

INFORME DE REVISIÓN DE LAS
MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES
POTENCIALMENTE APLICABLES PARA
LA REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES DE
AMONIACO Y GASES DE EFECTO
INVERNADERO DEL SECTOR LÁCTEO
EN ESPAÑA



Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària

Torre Marimon
E-08140 Caldes de Montbui Tel. +34 902 789 449
Fax +34 938 650 954
irta@irta.cat, www.irta.cat

Autor

Francesc Prenafeta (Director del Programa de Gestión Integral de Residuos Orgánicos del IRTA)
francesc.prenafeta@irta.cat

Revisores

Belén Fernández (Investigadora experta en el tratamiento de las deyecciones ganaderas, del Programa de Gestión Integral de Residuos Orgánicos del IRTA)
belen.fernandez@irta.cat

Maria Devant (Directora del Programa de Producción de Rumiantes del IRTA)
maria.devant@irta.cat

Empresa

Contacto: Nuria María Arribas Vera (email: nuria@inlac.es; tel.: 91 782 57 26, ext. 2021) Cargo: Directora Gerente
Razón social: INLAC – Organización Interprofesional Láctea. Calle de José Abascal, 44 - 1º planta 28003 Madrid
Página web: www.inlac.es CIF: G-82520982

1. ANTECEDENTES.....	6
1.1. Objetivos y estructura del estudio.....	6
2. INTRODUCCIÓN.....	7
2.1. Ganadería y medio ambiente.....	7
2.1.1. <i>Emisiones atmosféricas</i>	10
2.1.2. <i>Emisiones en el agua y el suelo</i>	13
2.1.3. <i>Impactos positivos de la ganadería</i>	14
2.2. Evolución de las emisiones atmosféricas asociadas a la agricultura y la ganadería.....	14
2.3. Contexto legal y normativo.....	16
2.3.1. <i>Situación normativa en España</i>	17
2.4. Documentación técnica y científica disponible.....	18
2.4.1. <i>Referencias sobre MTD para el vacuno a nivel internacional</i>	18
2.4.2. <i>Referencias sobre MTD para el vacuno a nivel español</i>	20
3. MTD PARA OTRAS ESPECIES QUE SON POTENCIALMENTE APLICABLES AL VACUNO DE LECHE.....	23
3.1.1. <i>Sistemas de Gestión Ambiental</i>	24
3.1.2. <i>Gestión nutricional</i>	26
3.1.3. <i>Uso eficiente del agua y la energía</i>	27
3.1.4. <i>Control de ruido, polvo y olores</i>	29
3.1.5. <i>Almacenamiento de estiércol y purines</i>	33
3.1.6. <i>Aplicación del estiércol en campo</i>	39
3.1.7. <i>Medidas de estimación y supervisión</i>	42
3.1.8. <i>Control de las emisiones de amoníaco en el alojamiento del ganado</i>	46
4. MTD CON VALORES DE REDUCCIÓN DEFINIDOS PARA EL GANADO VACUNO.....	51
4.1. Medidas relacionadas con la alimentación de los animales.....	51
4.1.1. <i>Ajuste del aporte nutricional a las necesidades fisiológicas</i>	51
4.1.2. <i>Uso de aditivos para mejorar la digestibilidad y/o evitar emisiones</i>	58
4.2. Medidas en el alojamiento de los animales.....	62
4.2.1. <i>Diseño de la granja y aspectos constructivos</i>	62
4.2.2. <i>Manejo y limpieza de la granja</i>	64
4.2.3. <i>Manejo de los animales</i>	69
4.3. Medidas en la gestión de las deyecciones ganaderas.....	70
4.3.1. <i>Almacenamiento de las deyecciones ganaderas</i>	71
4.3.2. <i>Procesado de las deyecciones en la granja</i>	74
4.4. Aplicación agronómica de las deyecciones ganaderas.....	77
5. IMPLEMENTACIÓN DE OTRAS MTD AL SECTOR DEL VACUNO LECHERO.....	83
5.1. Medidas en el alojamiento de los animales.....	83
5.1.1. <i>Manejo de las deyecciones sólidas mediante el método de la cama compostante</i>	83

5.1.2.	Manejo de los purines mediante la bioacidificación.....	84
5.2.	Medidas en la gestión de las deyecciones ganaderas.....	85
5.2.1.	<i>Tratamientos innovadores de las deyecciones ganaderas.....</i>	85
5.2.2.	<i>Elaboración de fertilizantes de la categoría RENURE.....</i>	86
5.2.3.	<i>Sembrar cultivos captadores para recuperar nutrientes excedentarios del suelo.....</i>	87
5.3.	Medidas relacionadas con las energías renovables.....	88
5.3.1.	<i>Implementación de sistemas de generación eléctrica fotovoltaica y/o minieólica.....</i>	88
5.3.2.	<i>Implementación de sistemas de producción de biometano para su inyección en red.....</i>	90
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	92
6.1.	Contexto de la política ambiental, normativa, y documentos técnicos aplicables.....	92
6.2.	MTD relacionadas con la nutrición.....	93
6.3.	MTD relacionadas con el alojamiento y manejo de los animales.....	94
6.4.	MTD relacionadas con el almacenamiento y procesado de las deyecciones ganaderas.....	95
6.5.	MTD relacionadas con la aplicación agronómica de las deyecciones.....	96
6.6.	MTD emergentes aplicables al vacuno de leche.....	96
7.	GLOSARIO.....	99
7.1.	Definiciones de términos.....	99
7.2.	Abreviaciones y fórmulas.....	101
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104
9.	ANEXO: TABLA RESUMEN DE LAS MTD PROPUESTAS PARA EL SECTOR LÁCTEO.....	109

ANTECEDENTES



1. ANTECEDENTES

Durante los últimos años el sector agrícola y ganadero ha realizado importantes esfuerzos para reducir las emisiones generadas por sus actividades. No obstante, los estados miembros de la Unión Europea se han comprometido a reducir aún más las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y del amoníaco (NH₃), lo que requerirá implementar medidas preventivas adicionales a nivel de la explotación agraria. Esta necesidad se ve reforzada por el aumento de la demanda, por parte del consumidor, de alimentos de mayor calidad y elaborados con procesos amigables con el bienestar animal y el medio ambiente. La publicación en el 2017 del Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles (BREF) para la Producción Intensiva Avícola y Porcina por parte de la Comisión Europea, y su posterior traslación a las normativas nacionales, ha supuesto un antecedente importante a partir del cual se han empezado a desarrollar diversas iniciativas dirigidas a definir MTD que sean reconocidas para otras cabañas. Entre estas otras especies ganaderas destaca por su importancia socioeconómica el vacuno de leche.

El presente informe ha sido escrito por encargo de la Organización Interprofesional Láctea (INLAC), y en él se realiza una revisión exhaustiva de la literatura científico-técnica sobre las buenas prácticas de aplicación en la producción lechera que son susceptibles de ser consideradas como mejores técnicas disponibles (MTD). Este documento pretende contribuir desde el propio sector a la futura redacción de un documento BREF para la ganadería del vacuno de leche.

1.1. Objetivos y estructura del estudio

El principal objetivo de este trabajo es el de realizar una descripción del estado del arte sobre las MTD en la ganadería intensiva, con especial énfasis en el vacuno de leche, y proponer aquellas buenas prácticas que pueden ser consideradas como MTD en este último sector. Los criterios para la selección de MTD para el ganado vacuno se han basado en la reducción de las emisiones de amoníaco en el aire y las aguas, el principal factor considerado en el marco legal vigente en el ámbito nacional y europeo, pero también se han contemplado los GEI, dada su relevancia en los animales rumiantes. Para ellos, se han tenido en cuenta las evidencias científico-técnicas disponibles, así como la información aportada por el propio sector de producción láctea.

En cuanto a la estructura de este trabajo, en primer lugar, se ha hecho una breve revisión y contextualización de los impactos ambientales causados por el vacuno de leche, de la normativa aplicable, y la literatura analizada en el presente informe (Sección 2). Seguidamente, se han recopilado una serie de buenas prácticas que ya han sido propuestas como MTD para otras especies ganaderas, distintas del sector vacuno (sección 3), y se han recopilado las MTD potencialmente aplicables al vacuno de leche (sección 4). En estas últimas, se ha hecho especial hincapié en los valores de reducción de las emisiones propuestos, analizando la robustez de las evidencias que justifican su consideración como MTD y, en los casos que ha sido posible, los costes asociados. Finalmente, se han resumido las conclusiones del estudio (Sección 5).



A large flock of sheep is shown in a barn setting. The sheep are densely packed, and the scene is overlaid with a semi-transparent blue filter. The word "INTRODUCCIÓN" is written in white, uppercase letters across the center of the image. The sheep are standing on a bed of straw or hay. The overall composition is a full-page background image.

INTRODUCCIÓN

2. INTRODUCCIÓN

2.1. Ganadería y medio ambiente

La producción ganadera está asociada a impactos negativos sobre el medio ambiente (Figura 2.1), que se pueden clasificar en función del compartimento ambiental al que afectan (emisiones atmosféricas, lixiviación a aguas superficiales y acuíferos, descargas al suelo) y del efecto causado, tanto a nivel global/transfronterizo (cambio climático, acidificación y eutrofización de ecosistemas, y destrucción de la capa de ozono) como a nivel local (contaminación química y microbiana de aguas y suelos, deterioro de la calidad del aire, etc.).

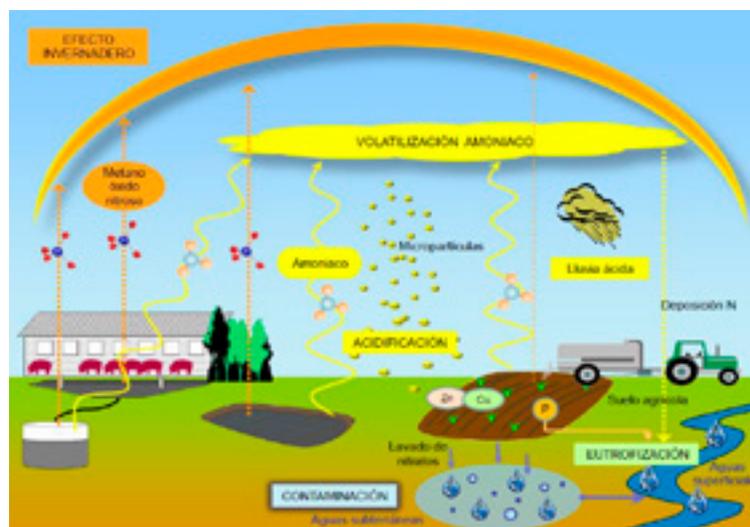


Figura 2.1. Representación esquemática sobre los principales impactos sobre el medio ambiente de la actividad ganadera (Fuente: proyecto LIFE-ES WAMAR).

En lo que se refiere a las explotaciones ganaderas de producción de leche, es importante destacar que los sistemas productivos varían substancialmente en función de las condiciones bioclimáticas de su entorno, que a su vez van a influir en las emisiones y otros impactos sobre el medio ambiente. En un informe sobre el impacto ambiental de la producción láctea en la UE, elaborado por el Centre for European Agricultural Studies y el European Forum on Nature Conservation and Pastoralism bajo encargo de la Comisión Europea (CEAS and EFNCP 2000), los sistemas ganaderos de producción láctea se dividen en diez grandes tipos:

- **Sistemas de producción láctea trashumantes (P1):** Cuando los pastos de vegetación natural forman más del 80% del área de forrajes, y estos pastos incluyen una variedad de vegetación: pastizales, brezales, matorrales y bosques. El forraje de invierno es predominantemente heno, ensilaje y algunos cereales producidos en la explotación. Se utilizan razas regionales tradicionales, adaptadas localmente, que a menudo implican la trashumancia de corta o larga distancia a los pastos de verano. Los cultivos se realizan en emplazamientos diferentes a los pastos.
- **Sistemas intensivos de pastizales temporales (G1):** Se hace un uso máximo de los pastizales rotativos y permanentes para proporcionar tanto forraje de invierno como de verano. Los cultivos (cebada, maíz, remolacha forrajera, alfalfa según el lugar) representan menos del 40% de la superficie agraria útil (SAU). El maíz se cultiva cada vez más (para ensilaje), pero más del 60% de la SAU está destinada al forraje compuesto de pastizales rotativos.

- Sistemas de pastizales permanentes en tierras bajas (G2) y en montañas (G3): Los pastizales permanentes representan el 80-100% del área principal de forraje. Se cultiva poco o ningún cereal y solo para consumo en la granja.
- Sistemas de producción láctea mixtos convencionales (CG1), orgánicos y de bajo insumo (CG2), y mixtos mediterráneos (CG3): Muchas de las granjas lecheras del norte de Europa (Reino Unido, Países Bajos, Dinamarca, y Suecia) combinan pastizales con una variedad de cultivos herbáceos para proporcionar grano y ensilaje. Existen fuertes diferencias regionales en los cultivos como resultado de las diferencias de los suelos y el clima. En el sur de Europa, predominan las pequeñas explotaciones familiares con vacas de bajo rendimiento, pastadas solo durante la primavera y principios de verano, que cultivan una amplia variedad de cultivos forrajeros que se cortan y alimentan a las vacas de forma manual.
- Sistemas de producción láctea de maíz de ensilaje intensivo (M1): Al menos entre el 25% y el 60% del área principal de forraje se utiliza para cultivar maíz en asociación con pasto. Más del 80% de la SAU es apta para arar y la tierra cultivada que no produce maíz ni cereales está cubierta de pastos a base de raigrás. En algunas zonas, el cultivo de maíz supera el 60% del área principal de forraje.
- Sistemas de producción láctea industriales del noreste europeo (L1) y del mediterráneos (L2): Estos incluyen dos tipos de empresas lácteas que, aunque intensivas, presentan notables diferencias. En ambos casos las vacas pasan la mayor parte del tiempo alojadas, pero en el noreste de Europa se trata de grandes cabañas lecheras (hasta 500 vacas) que pueden estar alojadas de forma permanente. Son vacas de alto rendimiento alimentadas con raciones concentradas y ensilaje comprado de maíz o alfalfa. Prácticamente no hay producción de forrajes en la explotación. En el sur de Europa incluye muchas de las granjas lecheras industriales del Mediterráneo, en las que las vacas se alojan permanentemente, se alimentan con concentrados y se compran forrajes (por ejemplo, ensilado de maíz, heno de alfalfa y paja). Algunos de los sistemas L2 más intensivos están a punto de ser el equivalente mediterráneo de L1.

En España predominan las explotaciones pertenecientes a los sistemas de producción láctea industriales del mediterráneos (L2), los sistemas de producción láctea mixtos mediterráneos (CG3) y, en menor medida, los sistemas de producción láctea trashumantes presentes en la cornisa cantábrica y en los Pirineos (P1). Las emisiones ambientales de los sistemas P1 y CG3 sobre el suelo, las aguas y la atmósfera son relativamente bajas, hecho que contrasta con los sistemas intensivos L1 caracterizados por un nivel elevado de emisiones. Éstas últimas se caracterizan por ser granjas modernas y mecanizadas, con vacas de alto rendimiento que cubren más de la mitad de sus necesidades energéticas con concentrados. Estos sistemas intensivos tienen una mayor demanda energética que los sistemas extensivos, hecho que resulta en una mayor emisión de GEI. Es probable que la tendencia sea que los sistemas de producción intensivos reemplacen progresivamente a los sistemas mixtos a pequeña escala administrados como empresas familiares. Esta polarización e intensificación de la producción tendrá implicaciones medioambientales, ya que los sistemas agrícolas beneficiosos para el medio ambiente serán progresivamente reemplazados por sistemas con un impacto potencialmente más elevado (CEAS and EFNCP 2000).

2.1.1. Emisiones atmosféricas

El metano (CH_4) y el óxido nítrico (N_2O) son los gases contaminantes con una mayor repercusión sobre el cambio climático emitidos durante la producción ganadera. Una vez liberados a la atmósfera, estos gases de efecto invernadero (GEI) promueven el calentamiento global por su capacidad de favorecer la retención del calor en la atmósfera, siendo el potencial de efecto invernadero del CH_4 y N_2O unas 25 y 298 veces, respectivamente, mayor que el del CO_2 . El CH_4 se produce fundamentalmente como consecuencia de la fermentación ruminal en animales poligástricos (ruminantes) y, en menor medida, en el sistema digestivo de animales monogástricos. También se genera CH_4 durante el almacenamiento de las deyecciones de los animales, que será mayor o menor en función de las condiciones de aireación, temperatura, y tiempo de almacenado. La mayor parte del óxido nítrico (N_2O) emitido durante la producción ganadera, se genera como consecuencia de la transformación del nitrógeno de las deyecciones mediante los procesos microbianos conocidos como nitrificación y desnitrificación. Cuando las condiciones no son óptimas la desnitrificación es incompleta, dando lugar a la formación de N_2O . Este compuesto también es responsable de la destrucción del ozono estratosférico y puede permanecer en la atmósfera durante 150 años.

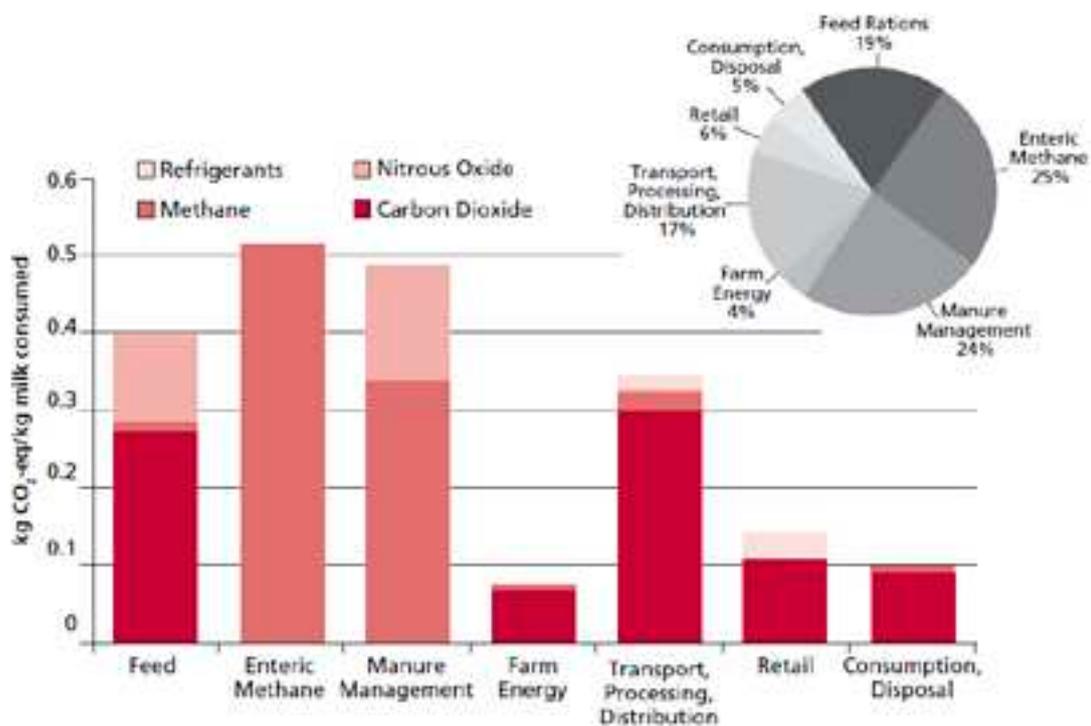


Figura 2.2. Contribución de diferentes procesos de la cadena de suministro de la leche a la huella de carbono en EEUU. Fuente: Hristov et al. (2013) a partir de los resultados de Thoma et al. (2013).

Un análisis de ciclo de vida de toda la cadena de valor del sector lácteo realizado en Estados Unidos (Figura 2.2), ha puesto en evidencia que la fermentación entérica (25%) y descomposición del estiércol (24%) son las mayores fuentes de CH₄ y N₂O, contribuyendo casi con la mitad del total de las emisiones de GEI de toda la cadena de la producción lechera. Les siguen las huellas de carbono asociadas a la alimentación animal (19%) y al transporte, procesado y distribución (17%) de la leche y, a mayor distancia la venta minorista (6%), el consumidor (5%), y la energía utilizada en la propia granja (4%).

El amoníaco (NH₃) está considerado como uno de los principales responsables de la acidificación del suelo y el agua. En estado gaseoso, o en forma de aerosoles de amonio, puede desplazarse en la atmósfera a grandes distancias y contribuir al fenómeno conocido como lluvia ácida. El impacto de la deposición del NH₃ sobre los ecosistemas puede ser muy significativo, incluyendo efectos indeseables sobre la fauna y flora acuática, daños sobre los bosques, cultivos y la vegetación en general. Además, contribuye a la eutrofización del agua por acúmulo de nitrógeno, disminuyendo la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos. Tal como se ha comentado anteriormente, el NH₃ es un precursor que puede contribuir a la formación de GEI, y se ha estimado que aproximadamente el 1-2% del nitrógeno del NH₃ se reemite como N₂O (Wulf et al. 2002).

El NH₃ también causa impactos a nivel local, por causa de su olor desagradable y los efectos tóxicos sobre personas y animales. Se ha constatado que la acumulación de NH₃ en el interior de naves de engorde de porcino causa pérdidas de productividad, en términos de la eficiencia de engorde, que van del 10% para una exposición a 50 ppm de NH₃ hasta el 30% para los 100 ppm. De hecho, la Comisión Internacional de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas (CIGR) recomienda no superar la concentración de 20 ppm en el alojamiento de los animales (CIGR 1984). Este valor coincide con la exposición admisible para humanos durante una jornada laboral de 8 horas por día, según se establece en la Directiva 2000/39/CE, de 8 de junio de 2000, por la que se establece una primera lista de valores límite de exposición profesional indicativos en aplicación de la Directiva 98/24/CE relativa a la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo. Para una exposición puntual (máximo 15 minutos) no deberían superarse los 50 ppm.

Además del efecto de los contaminantes primarios anteriormente mencionados, hay que tener en cuenta que estos reaccionan con otros compuestos atmosféricos para generar contaminantes secundarios, como son el ozono (O₃) y las partículas en suspensión respirables, con un diámetro inferior a 2,5 micras (PM_{2.5}). Estos nuevos contaminantes se han asociado habitualmente a los entornos urbanos, por causa de las emisiones de los vehículos, especialmente los motores diésel en el caso de las partículas en suspensión, pero recientemente se ha podido comprobar su relevancia en el entorno rural por causa de la ganadería intensiva (Figura 2.3). De acuerdo con la Agencia Europea del Medio Ambiente, se prevé que el número de muertes prematuras por exposición a las partículas en suspensión y el ozono aumentará a más 400.000 si no se adoptan nuevas políticas para preservar la calidad del aire urbano.



Este elevado número de defunciones supondría un coste anual de entre 300.000 y 900.000 millones de euros (Figura 2.4). Es por este motivo que los contaminantes atmosféricos secundarios como las partículas en suspensión y el ozono tienen cada vez más relevancia en la producción agrícola y ganadera, y empiezan a ser considerados en documentos sobre buenas prácticas para el sector lechero.

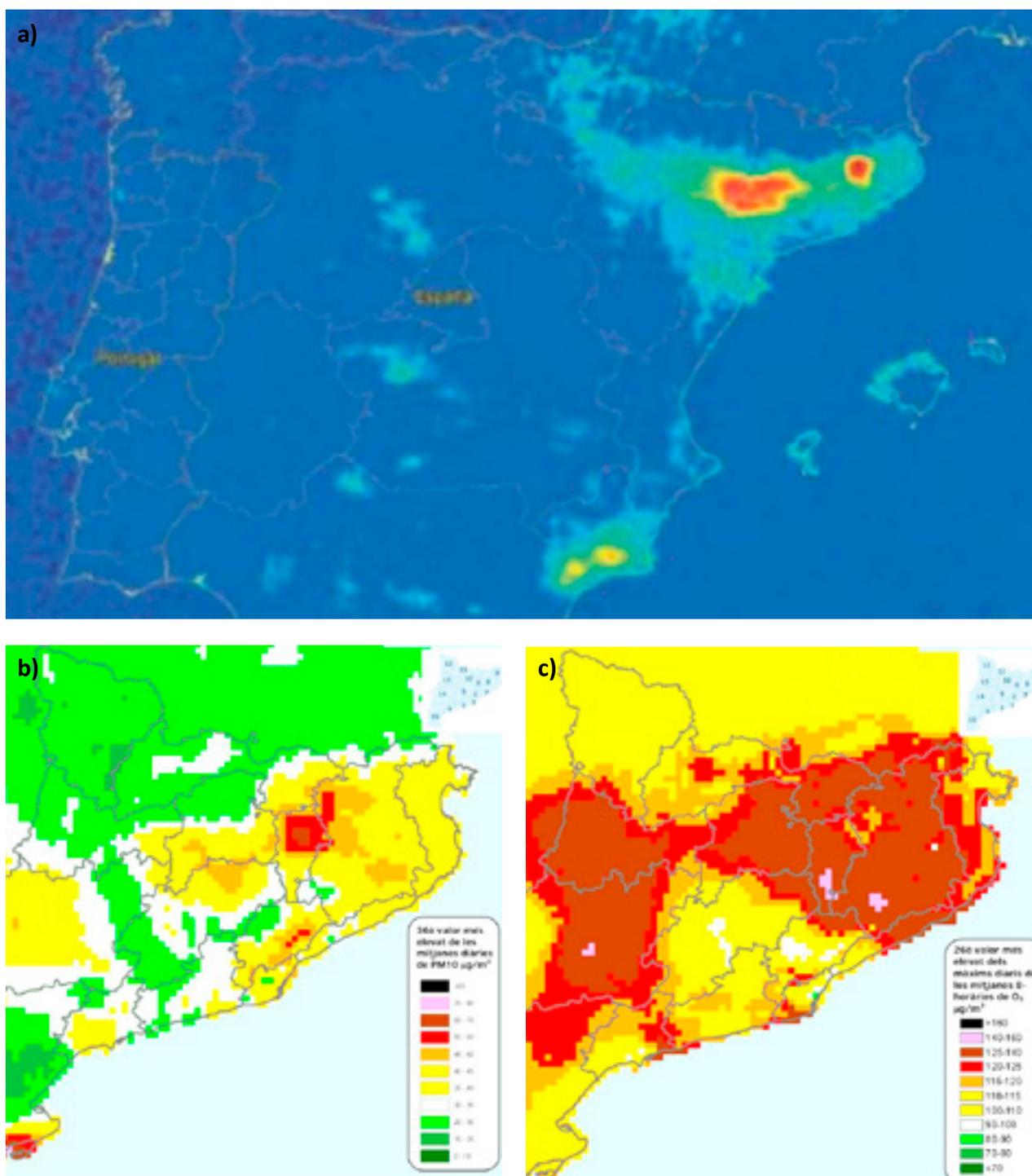


Figura 2.3. Correlación entre los focos de emisiones de amoníaco (a) procedente de la actividad ganadera, (b) la concentración de ozono troposférico, y (c) las partículas en suspensión (Fuentes: Centro Nacional de Supercomputación, 2020; Departament de Territori i Sostenibilitat, Generalitat de Catalunya, 2016).



