene un enorme interés desde el punto de vista ambiental, ya que reduciría de forma significativa la emisión de agentes contami-

CUADRO I. Emisión mundial de metano atribuible a las actividades agrarias.

Origen	Emisión de metano (millones de toneladas año ⁻¹)
Fermentación digestiva	80
Arrozales	60-100
Combustión de biomasa	40
Descomposición de residuos animales	25
Total	205-245

reales a voluntad. La producción de metano en el rumen es mayor cuando el animal consume forrajes secos poco digestibles (pajas o henos de baja calidad) y menor con forrajes ensilados. También es mayor con forrajes picados y se reduce sensiblemente con forrajes molidos y presentados en forma de gránulos.

Consumiendo el mismo tipo de alimento, pueden observarse diferencias entre animales en la producción de metano que pueden deberse a diferencias en el comportamiento alimentario y en algunos procesos funcionales del rumen (motilidad de las paredes del rumen, tiempo de permanencia de la digesta en el rumen, masticación y rumia, producción de saliva), que pueden determinar cambios en las poblaciones microbianas que producen y utilizan el hidrógeno. Así, puede esperarse una menor producción de metano cuando es mayor el ritmo de paso de la digesta y se reduce el tiempo de permanencia en el rumen. Un mayor nivel de ingestión de alimento también resulta en una menor producción relativa de metano (por kg de alimento ingerido).

Estrategias para reducir la emisión de metano por los rumiantes

Obviamente, lo primero que cabe sugerir para reducir la producción de metano es incrementar la productividad de los animales, lo que resultará en una disminución sensible de la cantidad de metano liberado por unidad de producto obtenido a partir de los animales, siempre que no aumente la cantidad total de producto de obtenido.

Con esta estrategia se pretende obtener

tales como amoníaco o metano. Aparte de estas consideraciones, se ha sugerido la utilización de algunas sustancias como aditivos específicos que podrían ser utilizados en la alimentación de los rumiantes con el objetivo específico de reducir la producción de metano.

Inhibidores directos de las bacterias metanogénicas

Experimentalmente se han ensayado algunos compuestos químicos que inhiben directamente la formación de metano o el crecimiento de las bacterias metanogénicas. Entre estos compuestos tenemos algunos análogos halogenados de metano y compuestos relacionados (cloroformo, hidrato de cloral, amicloral, tricloroacetamida y tricloroetil-bromoclorometano), el ácido 2-bromoetanosulfónico o la 9,10-antraquinona.

Muchos de estos compuestos han mostrado una potente actividad anti-metanogénica en pruebas in vitro, aunque su utilización en condiciones prácticas tiene una serie de inconvenientes. Algunos de estos compuestos son altamente tóxicos para los animales, y muchos de ellos muestran un efecto poco persistente a medio y largo plazo cuando se incluyen en la ración de los animales, probablemente como consecuencia de que las bacterias metanogénicas se adaptan y desarrollan una mayor tolerancia a la presencia de estos inhibidores.

Antibióticos ionóforos

Al disminuir la formación de metano, normalmente se produce un aumento paralelo en la producción de propionato

en la fermentación ruminal, disminuyendo la relación acetato:propionato. Algunos antibióticos ionóforos, tales como la monensina o la salinomocina, se han utilizado como aditivos para mejorar el rendimiento productivo de los animales, con resultados bastante positivos. Entre otros efectos, estos antibióticos modifican la fermentación ruminal provocando una disminución en la formación de metano y un aumento en la producción de propionato. Este efecto no parece ser debido a un efecto inhibitorio directo sobre las bacterias metanogénicas, sino más bien a un cambio en la población microbiana del rumen aumentando las bacterias gram negativas en detrimento de las gram positivas, lo que provoca cambios en la fermentación disminuyendo la formación de acetato e intensificándose las rutas metabólicas que conducen a la formación de propionato.

Estos efectos han sido ampliamente demostrados tanto en ensayos *in vitro* como en pruebas *in vivo* con animales, aunque los efectos de la monensina en condiciones prácticas de explotación no parecen ser muy persistentes.

Por otro lado, estos antibióticos, aunque todavía en uso, han sido muy cuestionados, fundamentalmente por el desarrollo de resistencias en los microorganismos y la presencia de residuos en los productos, por lo que la UE ha resuelto recientemente su prohibición en la alimentación animal, que habrá de hacerse efectiva en los próximos años.

Ácidos orgánicos

La restricción para la utilización de antibióticos ha inducido a la búsqueda de aditivos alternativos. Entre estos compuestos se encuentran algunos ácidos orgánicos, tales como el ácido málico, el ácido fumárico o el ácido acrílico. Estos ácidos son intermediarios metabólicos en las rutas metabólicas que conducen a la formación de propionato.