Figura 2.4. Interacciones atmosféricas entre contaminantes primarios procedentes de la agricultura y la ganadería (CH₄ y NH₃) y la producción de contaminantes secundarios (O₃ y PM_{2.5}), así como el efecto sobre la salud humana de éstos últimos (Fuente: European Environmental Bureau, 2015).

2.1.2. Emisiones en el agua y el suelo

La actividad agrícola y ganadera puede afectar el medio acuoso y el suelo directamente de varias formas. El aumento en la utilización de productos agroquímicos (fertilizantes inorgánicos, pesticidas, etc.), y la aplicación inadecuada de fertilizantes orgánicos provenientes de las deyecciones animales, que pueden sobrecargar la capacidad del suelo para retener nutrientes y degradar contaminantes. El resultado puede ser su acumulación en el suelo y/o la lixiviación de estos productos a las aguas superficiales y subsuperficiales. Este fenómeno es especialmente relevante para los nutrientes (nitrógeno y fósforo) dada su contribución a la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. Estas pérdidas de nutrientes pueden verse agravadas por reducciones en la permeabilidad del suelo, en su capacidad de retención de agua por causa de la pérdida de materia orgánica y porosidad, o por una reducción de la inercia hidrológica debido al drenaje de la finca. La contaminación por nitratos ha sido motivo de preocupación durante las últimas décadas, motivando la conocida "directiva europea sobre los nitratos" (Directiva del Consejo 91/676), y es un buen indicador del impacto de la contaminación agrícola en general. Es muy significativo el hecho que se supere el techo de referencia para la concentración de nitratos de 25 mg L⁻¹ en las aguas subterráneas en el 85% de las tierras agrícolas de Europa, sobre todo porque el problema tiende a empeorar en una buena parte de estas zonas calificadas como vulnerables a la contaminación por nitratos.

Si bien no hay datos cuantitativos sobre el alcance de la contribución específica de la industria lechera al problema de la contaminación de suelos y aguas, sus efectos pueden ser al menos tan amplios como los de cualquier otro sector ganadero, e incluir aspectos tales como los vertidos de aguas residuales y lixiviados de deyecciones en la granja, la percolación de fertilizantes en el agua subterránea y, en algunas situaciones, la contaminación con pesticidas y productos zoonos.

2.1.3. Impactos positivos de la ganadería

La agricultura en general y la ganadería en particular están muy expuestas al cambio climático, ya que las actividades agrícolas dependen directamente de las condiciones climáticas. Si bien es verdad que la ganadería libera GEI a la atmósfera, también puede contribuir a la mitigación del cambio climático al secuestrar carbono mientras se mantiene la producción de alimentos, si se aplican prácticas adecuadas. Desde una perspectiva medioambiental, el ganado vacuno es capaz de transformar unos tipos de biomasa, que no son digeribles para humanos ni otros animales de granja, en productos lácteos y de carne valiosos desde el punto de vista nutricional y económico y, por lo tanto, puede contribuir a la economía circular. El ganado también favorece la conservación de ciertos ecosistemas, donde el pastoreo es necesario para mantener el equilibrio biológico.

El ganado vacuno también tiene impactos positivos en la sociedad y el equilibrio territorial. Es una actividad económica que sustenta una parte importante del sector primario, frenando la migración de la población rural a las ciudades y contribuyendo al mantenimiento del entorno rural. También es una fuente importante de productos básicos y materias primas para la actividad alimentaria de transformación que se genera a su alrededor, tanto a nivel industrial como artesanal.

2.2. Evolución de las emisiones atmosféricas asociadas a la agricultura y la ganadería

Según la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA 2020) la agricultura es responsable del 93% de las emisiones de amoníaco (NH_3) en la EU-28, con un total de 3.589 kilotoneladas de NH_3 emitidas en 2018 (Figura 2.5). Los tres principales focos de emisión para este contaminante son la fertilización orgánica (con deyecciones ganaderas), la aplicación de fertilizantes nitrogenados inorgánicos en los cultivos, y el manejo de las deyecciones en el bovino de carne, representando el 54% de las emisiones totales de NH_3 . Las otras dos categorías restantes, el manejo de las deyecciones en el bovino de leche y en el porcino, contribuyen de forma muy similar a las emisiones de NH_3 asociadas al manejo de las deyecciones en el bovino de carne (cada una de ellas con un 10-12% sobre el total). Entre 1990 y 2018, las emisiones de NH_3 se redujeron en un 26% en la UE, pero esta tendencia se ha reducido substancialmente en los últimos años.



España ha mantenido una tendencia particularmente irregular en la evolución de las emisiones de NH_3 observada durante el período 1990-2015. Entre 1990 y 1993 se produjo un importante descenso de las emisiones de NH_3 , que se ha relacionado con la importante recesión económica y la sequía de estos años. A partir de 1994, las emisiones agrícolas sufrieron un notable incremento, llegándose a un máximo en 2003, principalmente por el crecimiento de las cabañas de bovino y porcino. El uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos también aumentó durante ese período. Hasta 2012 se registró una disminución gradual de las emisiones de NH_3 , que probablemente se debió a una combinación de factores, incluido el menor uso de fertilizantes inorgánicos vinculado a otro período de sequía (2005-2008), una reducción en el número de bovinos, la introducción gradual de técnicas de control de las emisiones en el manejo de las deyecciones, y a mejoras en la alimentación animal. Las emisiones totales de NH_3 aumentaron de nuevo entre 2012 y 2017, por causa del aumento en el consumo de fertilizantes nitrogenados sintéticos y el mayor número de cabezas bovinas y porcinas (EEA 2020).

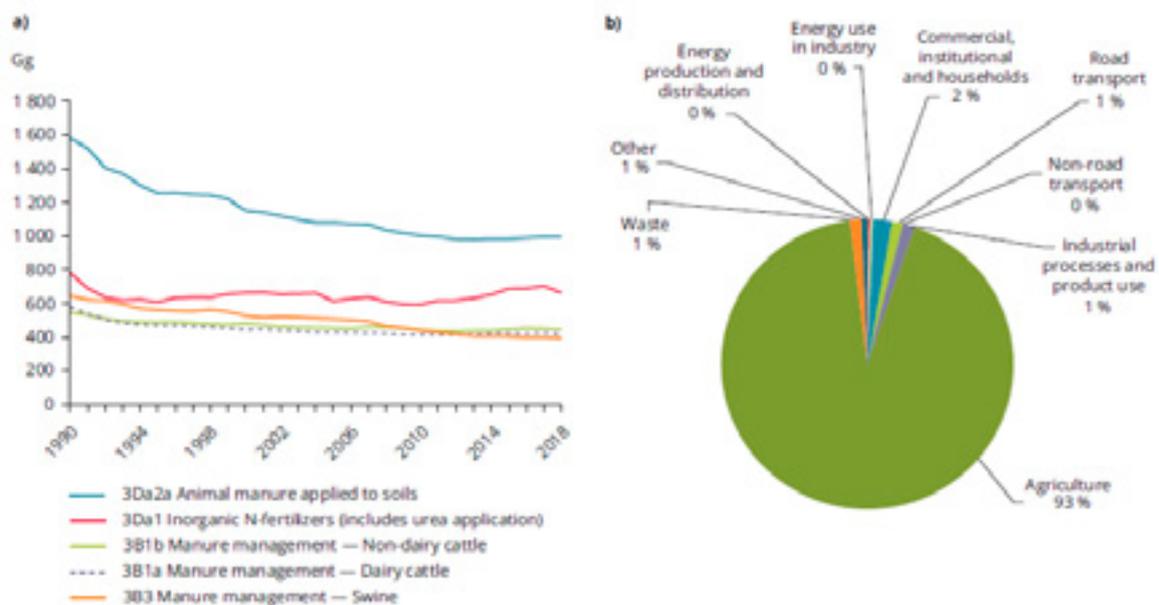


Figura 2.5. Emisiones de NH_3 en la Unión Europea: (a) tendencia de las emisiones de las cinco categorías clave más importantes durante el periodo 1990-2018; (b) contribución a las emisiones por grupo sectorial en el 2018 (Fuente: EEA 2020).

Por otra parte, el sector agrícola produjo 426.473 kilotoneladas de CO_2 equivalente de GEI en 2015, cantidad que representa cerca del 10% de las emisiones totales de GEI de Europa cuando se excluyen las emisiones provenientes del uso de la tierra, el cambio de uso de la tierra y la silvicultura (Figura 2.6). De este 10% de las emisiones totales de GEI, la fermentación entérica (exclusiva de la cabaña bovina) representa el 45% y la gestión del estiércol el 15% (un 4,3% y 1,5% sobre el total, respectivamente), siendo los principales GEI emitidos el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Cabe destacar que las emisiones de GEI del sector agrícola se redujeron en un 20% entre 1990 y 2015, caída que se debió principalmente a una disminución del 17% en las emisiones de N_2O de los suelos agrícolas impulsada por la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados, así como a una disminución del 22% en las emisiones de fermentación entérica de CH_4 causadas por una reducción en el número de cabezas de ganado.

No obstante, las tendencias entre distintos Estados miembros fueron muy dispares. Algunos países como Eslovaquia, Bulgaria, y Estonia registraron reducciones en términos relativos superiores al 50%. Por el contrario, España y Chipre fueron los únicos dos Estados cuyas emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la agricultura aumentaron entre 1990 y 2015 (incrementos del 4% y 6%, respectivamente).

Esta tendencia se ha explicado en gran medida por el aumento del número de cabezas de ganado, especialmente porcino (Chipre) y bovinos, porcinos y aves de corral (España).

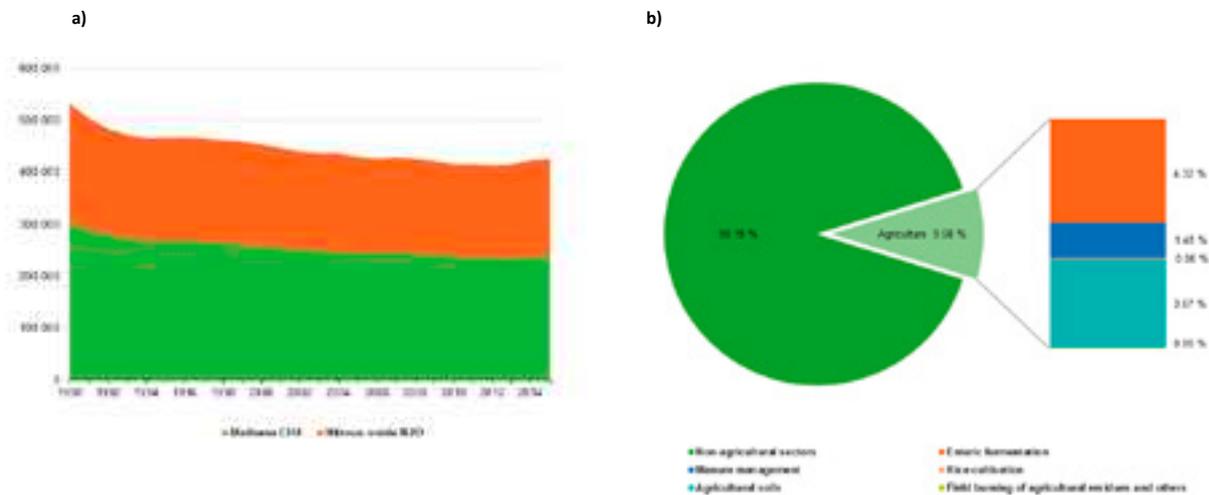


Figura 2.6. Emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea procedentes de la agricultura y la ganadería: a) tendencia de las emisiones de metano y óxido nítrico durante el periodo 1990-2014; (b) contribución a las emisiones por actividad agrícola (Fuente: EEA 2020).

2.3. Contexto legal y normativo

El concepto de Mejor Técnica Disponible (MTD, o BAT del inglés Best Available Technique) es la denominación aplicada a la opción tecnológica práctica más eficaz para un determinado proceso productivo, que demuestra su capacidad para evitar o reducir las emisiones y el impacto ambiental, y que es reconocida como tal a nivel normativo. Los primeros antecedentes históricos relacionados con el concepto de MTD se encuentran en la legislación del Reino Unido del 1861, sobre la ley de pesca del salmón. No obstante, no es hasta el 1984 cuando se introdujo en la definición de MTD la cuestión de la viabilidad económica, en la legislación de la Comunidad Económica Europea con la Directiva 84/360/CEE, de 28 de junio de 1984, relativa a la lucha contra la contaminación atmosférica procedente de las instalaciones industriales.

Con la entrada en vigor de la Directiva 2010/75/UE, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación), la Oficina Europea de Prevención y Control Integrado de la Contaminación (EIPPCB) organizó y coordinó el intercambio de información que llevó a la elaboración y revisión de documentos de sobre las MTD de referencia, de acuerdo con las disposiciones del Documento de Orientación (Decisión de Ejecución 2012/119/UE). La EIPPCB es la encargada de elaborar los Documentos de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles, denominados BREF, y que son específicos para diferentes sectores de actividad. Los BREF son las principales referencias utilizadas por las autoridades competentes de los Estados miembros a la hora de emitir permisos para las instalaciones recogidos en ellos.

En el ámbito ganadero, después de un largo proceso de elaboración que se inició en 2012 con la publicación de un primer borrador, en el 2017 se publicó la versión final del BREF para la Cría Intensiva de Aves de Corral y de Cerdos (Santonja et al. 2017). Este documento describe las diferentes técnicas aplicadas a nivel de granja, las emisiones ambientales asociadas y los niveles de consumo de recursos. Define las técnicas disponibles, así como las conclusiones sobre su consideración como MTD y las técnicas emergentes. A partir de ella se ha aprobado la Decisión de Ejecución (UE) 2017/302 de la Comisión, de 15 de febrero de 2017, por la que se establecen las conclusiones sobre las mejores técnicas disponibles (MTD) en el marco

de la Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto a la cría intensiva de aves de corral o de cerdos (Algunos errores en el texto han sido corregidos según se detalla em el DOUE núm. 105, de 21 de abril de 2017, página 21). Las actividades afectadas están especificadas en la sección 6.6 del Anexo I de la mencionada Directiva, correspondiente a las explotaciones ganaderas con más de: 40.000 plazas para aves de corral, 2.000 plazas para cerdos de cebo (más de 30 kg), o 750 plazas para cerdas de maternidad. En el documento del BREF se cubren los siguientes procesos y actividades en la granja: a) manejo nutricional de aves y cerdos; b) preparación del pienso (molienda, mezcla y almacenamiento); c) alojamiento de aves y cerdos; d) recolección, almacenamiento, procesamiento y aplicación agronómica de las deyecciones; y e) almacenamiento de animales muertos.

El mecanismo para la aprobación de las MTD se realiza mediante un intercambio de información entre los distintos agentes implicados: sector productivo, administraciones, e incluso ONGs medioambientales. La coordinación y redacción de estos trabajos la realiza el EIPPCB, organismo designado por la Comisión Europea dentro del Instituto de Prospectiva Tecnológica (IPTS) del Joint Research Center (JRC) cuya sede está en Sevilla. Es por este motivo que el sector afectado por la elaboración de un BREF debe ser especialmente proactivo a la hora de participar en este proceso de definición de las MTD.

2.3.1. Situación normativa en España

El día 27 de setiembre de 2019 el gobierno español aprobó la propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica del 1^{er} Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica (PNCCA). Este programa ha sido recogido en un documento (Alonso Sopeña et al. 2019) para su envío a la Comisión Europea y a la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). En él se fijan las medidas que España se compromete a adoptar para reducir de forma significativa los niveles de contaminación de compuestos y sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente, en cumplimiento de los compromisos establecidos en la Directiva 2001/81/CE, de 23 de octubre, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. En ella se establecen límites sobre las emisiones nacionales totales de cuatro contaminantes: el dióxido de azufre (SO₂), los óxidos de nitrógeno (NOx), los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM), y el amoniaco (NH₃). Estos contaminantes pueden causar problemas ambientales que van más allá de las fronteras nacionales, por causa de la acidificación y eutrofización del agua, y la formación de ozono en la baja atmósfera. Esta directiva ha sido incorporada al ordenamiento jurídico español mediante el Real Decreto 818/2018, de 6 de julio, sobre medidas para la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos. En la Nueva Directiva de Techos Nacionales de Emisión de Contaminantes a la Atmósfera también se contemplan las partículas finas (PM_{2.5}), además de los contaminantes mencionados anteriormente.

Con el objetivo de cumplir con la directiva de techos, el PNCCA contempla un total de 57 medidas dirigidas a todos los sectores contaminantes tales como la agricultura, la generación de energía, la industria, el transporte por carretera, el transporte por vías navegables y aéreas, la calefacción doméstica, la utilización de máquinas móviles no de carretera y el uso y fabricación de disolventes. Una novedad del plan es que se establecen una serie de medidas sectoriales y transversales, en consonancia no solo con las políticas nacionales de calidad del aire, sino también con las políticas energéticas y climáticas definidas en el Plan



Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, remitido a la Comisión Europea el pasado el 31 de marzo de 2020. En definitiva, este programa hace que confluyan por primera vez medidas para lograr la descarbonización con aquellas que persiguen mejorar la calidad del aire. Para el sector ganadero, el 1^{er} PNCCA establece una serie de medidas específicas relacionadas directa o indirectamente con la gestión de las deyecciones, que tienen por objetivo minimizar las emisiones de NH₃ (no se contemplan otros contaminantes). Se ha previsto que estas medidas se empiecen a desplegar a partir del 2020 y que sean revisadas en el 2022, antes de que finalice su implementación en 2030, cuando se espera que la reducción de las emisiones de NH₃ respecto al total inventariado sea de 42,6 kt por año, en relación a las reportadas para el año de referencia (2016). Las medidas propuestas han sido agrupadas en un conjunto de acciones definido como Paquete A.3: Gestión de estiércoles en alojamientos de animales y en su almacenamiento en ganado porcino, bovino y aviar (Tabla 2.1). Se proponen siete medidas para la ganadería (cinco para el sector bovino) que afectan a la alimentación y alojamiento de los animales, y al almacenamiento de las deyecciones que deben ser implementadas, salvo algunas excepciones, en todas las granjas existentes y de nueva creación. También se fijan los objetivos de reducción de las emisiones de NH₃ en relación a un sistema productivo de referencia que no incorpore MTD. Es importante resaltar que en el 1^{er} PNCCA no detalla, en la mayoría de los casos, cuáles deben ser las acciones concretas a implementar a nivel de MTD, pero se citan algunos documentos de referencia con información al respecto, como el BREF para la Cría Intensiva de Aves de Corral y de Cerdos citado previamente.

Tabla 2.1. Paquete de medidas y objetivos para la reducción de las emisiones de amoníaco definidas en el 1^{er} PNCCA bajo el título “A.3: Gestión de estiércoles en alojamientos de animales y en su almacenamiento en ganado porcino, bovino y aviar” (Alonso Sopeña et al. 2019). En negrita se han resaltado las medidas de aplicación para el ganado bovino.

Tipo de medida	Ámbito de aplicación	Cabaña	Implementación	Reducción ^a
Alimentación (A.3.1)	Todas las instalaciones: - Alimentación multifase - Ajuste del contenido en proteína	Todas	– ^b	– ^b
Alojamiento (A.3.2)	Instalaciones existentes: - MTD para reducir las emisiones de amoníaco - Vaciado de fosas dos veces por semana	Bovino Porcino	100% ^c 100% ^c	20% 30%
Alojamiento (A.3.3)	Nuevas instalaciones y modificaciones sustanciales: - MTD para reducir las emisiones de amoníaco	Bovino Porcino	100% 100%	25% 60%
Alojamiento (A.3.4)	Instalaciones existentes: - MTD para reducir las emisiones de amoníaco	Avícola	100% ^c	30%
Alojamiento (A.3.5)	Instalaciones nuevas y modificaciones sustanciales de las existentes: - MTD para reducir las emisiones de amoníaco	Avícola	100%	60%
Almacenamiento de deyecciones (A.3.6)	Instalaciones existentes: - MTD para reducir las emisiones de amoníaco	Bovino Porcino	100% ^c 100% ^c	40% 40%
Almacenamiento de deyecciones (A.3.7)	Nuevas instalaciones y modificaciones sustanciales: - MTD reducir las emisiones de amoníaco	Bovino Porcino	100% 100%	80% 80%

^a Objetivo de reducción de las emisiones de amoníaco para el 2030 en relación a la técnica de referencia.

^b Cantidades no detalladas.

^c Se exceptúan aquellos tipos de producción que tengan un sistema de producción que haga imposible su implementación (por ejemplo, la producción extensiva o pequeñas granjas).

La prevención de la contaminación de aguas y suelos está contemplada en el Real Decreto 261/1996, de 16 febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias, que incorpora al ordenamiento español la Directiva 91/676/CEE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas producida por nitratos utilizados en la agricultura. Tras la entrada en vigor del mismo, los órganos competentes de las Comunidades Autónomas (CCAA) designaron zonas vulnerables en sus respectivos ámbitos: aquellas zonas cuya escorrentía o filtración afecta o puede afectar a la contaminación por nitratos de las aguas continentales. Así mismo, las CCAA elaboraron unos códigos de buenas prácticas agrarias, que los agricultores pueden poner en práctica con la finalidad de reducir la contaminación producida por los nitratos de origen agrario.

A su vez, en el Real Decreto 261/1996 se incluyen las medidas que se deben incorporar en los programas de actuación: a) los periodos en los que está prohibida la aplicación al terreno de determinados tipos de fertilizantes; b) la capacidad necesaria de los tanques de almacenamiento de estiércol, que deberá ser superior a la requerida para almacenarlo a lo largo del periodo más largo durante el cual esté prohibida su aplicación a la zona vulnerable (salvo que el estiércol que exceda de esa capacidad de almacenamiento sea eliminado de forma que no cause daños al medio ambiente); c) la aplicación de fertilizantes al terreno, de manera que sea compatible con prácticas agrarias adecuadas y que tenga en cuenta las características de la zona vulnerable y, en particular, el tipo y estado del suelo, la pendiente, el clima de la zona y las necesidades de riego; y d) los usos de la tierra y las prácticas agrarias. Además, se establece que la cantidad máxima de nitrógeno procedente de fuentes orgánicas a aplicar a una hectárea no superará los 170 kg/año.

2.4. Documentación técnica y científica disponible

Como se ha comentado anteriormente, a día de hoy no existe ningún borrador de BREF para las granjas destinadas a la producción bovina, ya sea para la producción láctea o cárnica. En consecuencia, la información relativa a MTD que potencialmente son aplicables en estos sectores está dispersa en guías técnicas y documentos de trabajo de diferentes países y organizaciones, así como en la literatura científica. En los siguientes apartados se citan los principales documentos que se han consultado para la elaboración del presente informe.

2.4.1. Referencias sobre MTD para el vacuno a nivel internacional

En el ámbito de las publicaciones científicas destaca el artículo de revisión bibliográfica sobre la disponibilidad, eficacia y aceptación de las MTD existentes para las explotaciones ganaderas europeas (Loyon et al. 2016), que ha sido elaborado por parte de un equipo de 13 expertos procedentes de instituciones europeas reputadas en el ámbito agrícola (INRA, IRSTEA, IRTA, Rothamsted Research, Universidad del Sur de Dinamarca, Universidad de Lieja, y la Universidad de Wageningen). También se ha consultado el trabajo de revisión de más de 900 publicaciones científicas realizado para la FAO, por un equipo que incluyó a expertos en nutrición de rumiantes, manejo de las deyecciones y su aplicación agronómica, modelización, etc. (Hristov et al. 2013).

En lo relativo a documentos técnicos de referencia, destaca el “Guidance Document for Preventing and Abating Ammonia Emissions from Agricultural Sources”, publicada por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE 2014b). Este documento fue preparado por encargo del Órgano Ejecutivo de la Convención sobre la Contaminación Atmosférica Transfronteriza para asistir en la aplicación de las MTD disponibles para prevenir y reducir las emisiones de NH₃ en los ámbitos agrícola y ganadero, incluyendo el vacuno de leche. Esta guía ha sido traducida al castellano por parte del MAPAMA (UNECE 2014a) y citada en muchos de los trabajos elaborados con posterioridad.

Otros documentos de referencia que se ha tenido en cuenta son “The Environmental Impact of Dairy Production in the EU: Practical Options for the Improvement of the Environmental Impact”, elaborado por el Centre for European Agricultural Studies y el European Forum on Nature Conservation and Pastoralism, bajo encargo de la Comisión Europea (CEAS and EFNCP 2000), y el “Code of Practice for the Care and Handling of Dairy Cattle: Dairy Farmers of Canada”, publicado por el National Farm Animal Care Council de Canadá (NFACC 2009). En el primero, además de una descripción de las características del sector en Europa, también se proponen una serie de acciones prácticas para la reducción del impacto ambiental en función del tipo de explotación ganadera. El segundo es una guía técnica orientada a mejorar el cuidado y el bienestar de los animales de granja, pero que también incluye recomendaciones sobre la reducción de las emisiones ambientales. La elaboración de estos documentos se ha sustentado sobre los siguientes ejes: vincular las recomendaciones de buenas prácticas con el criterio científico, garantizar la transparencia en el proceso e incluir una amplia representación de las partes interesadas, identificar temas de investigación y fomentar proyectos de innovación, describir con claridad las buenas prácticas para garantizar su correcta implementación y, en definitiva, proporcionar un documento que sea útil para el sector. Estos criterios coinciden en buena medida con las conclusiones del último informe del Focus Group del Partenariado Europeo sobre la Innovación Agrícola (Yáñez-Ruiz et al. 2017) titulado “EIP-AGRI Focus Group Reducing Livestock Emissions from Cattle Farming”. En este documento se recogen una serie de propuestas de mejores prácticas centradas en la nutrición animal, surgidas de este grupo de trabajo sobre cómo hacer frente a los retos de futuro del sector del vacuno de leche.

2.4.2. Referencias sobre MTD para el vacuno a nivel español

En este apartado se ha consultado la serie de artículos técnicos publicados recientemente por el Dr. Antonio Callejo Ramos, del Departamento de Producción Agraria de la Universidad Politécnica de Madrid (Ramos 2020a, b). Estos trabajos ofrecen una buena contextualización de la situación actual del sector del vacuno de leche en España, en relación con la problemática ambiental y la necesidad de definir e implementar MTD para garantizar su sostenibilidad. También existen algunas guías disponibles en España sobre las MTD aplicables en la industria lechera, como las publicadas primero por el AINIA Instituto Técnico Alimentario (AINIA 2000), y después por el Ministerio de Medio Ambiente con la colaboración del AINIA y del Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación (MMA 2005), pero éstas no contemplan la producción primaria a nivel de granja.

Desde el ámbito gubernamental, el principal documento en el que describen MTD susceptibles de ser aplicadas al sector bovino es la “Guía para de las Mejores Técnicas Disponibles para Reducir el Impacto Ambiental de la Ganadería”, publicada en Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación, y Medio Ambiente (MAPAMA 2017). Este documento traduce, adapta, y complementa los contenidos del documento del BREF sobre la cría intensiva de cerdos y aves (Santonja et al. 2017), y actualiza otros documentos relacionados que han sido publicados con anterioridad por parte del Ministerio. La principal relevancia del mismo es que también incluye el ganado bovino en la propuesta de MTD aplicables. No obstante, a pesar del importante avance que supone la guía del MAPAMA, la información aportada sobre los niveles de reducción de las emisiones y el coste económico de las MTD, sobre todo para el bovino, es más cualitativa que cuantitativa en la mayoría de los casos.

Por otra parte, a nivel sectorial en España, cabe destacar el “Código de buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne”, un documento en formato de guía que se ha publicado justo antes de finalizar el presente informe (REMEDIA 2020). Este documento ha sido encargado por la asociación Interprofesional de la Carne de Vacuno (PROVACUNO) a la Red REMEDIA, una red científica creada en 2012 en el ámbito de la investigación para la mitigación del cambio climático en los sectores agrario, ganadero y forestal en España. Esta guía se centra en las emisiones de GEI (no se han tenido en cuenta los gases de efecto acidificante como el NH₃), identificando medidas específicas con una base científica probada que se han

estructurado en cinco grandes bloques: (a) alimentación, (b) rumen, (c) genética, reproducción y manejo, (d) estiércol, (e) pastos y cultivos. Para cada una de las 37 MTD propuestas se indican rangos porcentuales de reducción de la emisión de GEI pero, al contrario de la guía de la UNECE (2014b), no se citan las referencias bibliográficas u otros criterios a partir de las cuales se han propuesto estos valores numéricos de reducción. Finalmente, algunas comunidades autónomas, como el caso de Navarra (Ancín et al. 2010), Castilla-la Mancha (Molina Casanova 2019), Aragón (CITA 2017), y Cataluña (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020) también han publicado documentos de carácter técnico y divulgativo relacionados con las buenas prácticas y las MTD que mejor se adaptan a la tipología de explotaciones existentes en ellas. No obstante, la información sobre estas cuestiones existente a nivel autonómico es todavía relativamente escasa y buena parte de los documentos disponibles se centran especialmente en la cuestión de las deyecciones ganaderas.



MTD PARA OTRAS
ESPECIAS QUE SON
POTENCIALMENTE
APLICABLES AL
VACUNO DE LECHE



3. MTD PARA OTRAS ESPECIES QUE SON POTENCIALMENTE APLICABLES AL VACUNO DE LECHE

La publicación del BREF para la cría intensiva porcina y avícola (Santonja et al. 2017) ha sentado las bases para establecer las MTD de referencia en el sector ganadero en general, y será una guía para la futura elaboración de documentos BREF para otras cabañas ganaderas como la del bovino de leche. Las MTD propuestas en este BREF han sido recogidas en la Decisión de Ejecución 2017/302 de la Comisión, de 15 de febrero de 2017, por la que se establecen las conclusiones sobre las MTD en el marco de la Directiva 2010/75/UE respecto a la cría intensiva de aves de corral o de cerdos. En base a estos documentos, complementados con otros como el informe técnico orientativo de la UNECE anteriormente mencionado (UNECE 2014b), la guía del MAPAMA sobre las MTD para los sectores porcino y avícola también aporta información sobre su nivel de aplicabilidad para la producción bovina (MAPAMA 2017). Este último documento es, por tanto, la referencia más actualizada disponible sobre las MTD que han sido oficialmente reconocidas para otras cabañas, pero que son aplicables en potencial para el sector bovino, particularmente el de producción lechera, en España.

Tabla 3.1. Resumen de las MTD citadas en la Decisión de Ejecución 2017/302 para los sectores porcino y avícola.

Categoría, código, y breve descripción de las MTD
Sistemas gestión ambiental: MTD 1: Cumplir un sistema de gestión ambiental MTD 2: Cumplir buenas prácticas ambientales
Gestión nutricional: MTD 3: Reducir el nitrógeno excretado y emisiones de amoníaco MTD 4: Reducir el fósforo total excretado
Uso eficiente del agua: MTD 5: Uso eficiente del agua MTD 6: Reducir la generación de aguas residuales MTD 7: Reducir el vertido de aguas residuales
Uso eficiente de la energía MTD 8: Uso eficiente de la energía
Control del ruido, polvo, y olores: MTD 9: Gestión de las emisiones de ruido MTD 10: Reducción de las emisiones de ruido MTD 11: Reducir las emisiones de polvo MTD 12: Plan de gestión de las emisiones de olores MTD 13: Reducción de las emisiones de olores
Almacenamiento de estiércol y purines: MTD 14: Reducir las emisiones atmosféricas de amoníaco del estiércol MTD 15: Reducir las emisiones al suelo y al agua del estiércol MTD 16: Reducir las emisiones de amoníaco en el almacenamiento de purines MTD 17: Reducir las emisiones de amoníaco en balsas de purines MTD 18: Evitar emisiones al suelo y al agua durante el almacenamiento de purines MTD 19: Implementar tratamientos para reducir emisiones, olores y patógenos durante el almacenamiento de purines
Aplicación de las deyecciones al campo: MTD 20: Reducir las emisiones al suelo, agua y atmósfera de N, P y patógenos MTD 21: Reducir las emisiones de amoníaco durante la aplicación de los purines MTD 22: Reducir las emisiones mediante el enterrado rápido
Medidas de estimación y supervisión de las emisiones: MTD 23: Reducir el global de emisiones de amoníaco MTD 24: Supervisar el nitrógeno y fósforo total excretado MTD 25: Supervisar las emisiones totales de amoníaco a la atmósfera MTD 26: Supervisar la emisión de olores MTD 27: Supervisar la emisión de polvo MTD 28: Supervisar la depuración del aire MTD 29: Supervisión y controles periódicos (consumo de agua, energía eléctrica, etc.)
Control de las emisiones de amoníaco en los alojamientos de los animales MTD 30: Reducir las emisiones de amoníaco (medidas específicas para el porcino) MTD 31 a MTD 34: Reducir las emisiones de amoníaco (medidas específicas para las aves)

En los siguientes apartados se presentan de forma resumida las MTD descritas en la Decisión de Ejecución 2017/302, tal como se recogen en la Guía del MAPAMA, desde la perspectiva de su aplicación potencial al sector del vacuno (Tabla 3.1). La mayoría de estas MTD están directamente relacionadas con el manejo de las deyecciones ganaderas en la explotación, ya sea desde la perspectiva de minimizar la emisión de malos olores (MTD12, MTD13) y NH₃ (MTD14, MTD16, MTD17), así como la contaminación de suelos y aguas (MTD15, MTD18), durante su almacenamiento y procesado (MTD19), hasta llegar su aplicación agronómica en el campo como fertilizantes orgánicos (de la MTD20 a la MTD22). El resto de medidas se centran en la gestión nutricional (MTD3, MTD4), el uso eficiente de los recursos (MTD5 a MTD8), y a la gestión y supervisión en general (MTD1, MTD2, MTD20-29), y de control de las emisiones de NH₃ en los alojamientos de los animales (MTD30-34).

3.1.1. Sistemas de Gestión Ambiental

Un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) es un marco que ayuda a una organización a alcanzar sus objetivos ambientales mediante la revisión constante, la evaluación y la mejora de su comportamiento ambiental (Figura 3.1). Este proceso dinámico de revisión y evaluación permite identificar oportunidades para mejorar el desempeño ambiental de la organización.



Figura 3.1. Esquema de las principales etapas de un sistema de gestión ambiental (Fuente: MAPAMA 2017).

El SGA, en sí no determina un nivel de sostenibilidad ambiental que debe ser alcanzado pues cada organización se adapta a sus propios objetivos y metas. Un SGA ayuda a una organización a abordar sus demandas de una manera sistemática y rentable. Este enfoque proactivo puede ayudar a reducir el riesgo de incumplimiento, también puede ayudar a cuestiones no reguladas, como la conservación de la energía, y puede promover un mayor control operacional y la gestión de los empleados. Los elementos básicos de un SGA incluyen:

- Revisar los objetivos ambientales de la organización.
- El análisis de sus impactos ambientales y los requisitos legales.
- El establecimiento de objetivos y metas para reducir los impactos ambientales y cumplir con los requisitos legales ambientales.
- El establecimiento de programas para cumplir con estos objetivos y metas.
- El seguimiento y la medición del progreso en el logro de los objetivos.
- Facilitar la información y competencia ambiental de los empleados.

La aplicación de estos elementos que forman parte de un SGA ha sido reconocida como una MTD de carácter genérico, para todo tipo de explotaciones ganaderas, incluidas las de vacuno de leche (Tabla 3.2).

Tabla 3.2. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, basadas en la implementación de sistemas de gestión ambiental (SGA). Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), o neutro (recuadro gris).

<p>MTD 1: Para mejorar el comportamiento ambiental global de las explotaciones, la MTD consiste en implantar y cumplir un SGA que reúna todas estas características:</p>	
<p>1.1 Compromiso de los órganos de dirección, que definirán una política medioambiental que promueva la mejora continua de la eficacia ambiental de la instalación y establecerán un sistema de revisión del SGA, para comprobar si el sistema sigue siendo conveniente, adecuado y eficaz.</p> <p>1.2 Planificar y establecer los procedimientos, objetivos y metas, junto con la planificación financiera y las inversiones necesarias. Aplicar los procedimientos prestando especial atención a: la organización y asignación de responsabilidades, la formación, concienciación y competencias profesionales, la comunicación, la implicación de los trabajadores, la documentación, el control eficaz de los procesos, programas de mantenimiento, la preparación y capacidad de reacción ante emergencias, y la garantía del cumplimiento de la legislación ambiental.</p> <p>1.3 Comprobar el comportamiento (supervisar y medir), adoptar medidas correctoras y preventivas, mantenimiento de los registros y realización de auditorías internas o externas independientes (cuando sea posible), para determinar si el SGA se ajusta a lo previsto y si se aplica y mantiene correctamente.</p> <p>1.4 Seguir el desarrollo de tecnologías más limpias.</p> <p>1.5 El SGA se considerará tanto en la fase de diseño de una nueva nave como durante toda su vida útil, así como al fin de su actividad.</p> <p>1.6 Realizar de forma periódica evaluaciones comparativas con el resto del sector.</p>	<p>Reducción NH₃/CH₄</p> <p>NC NC</p>
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduce la contaminación de suelos y aguas. • Contribuye a un uso eficiente de la energía. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apto para granjas viejas y nuevas.
<p>MTD 2: Para evitar o reducir el impacto ambiental y mejorar el comportamiento global, la MTD consiste en utilizar todas estas técnicas:</p>	
<p>2.1. Ubicación adecuada de la nave/explotación y disposición espacial de las actividades con el fin de reducir el transporte de animales y materiales (incluido el estiércol), garantizar las distancias a los receptores sensibles, tener en cuenta las condiciones climáticas, considerar posibles ampliaciones de la explotación y evitar la contaminación del agua.</p> <p>2.2. Formar al personal en materia de la normativa aplicable, la producción animal, la sanidad y el bienestar animal, la gestión del estiércol y la seguridad de los trabajadores, el transporte y aplicación al campo de estiércol, la planificación de las actividades, la planificación y gestión de las situaciones de emergencia, la reparación y el mantenimiento del equipamiento</p> <p>2.3. Establecer un plan de emergencia para hacer frente a imprevistos.</p> <p>2.4. Comprobar periódicamente, reparar y mantener equipos y estructuras (depósitos de purines, sistemas de suministro de agua y piensos, sistemas de ventilación y los sensores de temperatura, etc).</p> <p>2.5. Almacenar los animales muertos de forma que se eviten o reduzcan las emisiones.</p>	<p>Reducción NH₃/CH₄</p> <p>NC NC</p>
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <p>Reduce la contaminación de suelos y aguas.</p> <p>Contribuye a un uso eficiente de la energía.</p>	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <p>Aplicable en granjas viejas (excepto la 2.1) y nuevas.</p>

3.1.2. Gestión nutricional

Las estrategias basadas en la gestión nutricional pretenden adaptar la composición de los piensos y raciones al máximo a los requisitos de los animales en distintas etapas de producción, reduciendo en consecuencia la cantidad de nutrientes, en concreto del nitrógeno y del fósforo (Tabla 3.3) derivados de los alimentos no digeridos y catabolizados, y que son finalmente excretados con las deyecciones ganaderas. Esta adaptación se puede conseguir con el ajuste del aporte de estos nutrientes, generalmente de la proteína cruda, o mediante la suplementación con aditivos que mejoren la digestibilidad o que actúan directamente sobre las emisiones de las deyecciones generadas. Algunas de las MTD propuestas son relativamente generalistas, pero deberán tenerse en cuenta las especificidades fisiológicas propias de los rumiantes para su aplicación al vacuno de leche.

Tabla 3.3. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, basadas en la gestión nutricional. Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), neutro (recuadro gris).

<p>MTD 3: Para reducir el nitrógeno total excretado y las emisiones de amoníaco, satisfaciendo al mismo tiempo las necesidades nutricionales de los animales, la MTD consiste en utilizar una estrategia de alimentación y una formulación del pienso que incluyan alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">NC</td> <td style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄						
NC	NC					
<p>3.2. Reducir el contenido de proteína bruta, teniendo en cuenta las necesidades de los animales.</p> <p>3.3. Alimentación multifase.</p> <p>3.4. Adición de cantidades controladas de aminoácidos esenciales en una dieta baja en proteínas brutas.</p> <p>3.5. Uso de aditivos autorizados para piensos que reduzcan el nitrógeno total excretado.</p>						
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduce la contaminación de suelos y aguas. • Si se produce una mejora en la productividad habrá una disminución de la producción de GEI por unidad de producto obtenida. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apto en granjas viejas y nuevas. • Difícil en sistemas de explotación que incluyan pastoreo, parcial o total. • Difícil con piensos de bajo contenido proteico no económicamente viables, o para la producción animal ecológica. 					
<p>MTD 4: Para reducir el fósforo total excretado, satisfaciendo al mismo tiempo las necesidades nutricionales de los animales, la MTD consiste en utilizar una estrategia de alimentación y una formulación del pienso que incluyan alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> <td style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄						
NC	NC					
<p>4.1. Alimentación multifase.</p> <p>4.2. Utilización de aditivos autorizados para piensos que reduzcan el fósforo total excretado (p. e. fitasa).</p> <p>4.3. Utilización de fosfatos inorgánicos altamente digestibles para la sustitución parcial de las fuentes convencionales de fósforo en los piensos.</p>						
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Indirectamente, puede conllevar una disminución de la proteína de la ración, lo que conlleva menores emisiones de NH₃. • Si hay una mejora en la productividad disminuirá la producción de GEI por unidad de producto obtenida. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apto para granjas viejas y nuevas. 					

3.1.3. Uso eficiente del agua y la energía

En la cría del vacuno y el bovino, el agua se utiliza para actividades de limpieza y para dar de beber a los animales. Restringir el consumo de agua de los animales no se considera viable, en general, pero si se puede actuar sobre la prevención de pérdidas mediante el uso de cazoletas y abrevaderos adecuados (Tabla 3.4). No obstante, el mayor ahorro se puede conseguir mediante la optimización de la cantidad de agua utilizada en la limpieza de la granja. De hecho, el manejo de las deyecciones en forma de purines conlleva un consumo de agua mayor que en el caso de la implementación de yacija. En las granjas de vacuno de leche los principales tipos de efluentes líquidos que deben ser considerados a la hora de optimizar el consumo de agua son:

- Aguas blancas: Debidas al lavado de la máquina de ordeño y del tanque de refrigeración de la leche. El volumen producido dependerá del tamaño de la instalación, del equipo auxiliar y del manejo de la explotación. El volumen a almacenar puede reducirse si parte de este efluente se utiliza para el lavado de los andenes de la sala de ordeño y del corral de espera.
- Aguas verdes: Debidas al lavado de los andenes de la sala de ordeño y del corral de espera. Suponen un volumen muy variable ligado al método de limpieza y al equipo empleado, a los hábitos del ordeñador y a la superficie a lavar.
- Jugos de ensilado: Efluentes generados durante el ensilado, especialmente en los de hierba o de maíz con un bajo contenido en materia seca. Son muy concentrados en nutrientes y se producen en los primeros días tras el cierre del silo. En el caso de ser conducidos al estercolero o a la balsa de purines, no suele sobredimensionarse el volumen de éstos ya que los jugos de ensilado se producen habitualmente fuera del período invernal.
- Aguas marrones: Debidas al agua de lluvia que cae sobre las zonas de ejercicio no cubiertas y las zonas de transferencia de las deyecciones hacia las instalaciones de almacenamiento. El volumen de estos efluentes depende de la pluviosidad, de la superficie no cubierta y de un coeficiente de escorrentía.
- Lixiviados del estercolero: Debidos al agua de lluvia que cae sobre el estercolero y a su drenaje posterior. La cobertura del estercolero permite evitar la producción de este tipo de efluentes.



Tabla 3.4. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, basadas en el uso eficiente del agua. Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), neutro (recuadro gris).

<p>MTD 5: Para utilizar eficientemente el agua, la MTD consiste en aplicar una combinación de las técnicas que se indican a continuación:</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NC</td> <td style="text-align: center;">NC</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC				
Reducción NH ₃ /CH ₄										
NC	NC									
<p>5.1. Mantenimiento de un registro del uso del agua.</p> <p>5.2. Detección y reparación de las fugas de agua.</p> <p>5.3. Utilización de sistemas de limpieza de alta presión para la limpieza de los alojamientos de animales y los equipos.</p> <p>5.4. Uso de equipos adecuados (p. e. bebederos de cazoleta, bebederos circulares, abrevaderos) para la categoría específica de animales, garantizando la disponibilidad de agua.</p> <p>5.5. Comprobación y ajuste periódico de la calibración del equipo de agua para beber.</p> <p>5.6. Reutilización las aguas de lluvia no contaminadas como agua de lavado.</p>	<p>Otros efectos beneficiosos/perjudiciales colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduce la contaminación de suelos y aguas. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apto para granjas viejas y nuevas (excepto la 5.6 y en algunos casos la 5.5). 								
<p>MTD 6: Para reducir la generación de aguas residuales, la MTD consiste en utilizar una combinación de las técnicas que se indican a continuación:</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NC</td> <td style="text-align: center;">NC</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC				
Reducción NH ₃ /CH ₄										
NC	NC									
<p>6.1. Mantener las superficies de los patios lo más limpias posible.</p> <p>6.2. Minimizar el uso de agua.</p> <p>6.3. Separar las aguas de lluvia no contaminadas de los flujos de aguas residuales que requieren tratamiento.</p>	<p>Otros efectos beneficiosos/perjudiciales y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Técnicas diseñadas específicamente para prevenir la contaminación de suelos y aguas. • Puede comportar reducciones indirectas de emisiones de GEI. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apto para granjas viejas (excepto la 6.3) y nuevas. 								
<p>MTD 7: Para reducir el vertido de aguas residuales, la MTD consiste en utilizar una combinación de las técnicas que se indican a continuación:</p>		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">NC</td> <td style="text-align: center;">NC</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NC</td> <td style="text-align: center;">NC</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NC</td> <td style="text-align: center;">NC</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC	NC	NC	NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄										
NC	NC									
NC	NC									
NC	NC									
<p>7.1. Drenar las aguas residuales hacia un contenedor especial o al depósito de purines.</p> <p>7.2. Tratar las aguas residuales.</p> <p>7.3. Aplicar las aguas residuales al terreno, p. e. mediante un sistema de riego tal como un aspersor, un irrigador móvil, una cisterna o un inyector.</p>	<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Técnicas diseñadas específicamente para prevenir la contaminación de suelos y aguas. • Puede comportar reducciones indirectas de emisiones de GEI. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Apto para granjas viejas y nuevas. • La técnica 7.3 puede estar limitada por la disponibilidad de cultivos. 								

El aumento de los costos de la energía y las preocupaciones ambientales están provocando que los productores lecheros modifiquen sus prácticas de manejo, y que estas medidas estén contempladas como MTD (Tabla 3.5). Las granjas de vacuno de leche utilizan más energía que casi cualquier otra operación agrícola, y ésta se destina principalmente al proceso de ordeño y para enfriar y almacenar la leche, calentar el agua, así como para iluminar y ventilar las naves de los animales. La energía ahorrada repercute indirectamente en las emisiones de GEI.

Tabla 3.5. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, basadas en el uso eficiente de la energía. Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), neutro (recuadro gris).

<p>MTD 8: Para utilizar eficientemente la energía, la MTD consiste en aplicar una combinación de las técnicas que se indican a continuación:</p>		<table border="1"> <tr> <th>Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"> <table border="1"> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">NC</td> <td style="background-color: #90ee90;">NC</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄	<table border="1"> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">NC</td> <td style="background-color: #90ee90;">NC</td> </tr> </table>	NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄						
<table border="1"> <tr> <td style="background-color: #cccccc;">NC</td> <td style="background-color: #90ee90;">NC</td> </tr> </table>	NC	NC				
NC	NC					
<p>8.1. Sistemas de calefacción/refrigeración y ventilación de alta eficiencia.</p> <p>8.2. Optimización de los sistemas de ventilación y de calefacción/refrigeración y su gestión, en particular cuando se utilizan sistemas de limpieza de aire.</p> <p>8.3. Aislamiento de los muros, suelos y/o techos del alojamiento para animales.</p> <p>8.4. Uso de sistemas de alumbrado de bajo consumo.</p> <p>8.5. Uso de intercambiadores de calor.</p> <p>8.6. Uso de bombas de calor para la recuperación de calor.</p> <p>8.7. Recuperación de calor con suelo recubierto con yacija calentada y refrigerada (sistema Combideck).</p> <p>8.8. Aplicación de una ventilación natural.</p>						
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> El ahorro energético comporta reducciones indirectas de emisiones de GEI. El control de la temperatura y las mejoras en la ventilación pueden conllevar menores emisiones de amoníaco. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aplicabilidad relativa en granjas viejas, y en sistemas de estabulación abierta (técnicas 8.1, 8.3, 8.5, 8.6, y 8.8). La técnica 8.7 no es aplicable. 					

3.1.4. Control de ruido, polvo y olores

Los niveles de ruido generados durante ciertos procesos en la granja pueden ser lo suficientemente altos como para generar estrés en los animales y causar pérdida de audición en el granjero. A mayores distancias el ruido, conjuntamente con los malos olores, suele ser el principal motivo de queja por parte de los habitantes de núcleos próximos. La actividad en la granja genera importantes cantidades de polvo, que se acumula en el interior de las naves y que contiene endotoxinas, unas sustancias con un alto poder irritante e inflamatorio. Dado los efectos beneficiosos del control de las emisiones de ruido, polvo y olores en la granja, las prácticas dirigidas a este propósito también se consideran como una MTD (Tabla 3.6). Además, varias de las buenas prácticas propuestas para controlar las emisiones de polvo y olores también tienen efectos cruzados positivos sobre las emisiones de NH₃ y GEI.