Experimentalmente se ha demostrado que al añadir estos ácidos a medios de cultivo inoculados con microorganismos del rumen se produce un aumento en la formación de propionato, ya que al aumentar la concentración de sustrato (los ácidos) se produce su conversión hacia propionato. En estas reacciones se producen reducciones que implican la utilización de hidrógeno, de forma que se está favoreciendo una ruta alternativa para la eliminación de poder reductor en el rumen. Al ser destinado a la formación de más propionato, el hidrógeno no puede ser utilizado para la

metanogénesis, reduciéndose la formación de metano.

Bacterias acetogénicas

En el intestino grueso de los mamíferos puede albergarse una población microbiana característica de bacterias acetogénicas capaces de reducir el CO_2 con H_2 formando acetato en lugar de metano como producto final. Esta acetogénesis reductora es un proceso autótrofo característico de la fermentación en el intestino grueso, que apenas tiene lugar en el rumen.

Se ha sugerido que si fuera posible estimular la acetogénesis en el rumen como una ruta alternativa y en competencia con la metanogénesis por la utilización de hidrógeno, sería posible reducir la forma-



El uso de aditivos puede reducir la formación de metano.

ción de metano, aumentando, en este caso, la producción de acetato a partir del cual el animal puede obtener energía.

Se ha intentado aislar y cultivar microorganismos acetogénicos para ser inoculados en cultivos de microorganismos ruminales y estudiar su efecto sobre la producción de metano y AGV. Los resultados han sido poco concluyentes, ya que las bacterias metanogénicas parecen mostrar una ventaja considerable en su competencia con las acetogénicas cuando ambas se someten a las condiciones del rumen.

Bacterias oxidantes de metano

Se han aislado algunas especies bacterianas capaces de oxidar el metano en diversos ambientes. Aunque también se ha encontrado este tipo de bacterias en los pre-estómagos de los rumiantes, la oxidación de metano en el rumen parece tener poca importancia cuantitativa. Se ha ais-

lado una cepa bacteriana oxidante del metano en el intestino de lechones que, al ser añadida a cultivos *in vitro* de microorganismos del rumen, provocaba una ligera disminución de la producción neta de metano. No obstante es difícil valorar la posibilidad de llegar a obtener un aditivo que pueda ser utilizado en situaciones prácticas.

Defaunación

Se ha observado que algunas bacterias metanogénicas se encuentran en simbiosis con algunos protozoos ciliados del rumen, estimándose que estas bacterias son responsables de entre un 9 y un 25% de la producción total de metano. De esta forma, se ha observado que la eliminación de

protozoos por agentes defaunantes resulta en una disminución considerable de la formación de metano, sobre todo en animales alimentados con concentrados.

Es preciso tener en cuenta que la defaunación también tiene otros efectos sobre la fermentación en el rumen, reduciendo la degradación de los carbohidratos estructurales y aumentando el flujo de proteína al intestino.

Suplementación con grasas

La suplementación con grasas reduce la formación de metano probablemente por su efecto defaunante disminuyendo sensiblemente los recuentos de protozoos y por el efecto tóxico de los ácidos grasos de cadena larga sobre las bacterias metanogénicas. Es preciso tener en cuenta que niveles de grasa por encima de 5 g kg^{-1} MS pueden inhibir de forma significativa la digestión de la fibra en el rumen.

Ácidos grasos insaturados

En el rumen se produce la hidrogenación de los ácidos grasos insaturados, rompiéndose la mayoría de los dobles enlaces de su molécula que se saturan completamente con hidrógeno. La adición de ácidos grasos insaturados aumentaría la cantidad de hidrógeno que sería destinado a su saturación, reduciendo la disponibilidad de hidrógeno para la metanogénesis. Los resultados experimentales obtenidos hasta el momento no son demasiado concluyentes, y no parecen confirmar completamente esta hipótesis.

Probióticos

Algunos de los aditivos más ampliamente utilizados en la alimentación del ganado vacuno son extractos obtenidos a partir de cultivos de levaduras de las espe-

cies *Saccharomyces cerevisiae* y *Aspergillus oryzae*. Estos aditivos son muy eficaces en la modificación de la fermentación ruminal, aunque sus efectos sobre la producción de metano sólo se han podido cuantificar in vitro, con resultados muy dispares. Algunos autores han observado una ligera disminución en la producción de metano, que se ha relacionado con su efecto sobre los protozoos ruminales.

Extractos de plantas

Recientemente se ha sugerido la utilización de extractos de plantas que pueden contener principios activos que modificarían la fermentación en el rumen reduciendo la formación de metano. Algunos autores han observado que la adición de una mezcla de extractos de *Yucca shidigera*, *Quillaja saponaria* y *Acacia auriculoformis* reduce la producción de gas in vitro, lo que puede deberse a una menor producción de metano. También se ha observado este efecto con extractos de *Equisetum arvense* (cola de caballo), *Salvia officinalis* (salvia) y *Phyllanthus discoideus*. Aunque estos efectos han sido demostrados experimentalmente in vitro, el mecanismo de acción de los extractos vegetales es totalmente desconocido.