Tabla 3.6. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, destinadas a controlar el ruido, y la emisión de polvo y olores. Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), neutro (recuadro gris).

<p>MTD 9: Para evitar o, cuando ello no sea posible, reducir las emisiones sonoras, la MTD consiste en establecer y aplicar un plan de gestión del ruido, como parte del SGA (véase la MTD 1), que incluya los elementos siguientes:</p>		<table border="1"> <tr><td colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</td></tr> <tr><td style="width: 50px;"> </td><td style="width: 50px;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;">NC</td><td style="text-align: center;">NC</td></tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄				NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄								
NC	NC							
<p>9.1. Un protocolo que contenga actuaciones y plazos adecuados.</p> <p>9.2. Un protocolo para la supervisión del ruido.</p> <p>9.3. Un protocolo de respuesta a los problemas detectados en relación con el ruido.</p> <p>9.4. Un programa de reducción del ruido destinado, p. e. a determinar su fuente o fuentes, supervisar las emisiones de ruido, caracterizar las contribuciones de las fuentes y aplicar medidas de eliminación y/o reducción.</p> <p>9.5. Una revisión de los incidentes pasados en relación con el ruido y las soluciones encontradas, y la difusión de conocimientos sobre ese tipo de incidentes. Uso de sistemas de alumbrado de bajo consumo.</p>								
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Estas medidas no tienen ningún efecto sobre las otras categorías de impacto (calidad del aire, contaminación de aguas, etc.). 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Apto para granjas viejas y nuevas. Únicamente es necesario ante la existencia de molestias por emisiones de ruido. 							
<p>MTD 10: Para evitar o, cuando no sea posible, reducir las emisiones de ruido, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las siguientes técnicas:</p>		<table border="1"> <tr><td colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</td></tr> <tr><td style="width: 50px;"> </td><td style="width: 50px;"> </td></tr> <tr><td style="text-align: center;">NC</td><td style="text-align: center;">NC</td></tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄				NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄								
NC	NC							
<p>10.1. Velar por que haya una distancia adecuada entre la nave y los receptores sensibles.</p> <p>10.2. Ubicación del equipo (p. ej.: aumentando la distancia entre el emisor y el receptor, reduciendo al mínimo la longitud de los conductos de suministro de pienso).</p> <p>10.3. Medidas operativas (p. ej.: cerrar puertas y aberturas importantes del edificio, dejar el manejo de los equipos en manos de personal especializado, etc.).</p> <p>10.4. Equipos de control del ruido (p. ej.: reductores de ruido, aislamiento de vibraciones, insonorización de edificios, etc.).</p> <p>10.5. Equipos de bajo nivel de ruido.</p> <p>10.6. Atenuación del ruido (p. ej.: obstáculos entre emisores y receptores).</p>								
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Estas medidas no tienen ningún efecto sobre las otras categorías de impacto (calidad del aire, contaminación de aguas, etc.). 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Apto para granjas viejas (excepto las 10.1 y 10.2) y nuevas. La técnica 10.5 no suele ser viable en el vacuno. Puede haber limitaciones de aplicabilidad por motivos de bioseguridad, falta de espacio y/o dificultad para la limpieza de materiales. 							

<p>MTD 11: Para evitar o, cuando no sea posible, reducir las emisiones de polvo, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las siguientes técnicas:</p>					
<p>11.1. Reducción de la generación de polvo en los edificios para el ganado. Para ello puede aplicarse una o una combinación de las técnicas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utilizar una yacija más gruesa. - Aplicar cama fresca utilizando una técnica que genere poco polvo. - Alimentación ad libitum. - Utilizar piensos húmedos, pienso granulado o añadir aglutinantes o materias primas oleosas a los sistemas de pienso seco. - Instalar separadores de polvo en los depósitos de pienso seco que se llenan por medios neumáticos. - Diseñar y utilizar a baja velocidad el sistema de ventilación del aire dentro del alojamiento. 	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</td></tr> <tr><td>NC</td><td>NC</td></tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄					
NC	NC				
<p>11.2. Reducir las concentraciones de polvo en el interior del alojamiento aplicando una de las técnicas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nebulizadores de agua. - Pulverizadores de aceite. - Ionizadores. 	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</td></tr> <tr><td>NC</td><td>NC</td></tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄					
NC	NC				
<p>11.3. Tratamiento del aire de salida utilizando unos de estos sistemas de depuración:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Colector de agua. - Filtro seco. - Depurador de agua. - Depurador húmedo con ácido. - Biolavador (o filtro biopercolador) - Sistema de depuración de aire de dos o tres fases. - Biofiltro. 	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</td></tr> <tr><td>NC</td><td>NC</td></tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄					
NC	NC				
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El polvo en sí no está incluido entre los gases que pueden afectar a la sanidad humana, a no ser que el tamaño aerodinámico de las partículas sea inferior o igual a 10 micrómetros (PM10). 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instalar separadores de polvo y bajar la velocidad de ventilación puede estar limitada en granjas viejas. • Las técnicas 11.2 y 11.3 no suelen ser viables. 				
<p>MTD 12: Para evitar o, cuando ello no sea posible, reducir los olores procedentes de una explotación, la MTD consiste en establecer, aplicar y revisar periódicamente un plan de gestión de olores, como parte del SGA (MTD 1), que incluya todos los elementos siguientes:</p>					
<p>12.1. Un protocolo que contenga actuaciones y plazos adecuados.</p> <p>12.2. Un protocolo de supervisión de los olores.</p> <p>12.3. Un protocolo de respuesta a problemas concretos de olores.</p> <p>12.4. Un programa de prevención y eliminación de olores.</p> <p>12.5. Una revisión de los incidentes pasados en relación con los olores y las soluciones encontradas, y la difusión de conocimientos sobre ese tipo de incidentes.</p>	<table border="1"> <tr><td colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</td></tr> <tr><td>NC</td><td>NC</td></tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄					
NC	NC				
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Solo es aplicable en los casos en que se prevén molestias debidas al olor en receptores sensibles y/o se haya confirmado la existencia de tales molestias. 	<p>Implementación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Granjas viejas y nuevas. 				

MTD 13: Para evitar o, cuando no sea posible, reducir los olores de una explotación y su impacto, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las técnicas indicadas a continuación:

13.1. Velar por que haya una distancia adecuada entre la nave/explotación y los receptores sensibles.

Reducción NH ₃ /CH ₄	
NC	NC

13.2. Utilizar un sistema de alojamiento que siga uno o una combinación de los principios siguientes:

- Mantener los animales y las superficies secas y limpias.
- Reducir la superficie de emisión del estiércol.
- Evacuar frecuentemente el estiércol a un depósito exterior (cubierto).
- Reducir la temperatura del estiércol y del ambiente interior.
- Disminuir el flujo y la velocidad del aire en la superficie del estiércol.
- Mantener la yacija seca y en condiciones aeróbicas en los sistemas con cama.

NC	NC

13.3. Optimizar las condiciones de evacuación del aire de salida del alojamiento animal aplicando una o una combinación de las técnicas siguientes:

- Aumentar la altura de la salida del aire.
- Aumentar la velocidad del extractor de aire vertical.
- Colocar barreras exteriores para crear turbulencias en el flujo de aire de salida.
- Incorporar cubiertas deflectoras en las aberturas de ventilación situadas en las partes bajas de los muros para dirigir el aire residual hacia el suelo.
- Dispersar el aire de salida por el lado del alojamiento que no esté orientado al receptor sensible.
- Orientar el caballete de la cubierta de un edificio con ventilación natural en dirección transversal a la dirección predominante del viento,
- Utilizar un sistema de depuración de aire, como p. ej., biolavadores (o filtros biopercoladores), biofiltros y/o sistema de depuración de aire de dos o tres fases.

NC	NC

13.4. Utilizar una o una combinación de estas técnicas de almacenamiento de estiércol:

- Cubrir los purines o el estiércol sólido durante su almacenamiento.
- Situar el depósito teniendo en cuenta la dirección general del viento.
- Adoptar medidas para reducir su velocidad alrededor del depósito y sobre su superficie.
- Reducir al mínimo la agitación del purín.

NC	NC

13.5. Procesar el estiércol con una de las técnicas siguientes para minimizar las emisiones de olores durante (o antes de) la aplicación al campo:

- Digestión aeróbica (aireación) de purines.
- Compostar el estiércol sólido.
- Digestión anaeróbica.

NC	NC
NC	NC
NC	NC

13.6. Utilizar una o una combinación de las siguientes técnicas de aplicación al campo del estiércol (tener en cuenta la aplicabilidad de estas técnicas según se describe en la MTD 21-22):

- Sistema de bandas, discos o inyectores para la aplicación al campo de purines.
- Incorporar el estiércol al suelo lo antes posible (ver MTD 22).

NC	NC
NC	NC

Efectos beneficiosos y colaterales:

- Solo es aplicable en los casos en que se prevén molestias debidas al olor en receptores sensibles y/o se haya confirmado la existencia de tales molestias.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Aptas para granjas nuevas.
- Algunas medidas pueden difíciles o imposibles para granjas viejas (p.ej. 13.1)

3.1.5. Almacenamiento de estiércol y purines

Tal como se ha comentado en la sección introductoria del presente informe, la gestión de las deyecciones animales es una de las principales fuentes de emisiones contaminantes de la explotación ganadera. El manejo del purín y el estiércol condiciona en gran manera aspectos relacionados con el diseño de la granja y, consecuentemente, la variedad de MTD existentes para su implementación (Tabla 3.7). En el caso del sector del vacuno de leche, se pueden diferenciar principalmente tres fases o procesos relacionados con las deyecciones (Ramos 2020b): el almacenamiento en el interior de la nave, el almacenamiento en el exterior, y la retirada o transferencia de las deyecciones entre ellos. En el almacenamiento en el interior de la nave destacan los siguientes sistemas de gestión de las deyecciones:

- Fosas de almacenamiento bajo suelo enrejillado: Depósitos con capacidad variable, generalmente contruidos por fábrica de ladrillo u hormigón, normalmente situados bajo suelos enrejillados o slat. En las fosas se almacena una mezcla constituida por las heces, orina, agua de limpieza, agua vertida desde los bebederos, y restos de alimentos.

- Suelo con cama o yacija: Suelos sin enrejillar, sobre los que se deposita la cama de paja y sobre la que a su vez se alojan los animales. En la cama se almacena una mezcla constituida por excrementos, orina y restos de alimentos, donde la humedad es absorbida por el sustrato de la cama, por lo que se considera en su mayoría como producción de deyecciones sólidas.

Por otra parte, en lo relativo al almacenamiento exterior de las deyecciones destacan los siguientes sistemas de gestión de las deyecciones:

- Balsas de almacenamiento: Las balsas se utilizan para almacenar deyecciones de consistencia líquida. Estas balsas suelen estar constituidas por excavaciones en el suelo con forma cuadrangular o rectangular, recubiertas en su base por material impermeable con el objetivo de evitar posibles filtraciones hacia capas inferiores

- Tanques de almacenamiento: Este tipo de instalaciones suelen tener forma cuadrangular o circular. En ocasiones, se utilizan como almacén intermedio de las deyecciones líquidas que provienen de fosas situadas en el interior de los alojamientos. Este tipo de depósitos son estancos, en la mayoría de los casos prefabricados, abiertos o cerrados y se encuentran en el exterior de los alojamientos. Los tanques pueden ser de dos tipos: tanques excavados en el suelo o tanques circulares prefabricados. Ambos tipos de tanque pueden tener o no cubierta. En algunos de ellos se utilizan cubiertas herméticas, aunque en la mayoría de los casos la única cubierta es la que forma la costra natural que se desarrolla en su superficie.

- Estercoleros: Este tipo de sistema de almacenamiento se utiliza en explotaciones ganaderas en las que se genera estiércol sólido. Éste se suele apilar en montones para favorecer la maduración hasta su posterior aplicación al campo. Esta estructura suele estar provista de cubierta para proteger el estiércol almacenado del agua de lluvia. Los estercoleros suelen ser de dos tipos, con fosa de purín o sin ella para el recogido de las fracciones líquidas.

Finalmente, en los sistemas de retirada de las deyecciones ganaderas de los alojamientos de los animales hacia las estructuras de almacenamiento destacan las siguientes opciones:

- Retirada manual o mecanizada: Se trata del método más sencillo y que requiere menores inversiones y cambios en el diseño de la granja. En caso de ser mecanizada se realiza mediante un tractor con pala.
- Vaciado por gravedad: Método que se utiliza para evacuar las deyecciones almacenadas bajo suelo enrejillado o slat. Puede estar constituido por amplios depósitos poco profundos, aunque lo más frecuente es que estén constituidos por canales con desagüe inferior, de sección en Y, U o V, que se drenan cuando se llenan.
- Vaciado mediante bombeo: Las deyecciones almacenadas en fosas interiores situadas bajo suelos enrejillados, son evacuadas mediante sistemas de bombeo hasta tanques o balsas exteriores de almacenamiento.
- Vaciado mediante rascado: Evacuación de las deyecciones almacenadas en fosas interiores situadas bajo el slat mediante rascadores mecánicos o arrobaderas. Estos sistemas suelen estar accionados de forma automática mediante motores eléctricos.
- Retirada mediante chorro de agua: Consiste en la utilización de un chorro de agua que barre el estiércol y el resto de los materiales acumulados. Existen dos variantes: vaciado de fosas de almacenamiento situadas bajo el suelo del alojamiento y limpieza de pasillos mediante flujo de agua.
- Retirada mediante arrobaderas: Sistema generalmente utilizado en Granjas en las que existe un pasillo interior de limpieza. Las más extendidas son las automáticas o autónomas accionadas por motor eléctrico mediante diversos sistemas (hidráulico, cadena o cable).



Tabla 3.7. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, basadas en el almacenamiento de las deyecciones. Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), neutro (recuadro gris).

<p>MTD 14: Para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera, procedentes del almacenamiento de estiércol sólido, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las técnicas que se indican a continuación:</p>									
<p>14.1. Reducir el coeficiente entre la superficie de emisión y el volumen del montón de estiércol sólido.</p> <p>14.2. Cubrir los montones de estiércol sólido.</p> <p>14.3. Almacenar el estiércol sólido en un cobertizo.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC	NC	NC	NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄									
NC	NC								
NC	NC								
NC	NC								
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El almacenamiento de la fracción sólida disminuye las emisiones de metano de forma variable dependiendo de la temperatura ambiente. • Aplicable a estiércoles sólidos y a la fracción sólida obtenida de cualquiera de las técnicas de procesado in situ del estiércol (MTD 19). 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Granjas nuevas y viejas (puede ser más difícil en éstas últimas). 								



<p>MTD 15: Para evitar o, cuando no sea posible, reducir las emisiones al suelo y al agua, procedentes del almacenamiento de estiércol sólido, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las técnicas indicadas a continuación:</p>																	
<p>15.1. Almacenar el estiércol sólido en un cobertizo.</p> <p>15.2. Utilizar un silo de hormigón para el almacenamiento de estiércol sólido.</p> <p>15.3. Almacenar el estiércol sólido en suelos sólidos impermeables equipados con un sistema de drenaje y una cisterna para recoger la escorrentía.</p> <p>15.4. Seleccionar una nave de almacenamiento con capacidad suficiente para conservar el estiércol sólido durante los períodos en que no es posible proceder a su aplicación al campo.</p> <p>15.5. Almacenar el estiércol sólido en montones en el campo, lejos de cursos de agua superficial y/o subterránea en los que pudiera producirse escorrentía.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC	NC	NC										
Reducción NH ₃ /CH ₄																	
NC	NC																
NC	NC																
NC	NC																
NC	NC																
NC	NC																
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Los efectos sobre la calidad del aire dependen de la aplicación conjunta de técnicas de la MTD 14. El correcto almacenamiento de estiércol sólido evita las contaminaciones de suelos y agua. Aplicable a estiércoles sólidos y a la fracción sólida obtenida de cualquiera de las técnicas de procesado in situ del estiércol (MTD 19). 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Granjas nuevas y viejas (puede ser más difícil en éstas últimas). 																
<p>MTD 16: Para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera, procedentes del almacenamiento de purines, la MTD consiste en utilizar una combinación de las técnicas:</p>																	
<p>16.1. Diseño y gestión adecuada de los depósitos de purines, utilizando una combinación de las técnicas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Reducir el coeficiente entre la superficie y el volumen del depósito de purines. Reducir la velocidad del viento y el intercambio de aire sobre la superficie del purín, disminuyendo el nivel de llenado del depósito. Reducir al mínimo la agitación del purín. <p>16.2. Cubrir el depósito del purín. Para ello puede aplicarse una de las técnicas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Cubierta rígida. Cubiertas flexibles. Cubiertas flotantes (paja, costra natural, cubiertas neumáticas, etc.). <p>16.3. Acidificación de los purines (a pH 6).</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>80%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>80%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>40%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>50%</td> <td>NC</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Sistema de referencia: Balsa sin cobertura.</p>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC	NC	NC	NC	NC	80%	NC	80%	NC	40%	NC	50%	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄																	
NC	NC																
NC	NC																
NC	NC																
80%	NC																
80%	NC																
40%	NC																
50%	NC																
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Aplicable a estiércoles líquidos (hasta 12 % de materia seca) (p. ej., purines), sólidos y a la fracción líquida obtenida de cualquiera de las técnicas de procesado del estiércol (MTD 19). La capacidad de almacenamiento debe ser adecuada para su correcta distribución al campo y/o procesado. El efecto sobre suelos y aguas depende de la aplicación conjunta de técnicas de la MTD 15. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Granjas nuevas y viejas (puede ser más difícil en éstas últimas). La aplicabilidad y el coste varían con el tipo de técnica y si se trata de una explotación de nueva construcción o ya existente. 																

MTD 17: Para reducir las emisiones de amoniaco a la atmósfera de una balsa de purines, la MTD consiste en utilizar una combinación de las técnicas que se indican a continuación:

- 17.1. Reducir al mínimo la agitación del purín.
- 17.2. Cubrir la balsa de purines con una cubierta flexible y/o flotante (láminas de plástico flexibles, materiales ligeros a granel, costra natural, paja).

Reducción NH ₃ /CH ₄	
NC	NC
40% 60%	NC

*Sistema de referencia: Balsa sin cobertura.

Efectos beneficiosos y colaterales:

- Aplicable a estiércoles líquidos (hasta 12 % de materia seca) (p. ej., purines), sólidos y a la fracción líquida obtenida de cualquiera de las técnicas de procesado del estiércol (MTD 19).
- El almacenamiento de estiércoles en forma líquida puede reducir las emisiones de metano y N₂O en distinta intensidad utilizando técnicas de costra natural (hasta un 40% de reducción media), dependiendo de la temperatura, el tiempo de retención y de pérdida de sólidos volátiles.
- Si la cobertura de almacenamiento es estanca y se realiza digestión anaeróbica, la reducción de las emisiones depende de la cantidad de recuperación de biogás, su combustión o su almacenamiento.
- El efecto sobre suelos y aguas depende de la aplicación conjunta de técnicas de la MTD 15.

Facilidad de implementación al vacuno:

- La aplicabilidad y el coste varían con el tipo de técnica y si se trata de una explotación de nueva construcción o ya existente.

MTD 18: Para evitar las emisiones al suelo y al agua generadas por la recogida y conducción de purines y por un depósito o una balsa de purines, la MTD consiste en utilizar una combinación de las siguientes técnicas:

- 18.1. Utilizar depósitos que puedan soportar tensiones mecánicas, químicas y térmicas.
- 18.2. Seleccionar una nave de almacenamiento con capacidad suficiente para conservar los purines durante los períodos en que no es posible proceder a su aplicación al campo.
- 18.3. Construir instalaciones y equipos a prueba de fugas para la recogida y transferencia de los purines (p. ej., fosas, canales, desagües, estaciones de bombeo).
- 18.4. Almacenar los purines en balsas con base y paredes impermeables, p. ej., con arcilla o un revestimiento plástico (o doble revestimiento).
- 18.5. Instalar un sistema de detección de fugas, p. ej., una geo membrana, una capa de drenaje y un sistema de conductos de desagüe.
- 18.6. Comprobar la integridad estructural de los depósitos al menos una vez al año.

Reducción NH ₃ /CH ₄	
NC	NC

Efectos beneficiosos y colaterales:

- El efecto sobre la calidad del aire depende de la aplicación conjunta de técnicas de la MTD 16-17.
- Aplicable a estiércoles líquidos (p. ej., purines) y a la fracción líquida obtenida de cualquiera de las técnicas de procesado in-situ del estiércol (MTD 19). La aplicabilidad y el coste varía con el tipo de técnica y si se trata de una explotación de nueva construcción o ya existente. La MTD se refiere a depósitos tipo tanques o silos de obra y balsas.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Granjas nuevas y viejas (puede ser más difícil en éstas últimas).
- La aplicabilidad y el coste varían con el tipo de técnica y si se trata de una explotación de nueva construcción o ya existente.

MTD 19: Aplicable solamente si el estiércol se trata in situ, para reducir las emisiones a la atmósfera y al agua de nitrógeno, fósforo, olores y microorganismos patógenos y facilitar el almacenamiento y/o aplicación al campo del estiércol. La MTD consiste en tratar el estiércol mediante una o varias de las técnicas que se indican a continuación:

- 19.1. Separación mecánica de los purines. Esto puede hacerse, p. ej. por medio de un separador de prensa de tornillo, un decantador centrífugo, coagulación-floculación, tamizado, filtros-prensa).
- 19.2. Digestión anaeróbica del estiércol en una instalación de biogás.
- 19.3. Utilización de un túnel de secado exterior del estiércol.
- 19.4. Digestión aeróbica (aireación) de purines.
- 19.5. Nitrificación-desnitrificación de purines.
- 19.6. Compostaje del estiércol sólido.

Reducción
NH₃/CH₄

NC NC

Efectos beneficiosos y colaterales:

- Aplicable a todo tipo de estiércoles.
- La digestión anaeróbica disminuye la emisión de metano, dependiendo de la cantidad de recuperación de biogás, su combustión y/o almacenamiento. La digestión aeróbica disminuye al mínimo (prácticamente 0) las emisiones de metano, siempre y cuando se gestionen correctamente los sedimentos.
- El compostaje del estiércol sólido disminuye las emisiones de metano en un 99,5% independientemente de la temperatura.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Granjas nuevas y viejas (19.2 y 19.3 pueden ser más difíciles en éstas últimas).
- La técnica 19.3 puede fomentar las emisiones de NH₃ y olores si no se toman medidas.
- La técnica 19.5 no está permitida para las explotaciones nuevas ni para las ampliaciones de las existentes.

Cabe destacar que, aunque en la guía del MAPAMA se afirme que la MTD 19 relacionada con el tratamiento de las deyecciones ganaderas no afectan a las emisiones atmosféricas y en las aguas, éstas sí suelen tener un efecto reductor sobre las emisiones de NH₃ si se realizan de forma correcta, en la medida que se produce la recuperación o eliminación del nitrógeno. En cuanto a las emisiones de GEI, éstas dependerán por un lado del balance entre la energía consumida y generada (en el caso de la digestión anaerobia), y de las emisiones de metano y óxido nitroso procedentes de la descomposición descontrolada de las deyecciones en condiciones de anaerobiosis.



3.1.6. Aplicación del estiércol en campo

El esparcimiento de purines y del estiércol, así como sus diferentes fracciones, al suelo como fertilizantes orgánicos es una práctica que se ha aplicado ancestralmente. El objetivo es el de suplementar los nutrientes, fundamentalmente NPK, que son extraídos por los cultivos. Es fundamental que estas aplicaciones se hagan en tiempo, dosis, formato, y forma adecuadas para cubrir las necesidades de los cultivos para que los excedentes no se acumulen en el suelo o se lixivien hacia las aguas superficiales o subterráneas, para su consideración como MTD (Tabla 3.8). Prácticas que han sido muy extendidas, como la aplicación de los purines en abanico, están siendo progresivamente prohibidas (de acuerdo con el Real Decreto 980/2017 por el que se modifican los Reales Decretos 1075/2014, 1076/2014, 1077/2014 y 1078/2014, todos ellos de 19 de diciembre, dictados para la aplicación en España de la Política Agrícola Común, incorporando al ordenamiento jurídico la nueva Reglamentación de la Unión Europea) por causa de las elevadas emisiones sobre el medio ambiente de NH_3 , malos olores, y microorganismos que generan.

Las deyecciones pueden aplicarse directamente, sin procesar, o pueden haber sido previamente transformadas en productos que tienen propiedades fertilizantes más adecuadas (p. ej. el compost) y/o que son más fáciles de transportar de la granja al campo (concentración de los nutrientes y eliminación del agua). Las técnicas para disminuir las emisiones durante la aplicación de las deyecciones al campo suelen clasificarse en dos categorías:

- Técnicas para disminuir las emisiones que se producen durante el esparcimiento: Afectan fundamentalmente a las emisiones a la atmósfera (NH_3 y malos olores), y ruido por parte de la maquinaria de aplicación.
- Técnicas para disminuir las emisiones que se producen tras el esparcimiento: Afectan principalmente al suelo y a las aguas superficiales y subterráneas (contaminación por nitratos) y, en menor medida, a la atmósfera.



Tabla 3.8. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, basadas en la aplicación al campo de las deyecciones. Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), neutro (recuadro gris).

<p>MTD 20: Para evitar o, cuando no sea posible, reducir las emisiones al suelo al agua y a la atmósfera de nitrógeno, fósforo y microorganismos patógenos generadas por la aplicación al campo del estiércol, se utilizarán todas las técnicas que se indican a continuación:</p>		<p>Reducción NH₃/CH₄</p>
<p>20.1. Analizar el terreno donde va a esparcirse el estiércol para determinar los riesgos de escorrentía, teniendo en cuenta el tipo y las condiciones del suelo y la pendiente del terreno, las condiciones climáticas, el riego y el drenaje del terreno, la rotación de cultivos, los recursos hídricos y las zonas de aguas protegidas.</p> <p>20.2. Mantener una distancia suficiente entre los terrenos donde se esparce el estiércol (dejando una franja de tierra sin tratar) y las zonas en las que exista el riesgo de escorrentía hacia cursos de agua, manantiales, pozos, etc. y/o las fincas adyacentes (lindes incluidas).</p> <p>20.3. No esparcir el estiércol cuando pueda haber un riesgo significativo de escorrentía. En particular, no se aplica estiércol cuando el terreno está inundado, helado o cubierto de nieve, las condiciones del suelo (p. ej., saturación de agua o compactación), en combinación con la pendiente del terreno y/o su drenaje, sean tales que el riesgo de escorrentía o de drenaje sea alto y sea previsible que se produzca escorrentía por la posibilidad de lluvia.</p> <p>20.4. Adaptar la dosis de abonado teniendo en cuenta el contenido de nitrógeno y de fósforo del estiércol y las características del suelo (p. e. contenido de nutrientes), los requisitos de los cultivos de temporada y las condiciones meteorológicas o del terreno que pudieran provocar escorrentías.</p> <p>20.5. Sincronizar la aplicación al campo del estiércol en función de la demanda de nutrientes de los cultivos.</p> <p>20.6. Revisar las zonas diseminadas a intervalos regulares para comprobar que no haya signos de escorrentía y responder de forma adecuada cuando sea necesario.</p> <p>20.7. Asegurarse de que haya un acceso adecuado al estercolero y que la carga del estiércol pueda hacerse de forma eficaz, sin derrames.</p> <p>20.8. Comprobar que la maquinaria utilizada para la aplicación al campo del estiércol está en buen estado de funcionamiento y ajustada para la aplicación de la dosis adecuada.</p>	<p>NC NC</p>	
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Aplicable a todo tipo de estiércoles. • Técnicas diseñadas específicamente para prevenir la contaminación de suelos y aguas. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Granjas nuevas y viejas. 	



MTD 21: Para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera generadas por la aplicación al campo de purines, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las técnicas que se indican a continuación:

- 21.1. Dilución de los purines (hasta 2-4% de materia seca), seguida de técnicas tales como un sistema de riego de baja presión.
- 21.2. Esparcidor en bandas, aplicando una de las técnicas de tubos colgantes o zapatas colgantes.
- 21.3. Inyección superficial (surco abierto).
- 21.4. Inyección profunda (surco cerrado).
- 21.5. Acidificación de los purines.

Reducción NH ₃ /CH ₄	
30%	NC
30%	NC
60%	NC
70%	NC
80%	NC
90%	NC
50%	NC

*Sistema de referencia: Distribución en abanico.

Efectos beneficiosos y colaterales:

- Aplicable a todo tipo de estiércoles.
- Técnicas diseñadas específicamente para prevenir la contaminación de suelos y aguas.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Apta para granjas nuevas y viejas.

MTD 22: Para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera, generadas por la aplicación al campo del estiércol, la MTD consiste en:

- 22.1. La incorporación de estiércol sobre la superficie del terreno puede realizarse bien mediante labrado bien utilizando otra maquinaria de cultivo, como el cultivador de rejas o discos en función del tipo y las condiciones del suelo. El estiércol queda completamente mezclado con el suelo o enterrado.
- 22.2. La aplicación al campo del estiércol sólido se realiza mediante un esparcidor adecuado (p. ej., esparcidor rotatorio, de descarga posterior, de doble función, etc.). La aplicación al campo de purines se lleva a cabo según la MTD 21.

Reducción NH ₃ /CH ₄	
NC	NC

Efectos beneficiosos y colaterales:

- Aplicable a estiércoles líquidos y sólidos.
- Técnicas específicas para disminuir las emisiones en distinta intensidad en comparación con la técnica de abanico sin enterrado. Disminuye emisiones de amoníaco en un 90% (inmediato y volteado), 70% (inmediato con discos) o 45-65% (4 horas).
- En suelos con excesivo drenaje se puede favorecer la lixiviación de nitrógeno y fósforo.
- Las condiciones de humedad del suelo y el enterrado favorecen las emisiones de N₂O.
- La eficacia del método depende de la aplicación, enterrado (volteado con disco) y las condiciones meteorológicas entre la aplicación y la incorporación.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Apta para granjas nuevas y viejas.
- No aplicable a pastos, a menos que se estén regenerando (resiembrando) o transformando en tierras de cultivo, ni tampoco al laboreo de conservación.
- No aplicable en cultivos que puedan resultar dañados por la aplicación de estiércol.

3.1.7. Medidas de estimación y supervisión

La implementación de las MTD descritas anteriormente debe ir acompañada del cálculo o estimación lo más precisa posible de diferentes parámetros que influyen en su eficiencia, como pueden ser los consumos de agua, energía, y piensos, producción de deyecciones, etc. Por otra parte, la implementación de mecanismos de supervisión tienen por objetivo asegurar que las instalaciones de la explotación funcionan según lo previsto, detectar posibles averías y operaciones involuntarias, y detectar problemas en la implementación de medidas correctoras. De esta forma, el seguimiento adecuado de los parámetros de la explotación y de la supervisión de las actividades se considera una MTD en sí misma, en la medida que garantiza la eficiencia de las otras MTD (Tabla 3.9).

Para las estimaciones o cálculos, se deberán tener en cuenta el cumplimiento de los criterios establecidos por los organismos internacionales, tanto en lo que respecta a las emisiones producidas como a las reducciones generadas como consecuencia de la utilización de MTD (que deberán ser las reconocidas por los correspondientes organismos). Si se emplean otras MTD, deberán justificarse ante las autoridades competentes las reducciones obtenidas, presentando para ello la debida justificación técnica.

Tabla 3.9. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, basadas en la implementación de medidas de estimación y supervisión. Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), neutro (recuadro gris).

<p>MTD 23: Para reducir las emisiones de amoníaco generadas durante el proceso completo de producción para la cría de cerdos (cerdas reproductoras incluidas) o de aves de corral, la MTD consiste en estimar o calcular la reducción de las emisiones de amoníaco generadas en todo el proceso de producción utilizando las MTD aplicadas en la explotación:</p>					
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">Reducción NH₃/CH₄</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">NC</td> <td style="text-align: center;">NC</td> </tr> </table>		Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄					
NC	NC				
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> No tiene ningún efecto sobre el suelo y las aguas, la calidad del aire, ni en las emisiones de GEI. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Esta MTD ha sido considerada únicamente para el porcino y las aves. Se podrá optar por la estimación o cálculo mediante medios propios o ajenos o, incluso, por la medida directa en la explotación. Incluirá todas las actuaciones llevadas a cabo en la explotación, incluida la gestión de las deyecciones, tanto si se realiza con medios propios como ajenos. 				

MTD 24: Supervisar el nitrógeno total y el fósforo total excretados presentes en el estiércol, utilizando una de las técnicas siguientes:

- 24.1. Cálculo aplicando un balance de masas de nitrógeno y fósforo basado en la ración, el contenido de proteína bruta en la dieta, el fósforo total y el rendimiento de los animales.
- 24.2. Análisis del estiércol, determinando el contenido de nitrógeno y de fósforo total.

Reducción
NH₃/CH₄

NC NC

Efectos beneficiosos y colaterales:

- No tiene ningún efecto sobre el suelo y las aguas, la calidad del aire, ni en las emisiones de GEI.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Esta MTD ha sido considerada únicamente para el porcino y las aves.
- Deberá llevarse a cabo con una frecuencia anual. Se podrá optar por la estimación o cálculo mediante medios propios o ajenos o, incluso, por la medida directa en el estiércol. Para las estimaciones o cálculos, se deberán tener en cuenta el cumplimiento de los criterios técnicos establecidos por los organismos científicos internacionales, tanto en lo que respecta al balance de masas como al análisis del estiércol.

MTD 25: Supervisar las emisiones de amoniaco a la atmósfera utilizando una de las técnicas siguientes:

- 25.1. Aplicar un balance de masas basado en la excreción y del nitrógeno total (o del nitrógeno amoniacal total) presente en cada etapa de la gestión del estiércol (Una vez al año por categoría de animales de la explotación).
- 25.2. Cálculo mediante la medición de la concentración de amoniaco y el índice de ventilación, aplicando métodos normalizados ISO, nacionales o internacionales u otros métodos que garanticen la obtención de datos con una calidad científica equivalente (Cada vez que se produzcan cambios significativos en el tipo de ganado criado en la explotación y/o el sistema de alojamiento.)
- 25.3. Cálculo utilizando factores de emisión (una vez al año, por categoría de animales de la explotación).

Reducción
NH₃/CH₄

NC NC

Efectos beneficiosos y colaterales:

- No tiene ningún efecto sobre el suelo y las aguas, la calidad del aire, ni en las emisiones de GEI.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Esta MTD ha sido considerada únicamente para el porcino y las aves.
- Se podrá optar por la estimación o cálculo mediante medios propios o ajenos o, incluso, por la medida directa. Para las estimaciones o cálculos, se deberán tener en cuenta el cumplimiento de los criterios técnicos establecidos por los organismos científicos internacionales, tanto en lo que respecta al balance de masas como al análisis del amoniaco o la estimación mediante factores de emisión.

<p>MTD 26: Supervisar periódicamente las emisiones de olores. Las emisiones de olores pueden supervisarse mediante:</p>					
<p>26.1. Normas EN (p. ej., olfatometría dinámica con arreglo a la norma EN 13725 para determinar la concentración de olor).</p> <p>26.2. Cuando se apliquen métodos alternativos para los que no se disponga de normas EN (p. ej. estimación/medición de la exposición a los olores, estimación de su impacto), pueden aplicarse normas ISO, normas nacionales u otras normas internacionales estandarizadas que garanticen la obtención de datos de calidad científica equivalente.</p>	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄					
NC	NC				
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> Los olores por sí mismos no están incluidos entre los gases que pueden afectar a la sanidad humana, pero sí pueden resultar molestos para la población. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Esta MTD ha sido considerada únicamente para el porcino y las aves. Sólo es aplicable en los casos en que se prevén molestias debidas al olor en receptores sensibles y/o se haya confirmado la existencia de tales molestias. Las medidas para reducir los olores se detallan en las MTD 12 y 13. 				
<p>MTD 27: Supervisar, anualmente, las emisiones de polvo de cada alojamiento para animales, utilizando una de las técnicas siguientes:</p>					
<p>27.1. Verificación Cálculo mediante la determinación de la concentración de polvo y la tasa de ventilación aplicando métodos normalizados EN u otros métodos (ISO, nacionales o internacionales) que garanticen la obtención de datos con una calidad científica equivalente.</p> <p>27.2. Cálculo, utilizando factores de emisión.</p>	<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC
Reducción NH ₃ /CH ₄					
NC	NC				
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> La técnica no influye, en sí misma, sobre la calidad del aire, solo sobre su control. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> Esta MTD ha sido considerada únicamente para el porcino y las aves. Las medidas para reducir las emisiones de olores se detallan en las MTD 12 y 13, para reducir las emisiones de polvo en la MTD 11, y para reducir las de amoníaco en las MTD 30, 31, 32, 33 y 34. 				

MTD 28: Supervisar las emisiones de amoniaco, polvo y/u olores de cada alojamiento animal equipado con un sistema de depuración del aire, utilizando todas las técnicas siguientes:

- 28.1. Verificación del funcionamiento del sistema de depuración del aire, al menos una vez, mediante la medición de las emisiones de amoniaco, olores y/o polvo en las condiciones que se dan en la explotación en la práctica, de acuerdo con un protocolo de medición prescrito y utilizando métodos normalizados EN u otros métodos (ISO, nacionales o internacionales) que garanticen la obtención de datos con una calidad científica equivalente. No es aplicable cuando el sistema de depuración de aire ha sido verificado en combinación con un sistema de alojamiento y unas condiciones de funcionamiento similares.
- 28.2. Control, a diario, del funcionamiento efectivo del sistema de depuración de aire (p. ej., registrando de forma continua parámetros operativos o utilizando sistemas de alarma).

Reducción
NH₃/CH₄

NC NC

Efectos beneficiosos y colaterales:

- La técnica no influye, en sí misma, sobre la calidad del aire, solo sobre su control.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Esta MTD ha sido considerada únicamente para el porcino y las aves.
- Las medidas para reducir las emisiones de olores se detallan en las MTD 12 y 13, para reducir las emisiones de polvo en la MTD 11, y para reducir las de amoniaco en las MTD 30, 31, 32, 33 y 34.

MTD 29: La MTD consiste en supervisar, al menos una vez al año, los siguientes parámetros del proceso:

- 29.1. Consumo de agua.
- 29.2. Consumo de energía eléctrica.
- 29.3. Consumo de combustible.
- 29.4. Número de entradas y salidas de animales, incluidos los nacimientos y muertes, cuando proceda.
- 29.5. Consumo de pienso.
- 29.6. Generación de estiércol.

Reducción
NH₃/CH₄

NC NC

Efectos beneficiosos y colaterales:

- La supervisión del consumo de energía eléctrica, combustibles, entradas y salidas de animales, consumo de pienso y generación de estiércol es esencial para el cálculo de la huella de carbono del proceso y su repercusión en las emisiones de CO₂ asociadas a la actividad.
- Los distintos parámetros pueden supervisarse y justificarse mediante contadores adecuados o facturas. Si es posible, deberán aplicarse para cada proceso por separado (p. ej., separar el agua de limpieza de la de bebida, pienso por categorías, energía eléctrica o combustible por actividades).

Facilidad de implementación al vacuno:

- Esta MTD ha sido considerada únicamente para el porcino y las aves.

3.1.8. Control de las emisiones de amoníaco en el alojamiento del ganado

Las medidas recogidas en este apartado hacen referencia a la reducción de las emisiones de NH₃ en el interior de las naves de la explotación. Además de las cuestiones de impacto ambiental de este gas mencionadas en la introducción de este informe, es importante tener en cuenta que este gas también afecta negativamente a la salubridad, bienestar, y en definitiva en la productividad de los animales en la granja, así como en la seguridad de los trabajadores. Esta cuestión es, por tanto, de vital importancia y por este motivo se han desarrollado un abanico importante de técnicas que han sido consideradas como MTD en el control de las emisiones de NH₃ (Tabla 3.10).

Tabla 3.10. MTD para la producción porcina y avícola, potencialmente aplicables al vacuno de leche, basadas en el control de las emisiones de amoníaco en la granja. Los niveles de reducción de NH₃ y CH₄, cuando no son cuantificados (NC) se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde), neutro (recuadro gris).

MTD 30: Para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera de cada nave para cerdos, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las siguientes técnicas:		Reducción NH ₃ /CH ₄
30.1. Una de las técnicas siguientes, en las que se aplica uno o una combinación de los principios que se indican a continuación: (i) reducir la superficie emisora de amoníaco, (ii) aumentar la frecuencia(*) con la que se retiran los purines (estiércol) al almacén exterior, (iii) separar la orina de las heces, y (iv) mantener la cama limpia y seca.		
- Una fosa profunda (cuando el suelo está total o parcialmente emparrillado), únicamente si se utiliza en combinación con otras medidas de mitigación, p. ej., una combinación de técnicas de gestión nutricional, un sistema de depuración del aire, reducción del pH de los purines, refrigeración de los purines.		NC NC
- Un sistema de vacío para la eliminación frecuente(*) de los purines (cuando el suelo está total o parcialmente emparrillado).		25% NC
- Fosa de purín con paredes inclinadas (cuando el suelo está total o parcialmente emparrillado).		45% 60% NC
- Arrobadera para la eliminación frecuente(*) de los purines (cuando el suelo está total o parcialmente emparrillado).		70% NC
- Eliminación frecuente(*) de los purines mediante lavado a chorro (cuando el suelo está total o parcialmente emparrillado).		40% 65% NC
- Fosa reducida de purín (cuando el suelo está parcialmente emparrillado). (cerdos cebo y cerdas en apareamiento y gestación).		15% 35% NC
- Sistema de cama de paja (cuando el suelo es de hormigón sólido). (cerdos cebo, lechones destetados y cerdas en apareamiento y gestación).		NC NC
- Alojamiento en casetas/barracas (cuando el suelo está parcialmente emparrillado). (cerdos cebo, lechones destetados y cerdas en apareamiento y gestación).		NC NC
- Sistema de sustitución de paja (cuando el suelo es de hormigón sólido). (cerdos cebo, lechones destetados).		NC NC
- Suelo convexo y canales de agua y purín separados (en el caso de corrales parcialmente emparrillados). (cerdos cebo, lechones destetados).		50% NC
- Corrales con cama con generación combinada de estiércol (purín y estiércol sólido). (cerdas en lactación).		NC NC
- Casetas de descanso y alimentación sobre suelo sólido (en el caso de corrales con cama). (cerdas en apareamiento y gestantes).		NC NC
- Colector de estiércol (cuando el suelo está total o parcialmente emparrillado). (Cerdas en lactación).		65% NC

(*) Para que la técnica sea eficaz en la reducción de amoníaco, la retirada se hará dos veces a la semana.

<p>30.2. Refrigeración de los purines.</p> <p>30.3. Utilización de un sistema de depuración de aire:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Depurador húmedo con ácido, - Sistema de depuración de aire de dos o tres fases - Biolavador (o filtro biopercolador). <p>30.4. Acidificación de purines</p> <p>30.5. Utilización de bolas flotantes en la fosa de purín</p>	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">45%</td> <td style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">70%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">90%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">60%</td> <td style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">25%</td> <td style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		45%	NC	Reducción NH ₃ /CH ₄		70%	NC	90%	Reducción NH ₃ /CH ₄		60%	NC	Reducción NH ₃ /CH ₄		25%	NC										
Reducción NH ₃ /CH ₄																												
45%	NC																											
Reducción NH ₃ /CH ₄																												
70%	NC																											
90%																												
Reducción NH ₃ /CH ₄																												
60%	NC																											
Reducción NH ₃ /CH ₄																												
25%	NC																											
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficaz para reducir las emisiones de amoníaco. • Para disminuir los GEI es eficaz la retirada frecuente del purín y las camas profundas almacenados en el alojamiento de los animales. Las reducciones son muy significativas si el periodo de retirada es inferior a un mes y la temperatura ambiente es baja. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estas MTD han sido consideradas únicamente para la producción porcina. 																											
<p>MTD 31: Para reducir las emisiones de amoniaco a la atmósfera en cada nave de gallinas ponedoras, reproductores de pollos de engorde o pollitas, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las siguientes técnicas:</p>																												
<p>31.1. Evacuación del estiércol mediante cintas (en caso de sistemas de jaulas acondicionadas o no acondicionadas), como mínimo:</p> <ul style="list-style-type: none"> - una vez por semana con secado por aire. - dos veces por semana sin secado por aire. <p>31.2. En el caso de los sistemas sin jaulas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Un sistema de ventilación forzada y evacuado poco frecuente del estiércol (en caso de corrales con yacija profunda con fosa de estiércol), únicamente si se utiliza en combinación con otra medida de atenuación (p. ej.: estiércol con alto contenido de materia seca, o un sistema de depuración del aire). - Una cinta de estiércol o arrobadera (en caso de corrales de yacija profunda con fosa de estiércol). - Deseccación del estiércol por aire forzado a través de tubos (en caso de corrales con yacija profunda con fosa de estiércol). - Deseccación del estiércol por aire forzado a través de suelo perforado (en caso de corrales con yacija profunda con fosa de estiércol). - Con cintas de estiércol (en el caso de sistemas de aviario). - Deseccación forzada de la yacija utilizando aire interior (en el caso de suelos con yacija profunda). 	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">30%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">45%</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">30%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">40%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">NC</td> <td style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">70%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">85%</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">40%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">60%</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">40%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">60%</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">70%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">95%</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">40%</td> <td rowspan="2" style="background-color: #D3D3D3;">NC</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #90EE90;">60%</td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		30%	NC	45%	30%	NC	40%	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC	70%	NC	85%	40%	NC	60%	40%	NC	60%	70%	NC	95%	40%	NC	60%
Reducción NH ₃ /CH ₄																												
30%	NC																											
45%																												
30%	NC																											
40%																												
Reducción NH ₃ /CH ₄																												
NC	NC																											
70%	NC																											
85%																												
40%	NC																											
60%																												
40%	NC																											
60%																												
70%	NC																											
95%																												
40%	NC																											
60%																												

<p>31.3. Utilización de un sistema de depuración de aire:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Depurador húmedo con ácido, - Sistema de depuración de aire de dos o tres fases - Biolavador (o filtro biopercolador). 	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>70%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>90%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		70%	NC	90%																	
Reducción NH ₃ /CH ₄																							
70%	NC																						
90%																							
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficaz para reducir las emisiones de amoníaco. • El estiércol de ave de corral con yacija o sin yacija tiene el mismo comportamiento en cuanto a la producción de GEI. La aireación del estiércol disminuye prácticamente a cero las emisiones de GEI. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estas MTD han sido consideradas únicamente para la producción de aves. 																						
<p>MTD 32: Para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera en cada nave de pollos de engorde, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las siguientes técnicas:</p>																							
<p>32.1. Ventilación forzada y un sistema de bebederos sin pérdidas de agua (en el caso de suelos sólidos con yacija profunda).</p> <p>32.2. Deseccación forzada de la yacija utilizando aire interior (en el caso de suelos con yacija profunda).</p> <p>32.3. Ventilación natural y sistema de bebederos sin pérdidas de agua (en el caso de suelos sólidos con yacija profunda).</p> <p>32.4. Yacija sobre cinta de estiércol y desecación por aire forzado (en sistemas de suelo de pisos).</p> <p>32.5. Suelos con yacija, calentados y refrigerados (sistema Combideck).</p> <p>32.6. Utilización de un sistema de depuración de aire.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>40%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>60%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>40%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>60%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>20%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>30%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>70%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>90%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		40%	NC	60%		40%	NC	60%		20%	NC	30%		NC	NC	NC	NC	70%	NC	90%	
Reducción NH ₃ /CH ₄																							
40%	NC																						
60%																							
40%	NC																						
60%																							
20%	NC																						
30%																							
NC	NC																						
NC	NC																						
70%	NC																						
90%																							
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficaz para reducir las emisiones de amoníaco. • El estiércol de ave de corral con yacija o sin yacija tiene el mismo comportamiento desde el punto de vista de producción de GEI. La aireación del estiércol disminuye prácticamente a cero las emisiones de GEI. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estas MTD han sido consideradas únicamente para la producción de aves. 																						
<p>MTD 33: Para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera en cada nave de patos, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las técnicas siguientes:</p>																							
<p>33.1. Una de las técnicas siguientes con ventilación natural o forzada:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Incorporación frecuente de cama (en el caso de suelos sólidos con yacija profunda o yacija profunda combinada con suelo emparrillado). - Evacuación frecuente del estiércol (cuando el suelo está totalmente emparrillado). <p>33.2. Utilización de un sistema de depuración de aire.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Reducción NH₃/CH₄</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>NC</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>70%</td> <td>NC</td> </tr> <tr> <td>90%</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Reducción NH ₃ /CH ₄		NC	NC	NC	NC	70%	NC	90%													
Reducción NH ₃ /CH ₄																							
NC	NC																						
NC	NC																						
70%	NC																						
90%																							
<p>Efectos beneficiosos y colaterales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eficaz para reducir las emisiones de amoníaco. • El estiércol de ave de corral con yacija o sin yacija tiene el mismo comportamiento en cuanto a la producción de GEI. La aireación del estiércol disminuye prácticamente a cero las emisiones de GEI. 	<p>Facilidad de implementación al vacuno:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estas MTD han sido consideradas únicamente para la producción de aves. 																						

MTD 34: Para reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera en cada nave de pavos, la MTD consiste en utilizar una o una combinación de las siguientes técnicas:

- 34.1. Ventilación forzada y un sistema de bebederos sin pérdidas de agua (en el caso de suelos sólidos con yacija profunda).
- 34.2. Utilización de un sistema de depuración de aire.