También se ha sugerido que algunas plantas o sus extractos pueden contener metabolitos secundarios con potente actividad defaunante que, indirectamente, reducirían la producción de metano. En este sentido, se ha comprobado que las plantas con un elevado contenido en saponinas presentan una significativa actividad defaunante.

Inmunización

Una de las propuestas más innovadoras es la de inmunizar a los rumiantes contra las bacterias metanogénicas mediante técnicas inmunológicas similares a otras que se han desarrollado para reducir las poblaciones de algunas especies bacterianas en el rumen.

Conclusiones

El metano es un producto final de la fermentación de los carbohidratos en el rumen. La formación de metano puede reducirse induciendo cambios en la fermentación ruminal para que prevalezcan las rutas metabólicas que conducen a una mayor formación de propionato, pero no puede suprimirse totalmente sin causar efectos adversos sobre el animal.

Al reducir la formación de metano se mejora considerablemente la eficiencia de utilización de los alimentos y se pueden disminuir los efectos contaminantes de este gas sobre la atmósfera. El medio más efectivo para reducir las emisiones de metano a corto plazo es aumentar la productividad de los animales, de forma que se obtenga la misma cantidad de producto con un número menor de animales. Sin embargo, el reto que se plantea es disminuir la emisión de metano en sistemas de producción de rumiantes basados en la máxima utilización de recursos forrajeros, ya que estos sistemas están considerados más sostenibles y, por tanto, con una mayor proyección de futuro y, sin embargo, es en estos sistemas donde la producción de metano por unidad de producto obtenido es mayor.

En este contexto, se abre un interesante campo de investigación de aditivos que pueden utilizarse para reducir la formación de metano en los rumiantes. En estos aditivos se incluirían compuestos antimetanogénicos (que inhiben a las bacterias formadoras de metano o la síntesis de este compuesto), aceptores alternativos de electrones (que desvían el hidrógeno hacia reacciones metabólicas alternativas a la metanogénesis) o sustancias defaunantes (que reducen los recuentos de protozoos en el rumen y, consecuentemente, el de bacterias metanogénicas que subsisten en simbiosis con estos protozoos). ■

BIOAGA USA CORP.
Molecular Biology
Laboratory.
Miami, Florida, USA.
www.bioaga.com

Rte. en España
BERLÍN BIOTECNOLOGÍA
Tudela - Navarra
Tel. 902 154 531
Fax. 948 828 437

BIOAGA, a la cabeza de la alta tecnología con sus piensos naturales CEM conocidos internacionalmente por sus excelentes resultados: producción y calidad.

CEM PIENSO NATURAL CIENTÍFICO

Autorizado en USA nº 583

Autorizado en Europa para ganadería ecológica

RÉCORDS DE PRODUCCIÓN CON CEM:

- ✓ **Engorde:** Conversión hasta 1,57.
10% reducción consumo de pienso.
- ✓ **Carne:** 40% aumento de Vitamina A.
30% reducción de mortalidad.
50% reducción del colesterol.
70% reducción de grasa.
- ✓ **Leche:** Aumento de producción hasta un 23%.
10% reducción consumo de pienso.
40% disminución de células somáticas.
45% reducción del colesterol.
- ✓ **Huevos:** 12% aumento de producción.
20% reducción consumo de pienso.
60% reducción mortalidad.
90% reducción de colesterol.

FERTILIZANTES Y PIENSOS ECOLÓGICOS:

- **EKOLOGIK** fertilizante natural.
Autorizado en la UE para agricultura ecológica.
- **FERTILIZANTE CEM:** fertilizante científico.
Autorizado en USA Nº F - 1417.

Empresa ganadora de **DOS ESTRELLAS INTERNACIONALES DE ORO:**
Una a la **TECNOLOGÍA** y otra a la **CALIDAD;**
TROFEO al **PRESTIGIO COMERCIAL.**

Video Control IPEC

100% inalámbrico

IPEC
IMPORTACIONES
PECUARIAS



- Hasta 2,7 km. en línea,
- Hasta 3 cámaras,
- Sin instalación, móvil
- B&N, color, audio, 12 v
- Cámara estanca IP68
- Recepción múltiple
- Accesorios, visión nocturna

• Granjas, maquinaria, instalaciones, accesos, procesos, robot de ordeño,...

• Vídeo-retrovisor cableado para vehículos, remolques, cosechadoras,...

• Desde 730 € inalámbrico

• Desde 398 € cableado

• Envíos a toda España



☎ 974 218 329 ☎ 649 402 111 -- ✉ ipec@arrakis.es

Buscamos distribuidores en España y Portugal