Reducción NH ₃ /CH ₄	
NC	NC
70% 90%	NC

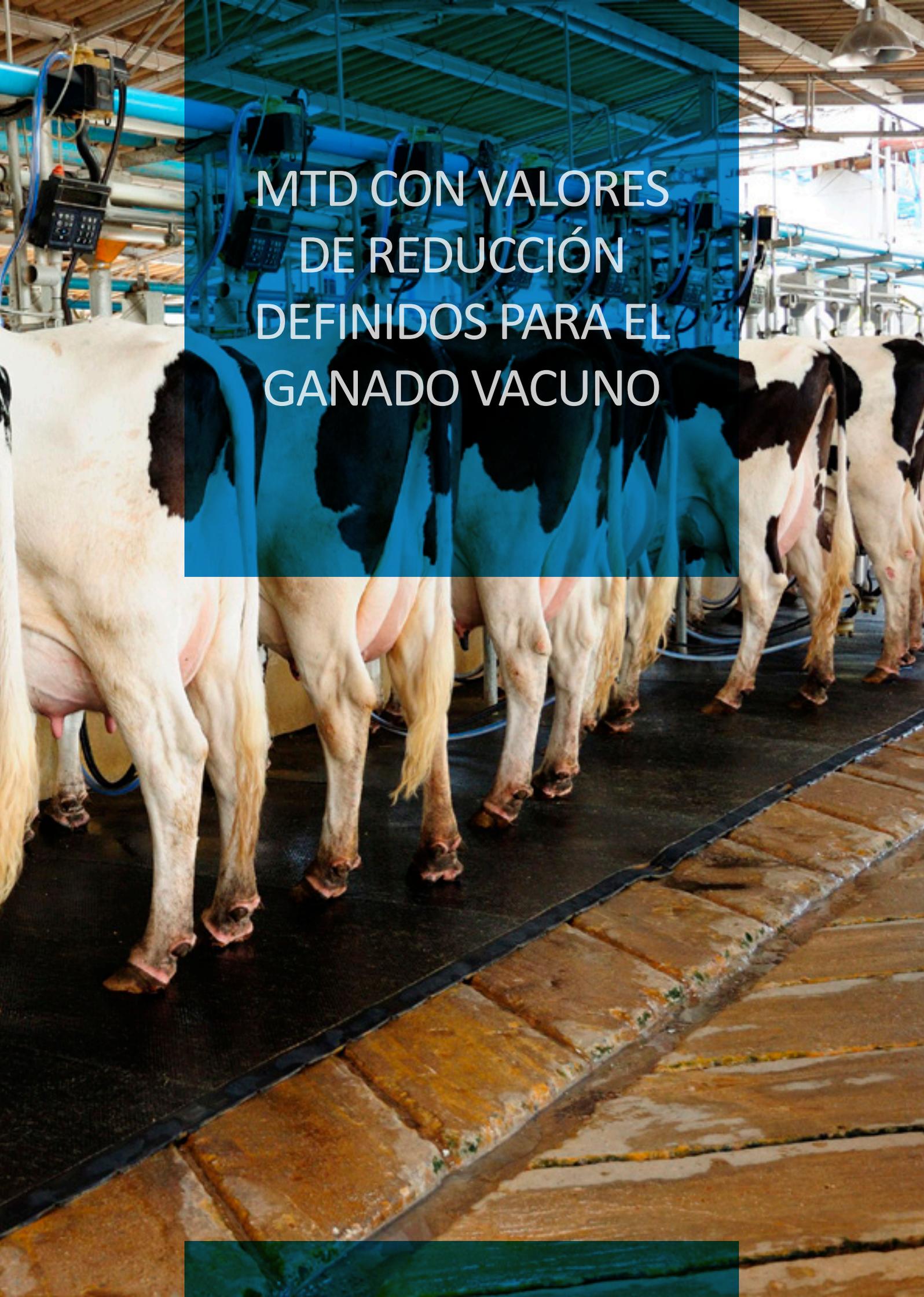
Efectos beneficiosos y colaterales:

- Eficaz para reducir las emisiones de amoníaco.
- El estiércol de ave de corral con yacija o sin yacija tiene el mismo comportamiento desde el punto de vista de producción de GEI. La aireación del estiércol disminuye prácticamente a cero las emisiones de GEI.

Facilidad de implementación al vacuno:

- Estas MTD han sido consideradas únicamente para la producción de aves.





MTD CON VALORES
DE REDUCCIÓN
DEFINIDOS PARA EL
GANADO VACUNO

4. MTD CON VALORES DE REDUCCIÓN DEFINIDOS PARA EL GANADO VACUNO

En esta sección se ha compilado un conjunto de MTD específicas propuestas y descritas para el sector del vacuno, en las que se ha cuantificado su efectividad sobre la reducción de las emisiones contaminantes, en relación con un sistema de referencia equivalente que no incorpore la MTD propuesta. Los valores de reducción propuestos se basan mayoritariamente en resultados de pruebas experimentales publicadas en la bibliografía científica, que a menudo ha sido trasladada a diferentes guías técnicas nacionales e internacionales. Para distinguir las MTD propuestas en el presente informe para el vacuno de las definidas previamente en el BREF para los sectores porcino y avícola, éstas se citan en adelante como “MTD – Vacuno” y “MTD – porcino/avícola”, respectivamente.

4.1. Medidas relacionadas con la alimentación de los animales

Los rumiantes son herbívoros que han desarrollado un estómago especializado (rumen), donde una población microbiana compleja y diversa descompone y fermenta el alimento ingerido. El CH₄ y el CO₂ son subproductos naturales de la fermentación microbiana de los carbohidratos y, en menor medida, los aminoácidos en el rumen y el intestino grueso. El CH₄ se produce en condiciones estrictamente anaeróbicas por arqueas metanogénicas altamente especializadas. Además, una gran parte de las proteínas de la dieta y los compuestos nitrogenados no proteicos que ingresan en el rumen son degradados por microorganismos ruminales a péptidos, aminoácidos, y finalmente a NH₃ (Hristov and Jouany 2005). Estos compuestos son utilizados por las bacterias del rumen para sintetizar nuevas proteínas, pero el NH₃ también se absorbe en el torrente sanguíneo del animal, a través de la pared del rumen u otras secciones del tracto gastrointestinal (Reynolds and Kristensen 2008) donde se convierte en urea en el hígado. El exceso se elimina en la orina, que es la principal fuente de NH₃ volatilizado del estiércol del ganado (Bussink and Oenema 1998). Consecuentemente, la composición y la ingesta de la dieta son los principales factores que afectan a las emisiones de NH₃ y CH₄ por parte de los rumiantes. Las estrategias basadas en la gestión nutricional pretenden adaptar la composición de los piensos y raciones al máximo a los requisitos de los animales en distintas etapas de producción, reduciendo en consecuencia la cantidad de nutrientes, principalmente el N pero también el P, derivados de los alimentos no digeridos y catabolizados, que son finalmente excretados. Esta adaptación se puede conseguir con el ajuste del aporte de estos nutrientes, generalmente de la proteína cruda, o mediante la suplementación con aditivos que mejoran la digestibilidad o que actúan directamente sobre las emisiones de las deyecciones generadas. Por otra parte, existe una relación clara entre la digestibilidad de los piensos, la ingesta de piensos concentrados, bajos en fibra y/o ricos en almidón, y un patrón de fermentación ruminal que resulta en una mayor producción de CH₄.

4.1.1. Ajuste del aporte nutricional a las necesidades fisiológicas

Los animales jóvenes y los animales altamente productivos requieren más concentración de proteínas que los animales de más edad. De acuerdo con la guía técnica de la UNECE (2014b), reducir el contenido de proteínas en la dieta para que coincida más ajustadamente con las necesidades de los animales es una de las formas más rentables y efectivas de reducir las emisiones de NH₃ y N₂O. Por cada centésima de reducción en el contenido proteico de la alimentación de los animales, las emisiones de NH₃ procedentes del alojamiento y del almacenamiento y la aplicación del estiércol descienden entre un 5% y un 15%, dependiendo del pH de la orina y las heces. Las estrategias de alimentación optimizada del ganado se implementan a través de a) alimentación por fases, b) alimentación baja en proteínas, con o sin suplementación de aminoácidos sintéticos específicos y proteína de derivación ruminal, y c) aumento del contenido de polisacáridos sin almidón del pienso (MTD 1 - Vacuno; Tabla 4.1).

Tabla 4.1. MTD con valores de reducción de las emisiones de NH₃ y GEI conocidos para el ganado vacuno relacionadas con la gestión nutricional.

<p>TIPOLOGÍA DE MTD: CONTROL DEL APORTE NUTRICIONAL NITROGENADO CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.1 – MANEJO NUTRICIONAL CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: GESTIÓN NUTRICIONAL</p>
<p>1. En explotaciones intensivas de vacuno, implementar una estrategia nutricional orientada a reducir el nitrógeno excretado, satisfaciendo las necesidades de los animales. Este objetivo se puede conseguir por vías distintas, siendo algunas de ellas ya aceptadas como MTD en el porcino y las aves de corral (MTD 3 – porcino/avícola; Tabla 3.3), pero que también han demostrado su eficiencia para el vacuno:</p> <p>a) Alimentación por fases: La alimentación por fases es una medida eficaz y económicamente atractiva incluso si requiere instalaciones adicionales. Los animales jóvenes y los altamente productivos requieren más concentración de proteínas que los animales más viejos. La alimentación por fases se puede aplicar de tal manera que el contenido de proteína cruda (PC; medida en base al nitrógeno total) de las dietas para el vacuno lácteo se reduce gradualmente desde el 16% de la MS, justo antes del parto y al comienzo de la lactancia, hasta por debajo del 14% al final de la lactancia y la mayor parte del período seco.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de NH₃: Un 17% por cada punto porcentual de reducción de la PC (Sajeev et al. 2018). - Costes: Entre -2€ y +2 € por kg de N ahorrado (UNECE 2014b); requiere una inversión inicial (adaptación de equipos) pero conlleva un beneficio económico por el ahorro de proteína (REMEDIA 2020). <p>b) Reducción del contenido de proteínas de la dieta: El contenido medio de la PC de las dietas para el ganado lechero no debe exceder del 15% al 16% de la materia seca (MS) (Broderick 2003, Swensson 2003). Para ganado vacuno mayor de 6 años meses este valor podría reducirse aún más, hasta el 12%. Algunos autores recomiendan disminuir la PC en la dieta al 14% (frente al 17–18% aplicados habitualmente) o limitar de forma equivalente la ingesta, de modo que se mantenga la producción de leche.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de NH₃: Un 17% por cada punto porcentual de reducción de la PC (Sajeev et al. 2018), o hasta un 70% en total (Ndegwa et al. 2008, Pellerin et al. 2013). - Costes: Entre -2€ y +2 € por kg de N ahorrado (UNECE 2014b); requiere una inversión inicial (adaptación de equipos) pero conlleva un beneficio económico por el ahorro de proteína (REMEDIA 2020). <p>c) Aumento del contenido de polisacáridos sin almidón del pienso: Las dietas que proporcionan una mayor concentración de fibra ruminal fermentable, en comparación con las que contienen niveles más altos de almidón fermentable en el rumen, mejoran la transferencia de amoníaco ruminal y nitrógeno microbiano a la proteína de la leche.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de NH₃: Entre un 13% y un 14% de recuperación de las pérdidas de amoníaco ruminal en la proteína de la leche (Hristov and Ropp 2003). - Costes: Depende del tipo de animal y de los precios de los concentrados (REMEDIA 2020).

2. En explotaciones intensivas de vacuno, implementar una estrategia nutricional orientada a reducir la emisión de gases de efecto invernadero. Este objetivo se puede conseguir por vías distintas, que han sido propuestas como buenas prácticas en diferentes documentos técnicos y guías relacionadas con los rumiantes:

a) Mejora de la dieta mediante mayor aporte de concentrado o forraje de calidad: El incremento del concentrado reduce las emisiones al favorecer la fermentación propiónica, de modo que el propionato actúa como sumidero de hidrógeno evitando que se derive hacia la producción de CH₄. La alimentación con forraje de buena calidad permite incrementar la digestibilidad del alimento y alcanzar mayores rendimientos originando una reducción de las emisiones por unidad de producto.

- **Reducción de emisiones de GEI:** Un 10% mediante el uso de leguminosas forrajeras (REMEDIA 2020).
- **Costes:** Depende del tipo de animal y disponibilidad de pastos para el forraje (REMEDIA 2020).

b) Suplementación de la dieta con lípidos de origen vegetal: Los ácidos orgánicos dicarboxílicos son precursores potenciales del propionato que, como se ha comentado anteriormente, estimula la utilización del hidrógeno evitando así la metanogénesis.

- **Reducción de emisiones de GEI:** Un 4% por cada 10 g/kg de grasa añadida (Martin et al. 2010).
- **Coste:** Depende del origen y disponibilidad de los ácidos orgánicos (REMEDIA 2020).

c) Uso de alimentos proteicos producidos localmente u obtenidos a partir de subproductos: Permite reducir total o parcialmente el consumo de las fuentes de proteína importada y su huella de carbono asociada debida a la deforestación y al transporte de larga distancia. Si esta sustitución se realiza con subproductos agro-industriales el beneficio económico y ambiental es todavía mayor.

- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020), en función del nivel de sustitución y la huella de carbono de las diferentes fuentes de proteína (es necesario realizar un análisis de ciclo de vida o similar para cada caso).
- **Coste:** Supone un beneficio económico por el ahorro en pienso, pero puede ser difícil de implementar por la disponibilidad e idoneidad de los subproductos (REMEDIA 2020).

d) Mejorar la conservación de forrajes y ensilados: Permite reducir total o parcialmente el consumo de las fuentes de proteína importada y su huella de carbono asociada debida a la deforestación y al transporte de larga distancia. Si esta sustitución se realiza con subproductos agro-industriales el beneficio económico y ambiental es todavía mayor.

- **Reducción de emisiones de GEI:** Menos de un 10% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** Reducir la pérdida de materia seca significa mejorar la calidad nutricional del forraje con el mismo coste (REMEDIA 2020).

3. En explotaciones extensivas o semi-extensivas, realizar una gestión de los pastos optimizada para reducir las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero. Este objetivo se puede conseguir jugando con el tiempo de pastoreo de los animales y la calidad nutricional de los pastos:

a) Disminuir el tiempo de estabulación del ganado aumentando el período de pastoreo: Un incremento de hasta en 20 días por año, según la región, resulta en una reducción significativa de las emisiones de NH_3 , CH_4 y N_2O . La reducción de las emisiones de NH_3 con esta medida, en comparación con un sistema de referencia de alojamiento en cubículos, se ha cuantificado en función del tiempo de pastoreo:

- **Reducción de emisiones de NH_3 :** Un 10% para 12 horas de pastoreo al día, un 30% para 18 h/d, y un 50% para 24 h/d (UNECE 2014b).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Inferior al 10% (REMEDIA 2020).

Coste: Supone un ahorro en cuanto a la supresión de actividades asociadas con la gestión, almacenamiento, tratamiento y aplicación de las deyecciones ganaderas (REMEDIA 2020).

b) Incorporar plantas leguminosas entre las especies pratenses: La siembra de leguminosas proporciona una mejora en la calidad del pasto, y una reducción en la necesidad del uso de fertilizantes, ya que éstas fijan N en el suelo y contribuyen a incrementar su fertilidad, con el consiguiente ahorro en fertilizantes y en emisiones de amoníaco, y la respuesta positiva en la producción de pasto.

- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25%, hasta un 20% en relación al CH_4 (REMEDIA 2020).
- **Coste:** Comporta un coste inicial por la siembra de leguminosas, pero resulta en beneficios económicos a medio plazo (REMEDIA 2020).

4. Ajustar continuamente el aporte de nutrientes a las necesidades de cada animal mediante técnicas de alimentación de precisión. Optimizar la alimentación mediante un correcto manejo de la carga ganadera, calidad de del pasto, disponibilidad de dieta, así como reducir los periodos improductivos y mejorar el progreso genético mediante el control exhaustivo de los datos de animales individuales con tecnologías de la información y la comunicación (TIC).

- **Reducción de emisiones de NH_3 :** Entre un 20% y un 30% (REMEDIA 2020).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre un 15% y un 20% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** Requiere una importante inversión inicial en equipos altamente tecnificados, pero se pueden compensar los costes a largo plazo (REMEDIA 2020).

5. Integrar las estrategias nutricionales con la selección genética de animales más productivos. Establecer un plan de selección genética para criar animales con alto valor genético que ayude a mejorar la productividad, y desarrollar un sistema ganadero con un uso optimizado de los recursos.

- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020).
- **Costes:** Supone una inversión inicial más elevada, pero se ve compensada a medio plazo (REMEDIA 2020).

En lo relativo a la reducción del contenido de proteínas en dieta, un estudio de meta-análisis relativamente reciente (Sajeev et al. 2018) indica que las mayores reducciones de las emisiones de NH_3 se producen para el ganado vacuno, con un $17 \pm 6\%$ de reducción por cada punto porcentual de reducción de la proteína cruda (PC; medida en base al contenido del N total), en comparación con un $11 \pm 6\%$ para los cerdos. También se establecieron relaciones estadísticamente significativas entre la reducción de PC, las emisiones de NH_3 y el contenido total de nitrógeno amoniacal en las deyecciones, tanto para el porcino como para ganado vacuno, pero este último reveló una tendencia más clara y mayores reducciones de NH_3 . Esto se podría deber a la mayor atención prestada hasta la fecha a la optimización de la alimentación en cerdos, pero también a la fisiología de los rumiantes para metabolizar eficientemente el nitrógeno en situaciones de bajo consumo de proteínas. Este hecho pone de manifiesto la oportunidad existente de extender y profundizar los conceptos de optimización de la alimentación de cerdos y aves de corral a los sistemas de producción de ganado vacuno. Por otra parte, el ajuste en el contenido proteico también puede tener un efecto positivo de cara a unas menores emisiones de GEI, que el Código de Buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne (REMEDIA 2020) ha cuantificado en un máximo de reducción de las emisiones de CH_4 del 10%.

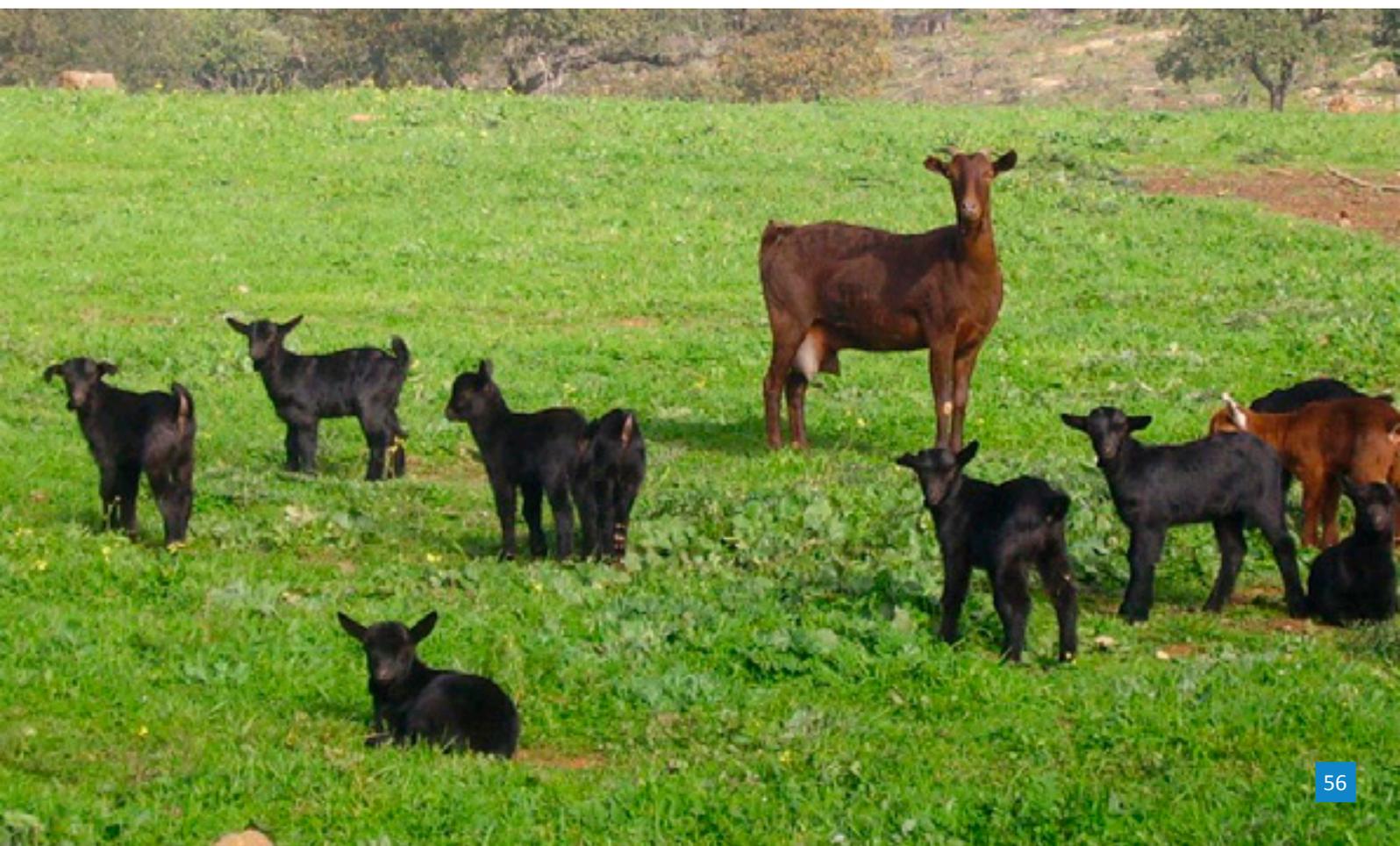
El costo económico de las estrategias nutricionales depende del precio de los ingredientes y de las posibilidades de combinarlos, según su disponibilidad, en proporciones óptimas, así como de su efecto sobre el rendimiento de los animales. En general, las dietas altas en proteínas y las dietas eficientes bajas en proteínas cuestan más que las dietas con un contenido medio-alto. Tanto el exceso como el defecto en el contenido de proteínas en la dieta tienen efectos negativos sobre el rendimiento animal, aunque las consecuencias en este último caso son más evidentes. El coste de las manipulaciones de la dieta oscila entre $\pm 10\text{€}$ por cada 1.000 kg de pienso, según las condiciones del mercado de los ingredientes del pienso y el coste de los aminoácidos sintéticos (UNECE 2014b). Por lo tanto, en algunos años habrá beneficios mientras que en otros se producirán costos asociados con los cambios en la dieta. Por otra parte, la alimentación por fases es una medida eficaz y económicamente atractiva incluso si requiere instalaciones adicionales.

Hay que tener en cuenta que en determinadas regiones (principalmente en el noroeste de España), la producción de ganado vacuno de leche se basa total o parcialmente en pastizales. En estos sistemas, la alimentación a base de forrajes aportan una dieta más rica en proteínas ya que el contenido de PC de la hierba fresca suele oscilar entre un 18% – 20%, y entre un 16% – 18% en el ensilado (Whitehead 2000). Por el contrario, el contenido de PC del ensilaje de maíz está solo en el rango del 7% – 8%. Por lo tanto, las dietas a base de pasto a menudo contienen un excedente de proteínas que resulta en una excreción de nitrógeno alta, especialmente en pastos con gramíneas verdes fertilizadas intensamente, o con mezclas de gramíneas y leguminosas. Sin embargo, la orina excretada por los animales en pastoreo generalmente se filtra en el suelo antes de que se produzcan emisiones sustanciales de NH_3 , siendo éstas incluso menores que para los animales alojados (MTD 3 - Vacuno; Tabla 4.1). Además, esta estrategia también puede resultar en una reducción general de las emisiones de GEI debido a que a) las condiciones predominantemente aeróbicas durante pastoreo reducen las emisiones de CH_4 , b) a que la separación de orina y heces disminuye las emisiones de N_2O y, de forma indirecta, y c) por el menor consumo de combustible necesario para esparcir el estiércol en el campo (Pellerin et al. 2013). A esto se podrían añadir aspectos agronómicos en la gestión de estos pastos, como es la siembra de especies leguminosas para minimizar el aporte de fertilizantes nitrogenados. Los animales que aprovechan pastos ricos en leguminosas producen menos emisiones de CH_4 que los que lo hacen en pastos ricos en gramíneas.

Documentos recientes como El Código de Buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne (RE-MEDIA 2020), o las conclusiones del EIP-AGRI Focus Group Reducing livestock emissions from Cattle farming, (Yáñez- Ruiz et al. 2017) hacen hincapié en una serie de buenas prácticas relacionadas con la nutrición animal que no están incluidas en la guía de referencia del MAPAMA (2017). Entre éstas cabe destacar que la reducción de las emisiones de GEI de la explotación ganadera también se puede conseguir de una forma indirecta a) a partir de la selección de fuentes de proteína producidos localmente, b) aprovechando subproductos agroindustriales, c) mejorando la conservación de forrajes y ensilados, d) aplicando técnicas de alimentación de precisión, y e) mediante la selección genética.

La proteína importada (soja principalmente) posee una elevada huella de carbono debido a que su producción suele implicar deforestación en su lugar de origen, un elevado uso de fertilizantes industriales y un transporte intercontinental (MTD 2 - Vacuno; Tabla 4.1). Por ello, el uso de alimentos proteicos locales o regionales tales como el uso de leguminosas en grano (guisante, colza, etc.), pellet de alfalfa o forrajes de leguminosas, permite reducir dicha huella de carbono. En este sentido, alimentar con silo de maíz o de leguminosas permite reducir las emisiones en comparación con el silo de raigrás. El forraje de colza se ha visto que también reduce las emisiones, aunque los efectos son variados sobre la productividad. Combinar maíz y silo de legumbres frecuentemente incrementa la ingestión y reduce las emisiones por unidad de producto.

Esta reducción de las emisiones de GEI por causa del ciclo de vida de las fuentes de proteína se puede incrementar notablemente mediante la utilización de subproductos agroindustriales (subproductos de cítricos, bagazo de cervecera, destrío de frutas y verduras, orujo, etc.) representan una fuente barata de alimento para rumiantes ya que de otro modo no pueden ser utilizados por ninguna otra especie de animales de abasto. Algunas experiencias a nivel internacional han demostrado la viabilidad de utilizar subproductos agroindustriales en la granja de leche (Karlsson et al. 2018, Singh et al. 2020), pero también se cita la



necesidad de llevar a cabo un análisis del ciclo de vida detallado para poder medir con exactitud la reducción de las emisiones de GEI. Además, el problema es que en la mayoría de los casos los subproductos deben ser consumidos a nivel local o regional, ya que su transporte no es rentable por su elevado contenido en agua, lo que también incrementa las emisiones de GEI. A ello hay que añadir que estos productos son frecuentemente estacionales. Además, en algunos casos el uso de ciertos subproductos de la industria agroalimentaria o residuos vegetales para la alimentación animal podrían estar compitiendo por usos alternativos que pueden ser más sostenibles, como por ejemplo la producción de bioenergía.

Todavía relacionado con la nutrición, una disminución de las emisiones puede ser promovida a través de una mejor conservación del forraje y ensilados. La recolección de forraje en una etapa temprana de madurez aumenta su contenido de carbohidratos solubles y reduce la lignificación, lo que aumenta su digestibilidad y disminuye la producción de CH₄ entérico por unidad de materia seca (MS) digestible. En los procedimientos de henificación o ensilado se producen pérdidas de materia seca, que varían según el procedimiento de conservación y el lugar de almacenamiento. El heno y el maíz empacado y almacenado en el interior puede sufrir pérdidas inferiores al 6%, que pueden situarse entre el 10% y el 20%, y en ocasiones hasta el 40%, cuando ese heno se empaca, y se almacena en el exterior. Cuando el procedimiento de almacenamiento es el ensilado, las pérdidas de materia seca oscilan entre el 5% y el 25%. El corte puede causar pérdidas de MS del 2% y el empacado del 6%, pero una recolección mal ajustada puede causar pérdidas de hasta el 12% de MS disponible. La pérdida de MS se asocia frecuentemente con el contenido de humedad, la exposición a la precipitación y el contacto de la bala con el suelo. También se pueden reducir las pérdidas envolviendo pacas secas que están demasiado húmedas para el almacenamiento convencional de heno. La mayoría de las pérdidas de ensilaje parecen ocurrir en el período inicial de carga y fermentación, durante la primera semana a un mes de almacenamiento, después del cual el ensilaje es relativamente estable hasta un año con pérdidas mínimas, si el silo está bien sellado y se siguen buenas prácticas de almacenamiento. También se produce una pérdida significativa de MS durante la extracción del almacenamiento.

Otra forma de ajustar la dieta de una forma más eficiente a las necesidades cambiantes de los animales es mediante la alimentación de precisión (MTD 4 - Vacuno; Tabla 4.1). Esta técnica consiste en suministrar el nutriente apropiado en el momento apropiado, pero de forma específica para cada animal. Esto requiere de la implementación de técnicas intensivas de digitalización y sensorización. Además, la constante monitorización de los animales mediante herramientas de ganadería de precisión en lo relativo a su estado fisiológico, sanitario, productivo, nutricional, reservas corporales y su nivel genético, permite generar un “big data” accesible al ganadero y que le asiste a la hora de tomar decisiones sobre la gestión de su explotación. Esta estrategia se puede aplicar tanto en animales estabulados como en los de pastos, aprovechando herramientas de geolocalización y teledetección (Riaboff et al. 2020).

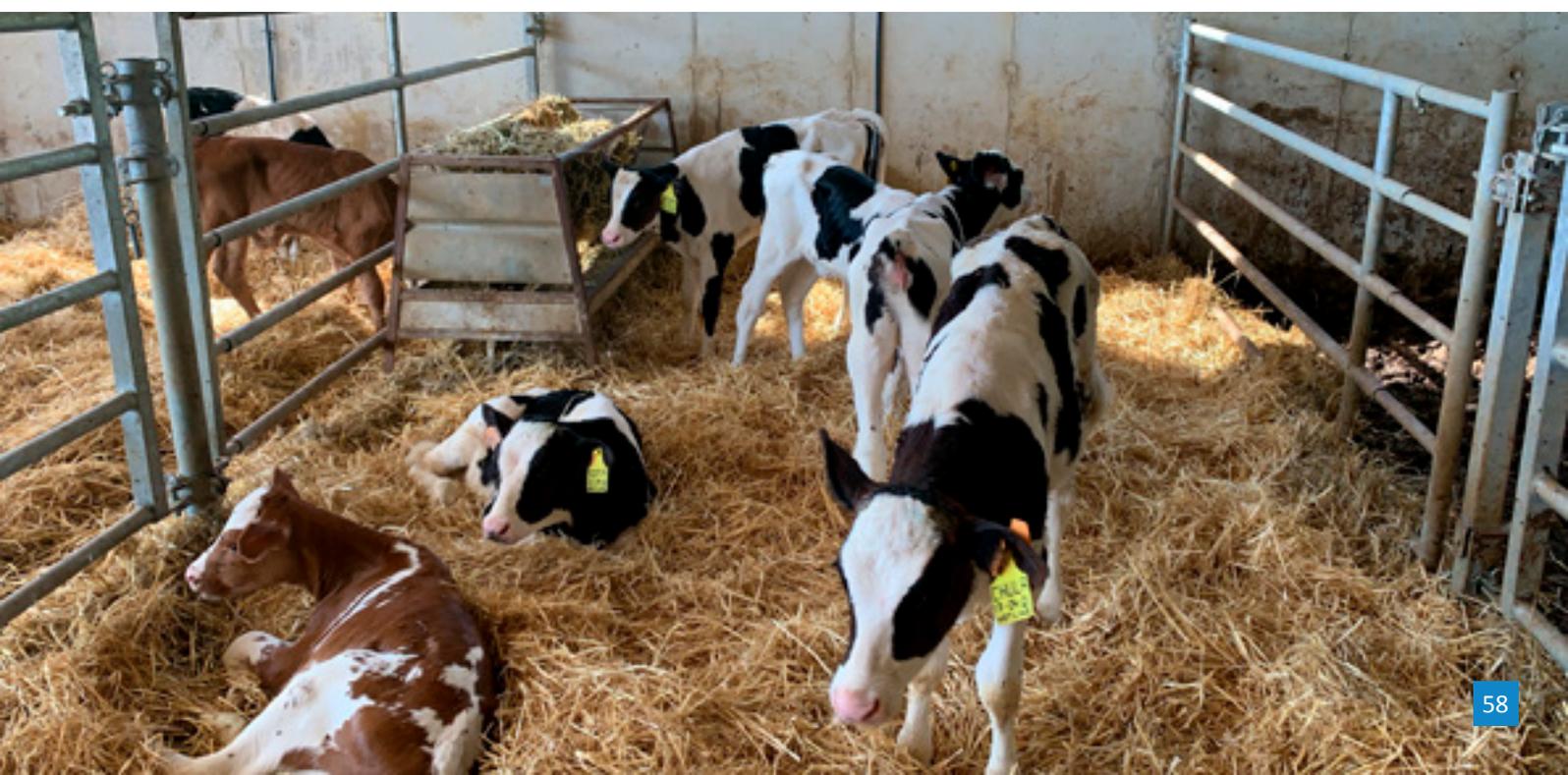
Finalmente, en concordancia con una estrategia nutricional holística, también se ha propuesto como una buena práctica para minimizar las emisiones (MTD 5 - Vacuno; Tabla 4.1) la selección de animales con mayores tasas de eficiencia, lo que comporta una menor ingestión de alimento por unidad de producto obtenido (leche). Un crecimiento y desarrollo fisiológico más rápido requiere menos tiempo no productivo y, consecuentemente, reduce las emisiones. Otro de los caracteres relacionados con la genética y las emisiones es el intervalo entre partos. Seleccionar animales más fértiles, que tengan un intervalo entre partos óptimos, reduce los periodos improductivos de los animales, minimizando así las emisiones globales.

4.1.2. Uso de aditivos para mejorar la digestibilidad y/o evitar emisiones

Otras técnicas para fomentar la disminución de las emisiones de nutrientes y GEI se fundamentan en la suplementación de la dieta con compuestos activos o inóculos microbianos que, de una forma más o menos directa, actúan sobre la microbiota y funcionalidad del rumen (MTD 6 - Vacuno; Tabla 4.2). Estos aditivos mejoran la absorción de los nutrientes en el sistema digestivo, favorecen una microflora saludable, inhiben la acción de las arqueas metanogénicas del rumen, o actúan minimizando las emisiones de las deyecciones. En este caso del fósforo, se puede mejorar su disponibilidad biológica mediante la adición de fitasas en el pienso (Dourmad and Jondreville 2007). Las fitasas son un grupo diverso de enzimas que catalizan la hidrólisis secuencial del complejo fitato, no biodisponible para animales monogástricos, a fosfato inorgánico más fácilmente asimilable. No obstante, los rumiantes (poligástricos) aprovechan el fitato generado por acción de microorganismos productores de fitasas ya existentes en el rumen, por lo que la suplementación de la dieta con esta enzima parece no comportar beneficios adicionales (Winter et al. 2015).

En lo relativo al nitrógeno, se han probado otros aditivos en la dieta, como la zeolita mineral, extractos de plantas ricos en taninos y saponinas, y probióticos, han sido probado con mayor o menor éxito para reducir las pérdidas de NH₃, tanto en el cerdo (Philippe et al. 2011) como en el ganado vacuno (Ndegwa et al. 2008). La optimización de la asimilación del nitrógeno también tiene un efecto reductor sobre las emisiones de N₂O (Eckard et al. 2010). Un tipo de aditivo que ha despertado bastante interés está basado en un extracto (sarsaponina) de la palma yuca (*Yucca schidigera*). Como aditivo alimentario, se afirma que este producto

mejora la eficiencia de conversión alimenticia en diferentes cabañas ganaderas y, debido a sus propiedades inhibitorias de ureasa residual, reduce la emisión de amoníaco en los alojamientos de los animales (Adegbeye et al. 2019). La mayoría de estas sustancias también han sido experimentadas como aditivos para ser añadidos directamente sobre las deyecciones (Andersson 1994), y se tratan en más detalle en el punto 4.2.2.



En lo que se refiere a los aditivos diseñados para reducir la emisión de GEI, especialmente el CH₄ de origen entérico por parte del ganado vacuno, también se han probado numerosas opciones relacionadas con diferentes tipos de suplementos y aditivos de la dieta (Eckard et al. 2010). En general se trata de compuestos que ejercen un efecto modulador sobre la microbiota ruminal, de manera que el perfil de fermentación anaerobia favorezca la producción de propionato a expensas de la de acetato, lo que fomenta el consumo microbiano del H₂ y la consiguiente reducción de la actividad metanogénica hidrogenotrófica (producción de CH₄ a partir de H₂ y CO₂). Un estudio reciente de revisión bibliográfica (Broucek 2018) ha clasificado estas estrategias en nueve categorías principales:

- a) **Defaunación:** La eliminación de los protozoos del rumen conlleva reducciones en las emisiones de CH₄ que varían entre el 20% y el 50%, en función de la dieta aplicada. Este efecto de reducción se debe a: a) la reducción de la digestión de las fibras, b) la reducción de la población metanogénica hidrogenotrófica asociada con los protozoos, c) la reducción de la transferencia de hidrógeno y d) el aumento de la presión parcial de oxígeno en el rumen. Los métodos de defaunación investigados incluyen la manipulación de la dieta (virginiamicina, grasa de la leche), uso de productos químicos sintéticos que incluyen sulfato de cobre, peróxido de calcio, sulfosuccinato de dioctilsodio, así como compuestos naturales como vitamina A, aminoácidos no proteicos y ecdisonas. Algunos lípidos, saponinas, taninos e ionóforos son tóxicos para los protozoos.
- b) **Bacteriocinas:** Son toxinas proteicas producidas por bacterias para inhibir el crecimiento de otras cepas bacterianas que normalmente se consideran antibióticos de espectro estrecho. Se sabe que algunas bacteriocinas (nisina y bovicina) reducen la producción de CH₄ por inhibir directamente los metanógenos y redirigir el H₂ a otras bacterias reductoras, como los productores de propionato o acetógenos. Estudios in vitro han reportado reducciones de hasta el 50%.
- c) **Inhibidores y análogos del metano:** Son compuestos químicos con efectos inhibidores sobre las arqueas del rumen. La formación de metano por la microbiota del rumen también puede ser reducida por la presencia de compuestos análogos de metano (normalmente formas halogenadas de éste). Estos inhibidores afectan una o más de las reacciones mediante las cuales se forma metano mediante la vía hidrogenotrófica. Los inhibidores de metano pueden reducir las emisiones de CH₄ prácticamente a cero a corto plazo, pero debido a la adaptación microbiana, los efectos de estos compuestos se neutralizan rápidamente.
- d) **Probióticos:** Son aditivos alimentarios microbianos (microorganismos vivos) que influyen en la fermentación del rumen y mejoran la salud al modular la microbiota intestinal. Los probióticos más utilizados son, entre otros, la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y la bacteria *Lactobacillus sporogenes*. El principio de acción aún no está claro, pero se supone que estos cultivos microbianos reducen la producción de metano de varias maneras (estimulando la producción de butirato y propionato, y el consumo de H₂, reduciendo las poblaciones de protozoos, etc.). No obstante, los resultados disponibles sobre la eficiencia de esta estrategia no son conclusivos.

- e) **Saponinas:** Son glucósidos que tienen un efecto directo sobre los microbios del rumen. Se encuentran en muchas especies de plantas y se caracterizan por su toxicidad para los protozoos ciliados. Las saponinas disminuyen la degradación de proteínas y favorecen al mismo tiempo la síntesis de biomasa microbiana, dos procesos que resultan en una menor disponibilidad de H₂ para la producción de CH₄. Estudios recientes indican que algunas saponinas podrían ser beneficiosas para la digestión del rumen promoviendo reducciones de CH₄ de hasta el 10 - 20%, pero su sabor amargo reduce la palatabilidad de los alimentos para el ganado. El Código de Buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne (RE-MEDIA 2020) publicado recientemente propone una reducción media de las emisiones de CH₄ del 6% para esta estrategia.
- f) **Taninos:** Son metabolitos secundarios polifenólicos producidos por las plantas superiores. Se supone que el significado biológico de estos compuestos está relacionado con la protección contra infecciones, insectos y la herbivoría animal. Los forrajes que contienen taninos condensados, que pueden clasificarse en términos generales como agentes modificadores del rumen, reducen las emisiones actuando indirectamente sobre la metanogénesis a través de la reducción de la producción del H₂. Experimentos con plantas y extractos ricos en taninos condensados redujeron la producción de CH₄ en pequeños rumiantes (ovejas, alpacas, cabras) hasta en un 30%.
- g) **Ionóforos:** Se trata de dos compuestos antimicrobianos (monensina y lasalocid) que han sido ampliamente investigados por su capacidad para reducir la producción de CH₄ en rumiantes. Se clasifican como antibióticos y actúa directamente sobre los protozoos, reportándose reducciones en las emisiones de CH₄ de hasta el 30%. El uso de ionóforos en la alimentación animal tiene un impacto significativo en la generación de resistencias a los antibióticos, motivo por el que el suplemento de ionóforos en la producción ganadera no está permitido en la UE.
- h) **Ácidos orgánicos y lípidos:** La suplementación de la dieta con ácidos orgánicos (malato, fumarato, acrilato, etc.) es muy efectiva para la reducción de las emisiones de CH₄. Los ácidos orgánicos dicarboxílicos (malato, fumarato) son precursores potenciales del propionato que estimulan la utilización de H₂. Las reducciones en las emisiones de CH₄ reportadas van del 10% al 30%.

En resumen, entre la lista de estos aditivos alimentarios, únicamente la suplementación con nitrato (NO₃-) ha demostrado ser eficaz en una amplia gama de dietas (Doreau et al. 2011, Hristov et al. 2013) pero su uso puede estar limitado por los riesgos para el animal (en caso de sobredosis) y por la mala imagen del NO₃- por su efecto contaminante en las aguas. Por otra parte, las dietas con un alto contenido de concentrados y la suplementación con lípidos se consideran los medios más eficaces para reducir dichas emisiones (Martin et al. 2010), pero también pueden tener algunos efectos secundarios negativos (Doreau et al. 2013). Entre las fuentes de grasa disponibles, la linaza es una de las más eficientes para reducir las emisiones con el potencial de aumentar también el contenido de ácidos grasos omega-3 de la leche y la carne producidas (Doreau et al. 2011). También se ha propuesto usar otras fuentes de lípidos insaturados, y un estudio reciente evaluó los efectos de la inclusión en la dieta de diferentes fuentes de grasas en forma de semillas

oleaginosas sin procesar (aceite de palma fraccionado, colza, semilla de algodón y linaza), con resultados muy variables en función de las semillas utilizadas (Muñoz et al. 2019). La dieta suplementada con semilla de algodón fue la más eficiente para mejorar la producción de leche y disminuir las emisiones de CH₄ pero, en contrapartida, también aumentó la excreción de nitrógeno en la orina, que es una fuente importante de emisiones de NH₃.

Tabla 4.2. MTD con valores de reducción de las emisiones de NH₃ y GEI conocidos para el ganado vacuno relacionadas con el uso de aditivos en la dieta.

TIPOLOGÍA DE MTD: USO DE ADITIVOS EN LA DIETA

CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.1 – MANEJO NUTRICIONAL

CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: GESTIÓN NUTRICIONAL

6. En explotaciones intensivas o semi-intensivas de vacuno, utilizar aditivos autorizados en las dietas animales que reduzcan las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero, sin que afecten negativamente a la salud animal ni a la salubridad y calidad de los productos obtenidos. Este objetivo se puede conseguir por vías distintas, siendo algunas de ellas aceptadas como MTD en el porcino y las aves de corral (MTD 3 – Porcino/avícola; Tabla 3.3), pero que también han demostrado su eficiencia en el vacuno de leche:

a) Utilización de aditivos autorizados que reduzcan el nitrógeno excretado y/o volatilizado: En relación con el punto anterior, la digestibilidad de los polisacáridos también se puede mejorar mediante la adición de enzimas, probióticos, etc. Así mismo, existen otros aditivos que actúan sobre el pH de las deyecciones, disminuyendo la volatilización del amoníaco. No obstante, es importante que la utilización de cada uno de estos complementos y su consideración como MTD venga soportada por evidencias con una base científica sólida.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Entre 10% y 50%, en función del producto y el mecanismo de acción.
- **Coste:** Depende del efecto de los aditivos sobre la productividad de los animales (REMEDIA 2020).

b) Utilización de aditivos autorizados que reduzcan la formación de metano en el rumen: El uso de aditivos en rumiantes se ha investigado de forma extensiva en lo que se refiere a la inhibición de la metanogénesis. No obstante, es importante que la utilización de estos complementos y su consideración como MTD venga soportada por evidencias obtenidas a partir de ensayos basados en el método científico y su posterior validación en condiciones de campo.

- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre 10% y 50% de las emisiones de CH₄, en función del producto y el mecanismo de acción (Broucek 2018). Otras fuentes citan reducciones entre un 30% y un 40% expresado por kg de materia seca ingerida (REMEDIA 2020).
- **Coste:** Depende del efecto de los aditivos sobre la productividad de los animales (REMEDIA 2020).

c) Uso de aditivos y probióticos que actúan sobre el desarrollo ruminal en las edades tempranas del animal: Añadir aditivos fitogénicos, probióticos o cambios en el régimen alimenticio para modular la primera fase de colonización del rumen y conseguir que se establezca una microbiota más eficiente, y que perdure en el animal adulto.

- **Reducción de emisiones de GEI:** Hasta un 10% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** El uso de estos productos está especialmente indicada en la transición y destete, y puede suponer un beneficio económico al mejorar la salud de los terneros (REMEDIA 2020).

Los aditivos y probióticos que actúan sobre el desarrollo ruminal en las edades tempranas del animal pueden ser particularmente indicadas para fomentar una mayor salubridad y productividad durante la edad adulta, y también disminuir las emisiones de GEI en valores máximos que se han estimado en un 10% (REMEDIA 2020). Como la mayoría de los mamíferos, el rumiante cuando nace carece de una población microbiana funcional en su sistema digestivo. Durante las primeras semanas de vida, el rumen se va desarrollando y colonizando por una compleja mezcla de microorganismos procedentes del alimento, agua, suelo, heces, y del contacto con animales adultos. Si se consigue modular esta primera fase de la colonización y conseguir que se establezca una microbiota más eficiente, ésta perdurará en el animal adulto. Esto es especialmente importante en aquellos sistemas lecheros en los cuales se separan los terneros de la madre al nacer y no tienen contacto con animales adultos hasta después del destete. Esta estrategia no suele comportar una disminución directa de las emisiones de CH₄, pero permiten mejorar los niveles productivos y minimizar el estrés durante el destete. Por ello, indirectamente pueden reducir las emisiones por unidad de producto a través de una mejora de la eficiencia productiva.

4.2. Medidas en el alojamiento de los animales

Las técnicas de reducción de las emisiones durante la fase de estabulación del ganado están dirigidas principalmente al NH₃ por causa de su afectación sobre la salubridad animal y, en menor medida, los GEI (CH₄ y N₂O). Los factores que más afectan a estas emisiones dependen de la fermentación entérica de los animales y las características de las deyecciones, cuestiones sobre las que se influye en gran medida mediante el manejo nutricional, pero también con el diseño y los aspectos constructivos de la granja, así como la gestión de las deyecciones y de la limpieza que se haga en su interior. De forma genérica, el “Código de Buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne” (REMEDIA 2020), considera que con medidas en el alojamiento de los animales se pueden conseguir reducciones de GEI de entre 10% y 25% si bien, más allá de la intensificación, no especifica cuáles son estas medidas concretas. Otras fuentes como la guía de la UNECE (2014b) si ofrece más detalles técnicos en relación a estas medidas, que están relacionadas principalmente con el diseño de los alojamientos y el manejo de los animales.

4.2.1. Diseño de la granja y aspectos constructivos

El NH₃ proviene principalmente de la orina, que contiene la mayor parte del nitrógeno volátil excretado, mientras que las heces son la mayor fuente de producción de CH₄ y, en menor medida, de N₂O (Chadwick et al. 2011, Sommer et al. 2006). Por tanto, la gestión separada de la orina y las heces tan pronto se generan puede ser beneficiosa para minimizar la generación de estos tres gases. A parte de las características de las deyecciones, las emisiones están influenciadas por el tipo de piso/superficies, la ventilación, y la temperatura del interior de la granja (Chadwick et al. 2011, Philippe et al. 2007). La reducción de las emisiones de las naves se persigue en gran medida mediante buenas prácticas de gestión (como la extracción frecuente, confinamiento, y procesado de las deyecciones), el mantenimiento de buenas condiciones en el edificio (ventilación y temperatura adecuadas), e incluso el tratamiento de los gases emitidos en aquellas explotaciones más confinadas. En algunas regiones, los alojamientos también pueden tener asociada un área de estabulación al aire libre, utilizadas para el ejercicio y/o la alimentación del ganado.

Para evitar niveles excesivos de NH₃ que puedan representar una amenaza para la salud, tanto para los granjeros como para los animales, es necesaria una ventilación adecuada de los alojamientos donde se encuentra el ganado. La guía de la UNECE (2014b) propone una serie de prácticas relacionadas con aspectos constructivos y de diseño de la granja, tomando como sistema de referencia una explotación convencional de cubículos o de sistema atado (éste último en desuso por consideraciones de bienestar animal), que no implemente las medidas propuestas (MTD 7 - Vacuno; Tabla 4.3). Estas medidas pueden representar costes relativamente elevados, por lo que estas medidas suelen estar limitadas a explotaciones de nueva construcción.

Tabla 4.3. MTD con valores de reducción conocidos para el ganado vacuno relacionadas con la disminución de las emisiones en los alojamientos de los animales mediante aspectos constructivos.

TIPOLOGÍA DE MTD: ASPECTOS CONSTRUCTIVOS DE LOS ALOJAMIENTOS DE LOS ANIMALES
CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.2 y A.3.3 – ALOJAMIENTOS DE LOS ANIMALES
CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: CONTROL DE LAS EMISIONES EN EL ALOJAMIENTO DEL GANADO

7. Reducir las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero en los alojamientos de los animales. Varias técnicas para el control de las emisiones de NH₃ en los alojamientos de los animales aplicables al vacuno ya han sido propuestas para la producción porcina y avícola (MTD 30 – Porcino/avícola; Tabla 3.10). Esta reducción se puede conseguir mediante la implementación de un conjunto de técnicas relacionadas con aspectos constructivos de la granja:

a) Mejoras en el diseño de las superficies: Los sistemas de raspado combinados con un diseño del piso con ranuras y/o inclinados para facilitar la eliminación rápida de la orina hacia el almacenamiento de purines son efectivos para reducir las emisiones de NH₃, pero este efecto puede variar enormemente en función de la acumulación de excretas en las superficies.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Entre un 25% y un 46% (UNECE 2014b).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020).

b) Mejoras en la ventilación y en el aislamiento del techo: En alojamientos con slats o rejillas convencionales (ya sea sin pendiente, con un 1% de inclinación o suelo ranurado), la climatización óptima del establo con aislamiento de techo y/o ventilación natural controlada automáticamente puede lograr una reducción en las emisiones de NH₃ debido a la disminución de la temperatura (especialmente en verano) y la reducción de la velocidad del aire.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Un 20% (UNECE 2014b).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020).

c) Instalación de sistemas de tratamiento de gases: Los sistemas de depuración de aire, como por ejemplo los lavadores ácidos (*scrubbers*), pueden a la práctica reducir casi por completos las emisiones de NH₃, pero su coste suele ser relativamente elevado. El documento de referencia BREF para la cría intensiva de aves y cerdos describe estas técnicas como MTD para granjas con ventilación forzada, pero rara vez se aplican a los establos de ganado vacuno porque suelen estar menos confinados y ventilados de forma natural.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Con el tratamiento de los gases emitidos mediante lavadores ácidos, entre un 70% y un 90% (UNECE 2014b), o hasta un 95% (Santonja et al. 2017).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020).

4.2.2. Manejo y limpieza de la granja

Otras técnicas citadas hacen referencia al aumento de la frecuencia de eliminación de las deyecciones en los alojamientos de los animales, al incremento del material utilizado para la preparación de las camas de los animales, y el lavado frecuente de los corrales de espera de vacas lecheras. Se han reportado reducciones de emisión de NH_3 de hasta el 90% mediante el lavado frecuente de superficies sucias, pero esto aumenta el consumo de agua y el volumen de los purines producidos (Misselbrook et al. 2006). Este mayor consumo de agua iría en contra de la MTD relacionada con el ahorro de agua y evitar diluir las deyecciones, que es una recomendación genérica para la mayoría de las granjas.

También se han reportado reducciones importantes de NH_3 para los sistemas de alojamiento que utilizan cama o lecho con materiales orgánicos (paja, serrín, compost, etc.) o inorgánicos (arena, carbonatos, etc.). En cualquier caso, la gestión del material utilizado en el lecho debe contemplar el mantenimiento de la superficie de la cama lo más seca posible. Esto se puede conseguir con el uso de mayores cantidades de material, pero también aumentará los costos de operación y el volumen de estiércol sólido generado. Las diferencias en las características físicas de los materiales del lecho, especialmente la capacidad de absorción y la densidad, tienen más importancia en la tasa de emisión del NH_3 que los parámetros químicos, como la conductividad eléctrica el pH (Misselbrook and Powell 2005). A pesar de estos contrastes, los factores de emisión informados en los inventarios nacionales no revelan grandes diferencias entre sistemas con diferentes materiales para las camas (Loyon et al. 2016).



Tabla 4.4. MTD con valores de reducción conocidos para el ganado vacuno relacionadas con la disminución de las emisiones en los alojamientos de los animales mediante la gestión de las deyecciones.

TIPOLOGÍA DE MTD: MANEJO DE LOS ALOJAMIENTOS DE LOS ANIMALES

CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.2 y A.3.3 – ALOJAMIENTOS DE LOS ANIMALES

CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: CONTROL DE LAS EMISIONES EN EL ALOJAMIENTO DEL GANADO

8. Hacer una buena gestión de las deyecciones sólidas (estiércol) en los alojamientos de los animales. Aplicable en el caso del manejo de las deyecciones de los animales en forma de estiércol:

a) Incorporación frecuente de paja u otros materiales absorbentes a la cama: El uso de cantidades de paja adicionales, sobre todo en aquellas zonas más sucias o donde se acumula más humedad, como alrededor de barreras de alimentación o bebederos, puede resultar en reducciones importantes en las emisiones de NH_3 , pero debe evaluarse su efecto sobre toda la ruta de gestión de las deyecciones (incremento de volumen de estiércol generado, riesgo de mayores emisiones de GEI).

- **Reducción de emisiones de NH_3 :** Hasta un 50% utilizando un 33% más de paja, según Gilhespy et al. (2009), citado por (Loyon et al. 2016).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Debe evaluarse su efecto sobre toda la ruta de gestión de las deyecciones, ya que un incremento del volumen de estiércol generado puede comportar mayores emisiones de GEI (Gilhespy et al. 2009).
- **Coste:** Habrá costes adicionales para la compra de la paja, pero también de dedicación adicional del granjero (Gilhespy et al. 2009).



9. Hacer una buena gestión de las deyecciones líquidas (purines) en los alojamientos de los animales. Aplicable en el caso del manejo de las deyecciones de los animales en forma de estiércol:

a) Evacuación frecuente de los purines de las fosas: El PNCCA ya se menciona el vaciado de las fosas un mínimo de dos veces por semana como una MTD aplicable en todo tipo de explotaciones de ganado bovino que gestionen sus deyecciones en forma de purines.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Un 25% (Alonso Sopeña et al. 2019).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Inferior a un 10% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** No tiene coste de instalación añadido pero sí de funcionamiento, se requiere más trabajo y coste energético para la retirada frecuente (REMEDIA 2020).

b) Separación de la orina y las heces in-situ: La separación física de las heces (que contienen ureasa) y la orina en los sistemas de alojamiento reducen la hidrólisis de la urea y la emisión de amoníaco (MTD 3.a). Esta medida es efectiva tanto para el alojamiento como durante el almacenamiento y la aplicación del estiércol.

c) Acidificación de los purines en la fosa: Aplicable en el caso del manejo de las deyecciones en forma de purines. La técnica consiste en añadir un ácido concentrado, generalmente sulfúrico, a los purines hasta romper la capacidad tampón de éstos, por lo que se requiere de un equipo de dosificación especializado y un control regular del pH.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Entre un 50% (MAPAMA 2017) y un 70% (UNECE 2014b) a pH 6,5. Entre el 96% y el 99% a pH inferior a 6 (Petersen et al. 2012).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Entre 67% y 87% a pH inferior a 6 (Petersen et al. 2012).
- **Coste:** Entre 107€ por plaza y año para granjas de 200 plazas y 50€ por plaza y año para granjas de 500 plazas (Jacobsen 2015).

d) Suplementación de las deyecciones con aditivos: Aplicable principalmente durante el manejo de las deyecciones en el interior de las naves, con el objetivo de reducir las emisiones de amoníaco mediante procesos de regulación del pH, de inhibición de la ureasa,

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Entre un 30% y un 60%, en función del tiempo de almacenamiento y el tipo de producto (Andersson 1994).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Superior a un 25%, principalmente por causa de la reducción de las emisiones de N₂O de hasta un 60% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** En principio, el principal incremento de costes viene determinado por la adquisición del aditivo (REMEDIA 2020). Se han reportado costes de entre 25€ y 76€ por kg de N ahorrado, en función del tipo de aditivo y el tiempo de acción considerado (Andersson 1994).

Para las granjas que gestionan las deyecciones en forma de purines, la acidificación de estos ya es una MTD reconocida por el BREF para la cría intensiva porcina y avícola (Santonja et al. 2017), que consiste en reducir las emisiones de NH₃ en el interior de la granja mediante la adición de ácido sulfúrico en la fosa donde se recogen los purines. La acidificación también puede realizarse en la balsa o incluso durante la aplicación en campo. Aunque eficiente, la técnica tiene la principal desventaja de que la manipulación de ácidos fuertes en las granjas puede ser peligrosa y compleja. El equilibrio entre el amonio soluble (NH₄⁺)

y el amoníaco (NH_3), volátil en gran medida, depende del pH. Un pH bajo favorece la retención de NH_4^+ minimizando la volatilización del NH_3 . Para ello, el purín se bombea desde la fosa a un tanque de mezcla, donde se agrega la dosis correcta de ácido sulfúrico para bajar el pH (los valores reportados oscilan entre 5,5 y 6,5). La cantidad de ácido sulfúrico se controla mediante un sensor de pH. En el tanque de proceso, también se airea y homogeneiza el purín, inyectando aire comprimido, para evitar que los iones sulfato se conviertan en sulfuro de hidrógeno nocivo, y para mejorar su fluidez a medida que se degrada parte de su contenido de materia seca. Parte del purín tratado de esta forma es recirculado de vuelta hacia la fosa, asegurando que el pH en esta se mantenga aproximadamente en 5,5 para inhibir la volatilización del amoníaco durante la entrada de las deyecciones, mientras que el resto del purín acidificado se deriva a la balsa de almacenamiento.



Figura 4.1. Equipo de acidificación de purines en fosa instalado en una granja danesa de producción lechera (Fuente: Universidad de Aarhus).

Dinamarca ha sido pionera en la técnica de la acidificación de los purines, y de acuerdo con el ministerio danés de alimentación y medio ambiente la acidificación se aplica sobre el 20% de los purines generados en el país. Hasta la fecha ha sido aplicada principalmente en granjas de porcino, pero existen ya algunos proyectos demostrativos daneses que han mostrado la viabilidad de esta MTD para el sector del vacuno de leche (Figura 4.1). Se ha podido verificar que un ajuste inicial del pH a 5,5 de los purines de una granja lechera redujo las emisiones de NH_3 en un 96 – 99%, en comparación con los purines sin tratar. Además, se observó una reducción del 67 – 87% en la evolución de las emisiones de CH_4 durante 3 meses de almacenamiento, tanto con purines frescos como viejos (Petersen et al. 2012). No obstante, la UNECE (2014b) ofrece valores de reducción de las emisiones de NH_3 más prudentes, del 70% en la acidificación a nivel de la explotación, seguramente por el hecho que el pH de trabajo suele situarse en torno a 6,5 en las explotaciones evaluadas.

Finalmente, además de la adición de ácidos en la fosa de purines, existe en el mercado una gran cantidad de aditivos para las deyecciones sólidas y líquidas en el mercado, especialmente durante la etapa de acumulación en los alojamientos de los animales, algunos de los cuales han sido evaluados en un estudio comparativo realizado en una explotación de vacuno de leche (Andersson 1994). En función del mecanismo de acción, los principales productos disponibles se clasifican en los siguientes cuatro tipos:

- a) Salas reguladoras del pH: Las sales solubles de magnesio o calcio se han agregado a las deyecciones ganaderas desde principios de este siglo con el propósito de reducir el olor y las emisiones de amoníaco. Las sales de cloruro y nitrato de magnesio y calcio son las que se utilizan principalmente, aunque es adecuada cualquier sal soluble de magnesio o calcio. Las sales de sulfato de magnesio y calcio no son lo suficientemente solubles y su eficacia es menor. Se han reportado reducciones en la emisión de NH_3 de hasta un 50% pero, debido a la re-solubilización del CaCO_3 formado, la eficiencia en la reducción de las emisiones de amoníaco se reduce con el tiempo. Las ventajas de estos productos son el hecho que no son peligrosas y son económicas. Las sales de nitrato tienen la ventaja de mejorar el valor fertilizante del estiércol, pero las de cloruro aumentan el contenido de cloruros en los suelos sobre los que se esparce el estiércol.
- b) Inhibidores de la ureasa: Los inhibidores de la ureasa se han desarrollado para reducir las emisiones de amoníaco de los fertilizantes de urea después de su aplicación al suelo. Algunos de estos inhibidores de la ureasa también pueden ser efectivos para reducir las emisiones de amoníaco de los abonos donde la emisión está asociada con la hidrólisis de urea, como ocurre en las fosas de deyecciones. Según algunos autores, de los inhibidores de la ureasa conocidos, sólo el grupo de las fosforamidas parece ser suficientemente eficaz para reducir la emisión de amoníaco y se han reportado que la hidrólisis de urea podía reducirse hasta en un 70% durante un período de tiempo de 4 a 10 días después de la aplicación de la urea al suelo. Los compuestos diferían en efectividad y se vieron afectados de manera diferente por el valor del pH en el suelo. Las investigaciones sobre los efectos de los inhibidores de la ureasa sobre las emisiones de amoníaco en los edificios de animales son escasas. Otro producto natural con propiedades inhibitorias para la ureasa es el extracto de la yuca, que se utiliza como aditivo para piensos (ver sección 4.1.2). Como aditivo para el estiércol, se han obtenido reducciones de las emisiones de NH_3 de hasta el 22%. Una desventaja de los inhibidores de la ureasa es el efecto temporal de reducción, que los hace adecuados solo para los alojamientos de los animales. Además, se sabe poco sobre la persistencia y los posibles impactos de estos aditivos sobre el medio ambiente.
- c) Productos adsorbentes: Existe una variedad de sustancias que son eficaces para adsorber el NH_3 , NH_4^+ , o ambos. La adsorción de nitrógeno amoniacal reduce el contenido de amonio en el estiércol y, por lo tanto, la volatilización del NH_3 . De los diferentes materiales, los minerales arcillosos (zeolitas) y la turba parecen ser los más eficientes. Ni los minerales arcillosos bilaminares (por ejemplo, caolinita) ni multicapa (p. ej. la caolinita y la montmorillonita) han mostrado tener una capacidad adsorbente aumentada para el NH_4^+ , pero las clinoptilolitas parecen ser las más eficientes. La turba (en particular la turba derivada de *Sphagnum fuscum*) es, a diferencia de la clinoptilolita, más eficaz para adsorber NH_3 que el NH_4^+ . Mientras que la mayor parte del amonio adsorbido por las zeolitas se mantiene en una forma intercambiable y, por lo tanto, puede estar disponible para la absorción de las

plantas o puede eliminarse de las zeolitas mediante intercambio iónico, menos del 40% del NH_3 adsorbido por la turba se mantiene en un recipiente intercambiable. Una ventaja de las zeolitas y la turba es que también son acondicionadores del suelo, pero por otra parte son bastante costosos.

- d) Inmovilización biológica de amonio: La actividad microbiana en las deyecciones suele estar limitada por la falta de sustratos adecuados. Por lo tanto, la adición de determinados sustratos dará como resultado una mayor actividad microbiana. Añadiendo materiales orgánicos ricos en carbono, el nitrógeno amoniacal puede convertirse en formas orgánicas durante la descomposición del material añadido. Del carbono metabolizado por los microorganismos, aproximadamente la mitad se utiliza para los requisitos de mantenimiento y, en condiciones aeróbicas, se respira como dióxido de carbono. El resto del carbono del material orgánico añadido se utiliza en la síntesis de nuevas células microbianas, aumentando así la población microbiana y el nitrógeno orgánico contenido en ellas en detrimento las formas inorgánicas del nitrógeno. El sustrato agregado eventualmente se agotará y los microorganismos recién formados morirán y servirán como sustratos para los microorganismos restantes. El nitrógeno previamente inmovilizado se remineralizará y, por lo tanto, aumentará el contenido de amonio del estiércol, lo que puede conducir a la volatilización del amoníaco. Para mejorar la inmovilización microbiana del nitrógeno y reducir la volatilización del amoníaco, los sustratos añadidos deben tener las siguientes características: a) una alta relación C/N; b) el carbono debe estar en una forma que pueda ser fácilmente metabolizada por microorganismos; y c) el sustrato debe proporcionar formas de carbono disponibles rápida y lentamente. Si el carbón está fácilmente disponible, el sustrato debe agregarse gradualmente en pequeñas dosis. No hay efectos secundarios ambientales asociados con este método, y el nitrógeno inicialmente inmovilizado se remineralizará más tarde cuando se aplique el estiércol en el campo. No obstante, el método es sólo adecuado para deyecciones sólidas almacenadas en condiciones aeróbicas.

4.2.3. Manejo de los animales

El Código de Buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne (REMEDIA 2020) propone una serie de medidas que están relacionadas con el bienestar, el aumento de la longevidad, y salubridad de los animales, como prácticas que tienen un impacto positivo sobre las emisiones de GEI. En la medida que estas buenas prácticas resulten en un incremento de la productividad y un menor uso de recursos, reducirán el impacto ambiental de la explotación. No obstante, estas medidas no han sido recogidas como MTD en la propuesta del MAPAMA (2017) ni en el documento de referencia de la UNECE (2014b). En el presente informe, estas medidas relacionadas con el manejo animal se han agrupado en una única MTD (MTD 10 - Vacuno; Tabla 4.5). Sin embargo, es importante remarcar que la cuestión del bienestar animal es cada vez más importante para los consumidores, quienes empiezan a valorar e incluso demandar etiquetados y sistemas de certificación que aseguren el origen de los productos y las prácticas productivas con los que se han obtenido. El IRTA ha sido pionera en la creación del sello de calidad Wellfair™, que establece un sistema de certificación, y que también ha sido implementado en la explotación lechera (Varvaró et al. 2020).

Tabla 4.5. MTD con valores de reducción conocidos para el ganado vacuno relacionadas con el manejo de los animales en la granja.

<p>TIPOLOGÍA DE MTD: MANEJO DE LOS ALOJAMIENTOS DE LOS ANIMALES CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.2 y A.3.3 – ALOJAMIENTOS DE LOS ANIMALES CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: CONTROL DE LAS EMISIONES EN EL ALOJAMIENTO DEL GANADO</p>
<p>10. Implementar un sistema de manejo de los animales que tanga en cuenta su bienestar y salud. Además de cuestiones estrictamente zootécnicas, estas medidas también suelen implicar tanto aspectos constructivos y de diseño de la granja, como del manejo de las deyecciones:</p> <p>a) Mejoras en la salubridad y prevenir la incidencia de enfermedades y lesiones: La incidencia de enfermedades infecciosas, pero también lesiones (p.ej. mastitis, laminitis de las pezuñas y caídas), inciden directamente en la eficiencia productiva de la explotación y en un mayor consumo de recursos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de GEI: Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020). - Coste: En la medida que se afecta directamente a la productividad, estas medidas suponen un beneficio económico (REMEDIA 2020). <p>b) Mejorar el bienestar de los animales: La disminución del estrés social y una distribución adecuada de los espacios de tránsito y descanso incide positivamente en una mejor salud de los animales y, en definitiva, mejoran la productividad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de GEI: Superior a un 25% (REMEDIA 2020). - Coste: En la medida que se afecta directamente a la productividad, estas medidas suponen un beneficio económico (REMEDIA 2020). <p>c) Aumentar la longevidad de las hembras reproductoras: Siempre que se realice dentro de unos parámetros productivos y de salud tolerables, ayuda a reducir el número de animales de reposición necesarios y que consumen recursos y generan emisiones durante su periodo no productivo.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de GEI: Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020) - Coste: En la medida que se afecta directamente a la productividad, estas medidas suponen un beneficio económico (REMEDIA 2020).

4.3. Medidas en la gestión de las deyecciones ganaderas

En función del manejo de las deyecciones ganaderas, las explotaciones pueden clasificarse en general en sistemas basados en purines (deyecciones líquidas) o estiércol (deyecciones sólidas). Las MTD para la reducción de las emisiones que se producen durante el almacenamiento y tratamiento de las deyecciones suelen ser coincidentes en buena medida para los diferentes tipos de cabañas. Es por este motivo que la abundante información existente en el BREF para la cría intensiva porcina y avícola relativa a la gestión de las deyecciones puede ser también aplicada al vacuno (Santonja et al. 2017). El documento de referencia de la UNECE también aporta numerosos datos al respecto que, en el caso de los purines, incide en los siguientes factores sobre los que se pueden actuar para reducir las emisiones de NH₃: disminuir el área de las deyecciones expuestas al aire libre instalando cubiertas o fomentando la formación de costras, y/o aumentando la profundidad de la balsa, y bajar el pH y la agitación de los purines. Estos principios básicos se conocen desde hace tiempo y durante la última década no han surgido ideas fundamentalmente nuevas al respecto (Oenema et al. 2012).

4.3.1. Almacenamiento de las deyecciones ganaderas

Disponer de una balsa de purines o un estercolero para las deyecciones sólidas con suficiente capacidad de acumulación es un requisito básico para cualquier tipo granja. Las características técnicas de balsas y estercoleros son de aplicación general y, por tanto, existen medidas concretas que contribuyen a disminuir las emisiones en el vacuno de leche (MTD 11 - Vacuno; Tabla 4.6). En el caso del almacenamiento del estiércol sólido, la reducción de las emisiones de gases se puede producir gracias a la introducción de barreras entre el estiércol y la atmósfera, y por el control de la temperatura para evitar incrementos de temperatura que resultarían en una mayor actividad de la descomposición microbiana y volatilización del NH_3 . También es importante aislar las deyecciones del suelo natural y recoger los lixiviados que se generan. Algunos trabajos sugieren que la mezcla de paja fresca adicional tiene el potencial de reducir las emisiones de GEI (especialmente N_2O) en un 32% (Chadwick et al. 2011, Yamulki 2006). La compactación del estiércol también puede ser un método para reducir las emisiones de NH_3 pero, en contrapartida, podría aumentar las emisiones de N_2O debido a una mayor densidad del estiércol (Petersen and Sommer 2011, Sommer et al. 2010).

Por otra parte, cubrir las balsas de purines es una medida eficaz para minimizar las emisiones tanto de NH_3 como de GEI. La cubierta más eficaz, pero también la más costosa, consiste en la construcción de un techo de obra permanente (Sommer et al. 1993). Otras opciones más asequibles incluyen el uso de láminas o elementos de plástico flotantes, o de capas de materiales orgánicos como la turba, la paja e incluso el aceite, entre otros (Hartung and Phillips 1994, Loyon et al. 2007). Cualquiera de estas barreras puede reducir la pérdida de N durante el almacenamiento de los purines entre un 80 – 90%, siempre que la cobertura sea completa y se mantenga durante todo el período de almacenamiento. La eficacia se ve muy comprometida cuando se desarrollan grietas en la superficie o cuando el material de cobertura pierde su flotabilidad (Loyon et al. 2007, Rotz 2004). El método más económico es aprovechar la formación de costra natural, que está influenciada tanto por el contenido total de materia seca como por la naturaleza de los sólidos presentes en los purines. La costra se forma más fácilmente con el purín del vacuno que con el de cerdo, siendo poco probable que ocurra cuando el contenido de materia seca esté por debajo del 2%. En las regiones más frías, la cobertura flotante puede hundirse durante el invierno debido a la reducción de la actividad microbiana, que genera menos burbujas de gas que, de otro modo, ayudan a su flotabilidad. Por otra parte, algunos estudios han cuestionado los beneficios de usar paja u otros materiales orgánicos, por el hecho de ser una posible fuente de N_2O y CH_4 (Sommer et al. 2000, VanderZaag et al. 2008). Estudios a escala piloto sobre el uso de cubiertas de aceite han demostrado que pueden reducir las emisiones de NH_3 (Portejoie et al. 2003), pero su beneficio es limitado a escala real porque el aceite puede ser consumido por los microorganismos, o arrastrado por el viento.



Tabla 4.6. MTD con valores de reducción conocidos para el ganado vacuno relacionadas con la disminución de las emisiones durante el almacenamiento de las deyecciones.

<p>TIPOLOGÍA DE MTD: MANEJO DE LAS DEYECCIONES GANADERAS (ALMACENAMIENTO) CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.6 y A.3.7 – ALMACENAMIENTO DE DEYECCIONES CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: ALMACENAMIENTO DE ESTIÉRCOL Y PURINES</p>
<p>11. Reducir las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero a la atmósfera, procedentes del almacenamiento de las deyecciones sólidas (estiércol). Este tipo de MTD ya ha sido recogida en el BREF para la producción porcina y aviar (MTD 14 – Porcino/avícola; Tabla 3.7). La reducción de las emisiones de gases se producirá como consecuencia de impedir el contacto directo entre el estiércol y el aire, y por la reducción de la temperatura del estiércol al evitar la incidencia directa de la radiación solar. Este objetivo se puede conseguir mediante:</p> <p>a) Cubrir los montones de estiércol sólido y recoger los lixiviados: Aislar el compost del suelo, recoger y aplicar los lixiviados generados, y aplicar una cobertura de paja o utilizar una lámina plástica estabilizada frente a la radiación ultravioleta.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de NH₃: Hasta un 90% si además de cubrir el estiércol se compacta (Chadwick 2005). - Reducción de emisiones de GEI: Más de un 25% (REMEDIA 2020); un 30% de reducción del N₂O si además de cubrir el estiércol se compacta (Chadwick 2005). - Coste: Existe un coste de inversión para el sistema de recogida de lixiviados (hormigonado de la solera del estercolero, canaleta y un depósito), así como del material de la cubierta (REMEDIA 2020). <p>b) Almacenar el estiércol sólido en un cobertizo: Usar un cobertizo o edificio con suelo impermeable y con suficiente ventilación para mantener seco el estiércol y minimizar las pérdidas adicionales de NH₃.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Reducción de emisiones de NH₃: Un 20%, valor análogo al efecto de cubrir de los corrales de los alojamientos animales (UNECE 2014b). - Coste: Existe un coste de inversión para el sistema de recogida de lixiviados (hormigonado de la solera del estercolero, canaleta y un depósito), así como del material de la cubierta (REMEDIA 2020).
<p>12. Reducir las emisiones de amoníaco a la atmósfera procedentes de las balsas de almacenamiento de deyecciones líquidas (purines). Este tipo de MTD ya ha sido recogida en el BREF para la producción porcina y aviar (MTD 17 – Porcino/avícola; Tabla 3.7). Cubrir las balsas de purines mediante diferentes tipos de materiales para minimizar el intercambio de fase entre los compuestos volátiles orgánicos e inorgánicos disueltos en el purín y la atmósfera. Existen diferentes métodos para conseguir este objetivo:</p> <p>a) Cubiertas fijas para balsas de purines: El método mejor probado y más práctico para reducir las emisiones de las balsas de purines es cubrirla con una estructura “hermética”, sea una estructura rígida o una carpa flexible. Si bien es importante que dichas cubiertas estén bien selladas para minimizar el intercambio de aire, se debe proporcionar una ventilación mínima para evitar la acumulación de gases inflamables, especialmente el CH₄. Esta opción es únicamente aplicable en balsas de obra y puede combinarse con la recuperación del CH₄ para su valorización energética en la propia granja.</p>

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Más de un 80% (MAPAMA 2017, UNECE 2014b).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Más de un 25% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** 2-4 € por m³ y año o 1-2,5 € por kgN-NH₃ ahorrado (UNECE 2014b).

b) Cubiertas flotantes para balsas de purines: Las cubiertas flotantes consisten en la instalación de un material laminado tipo lona o geotextil, u otro material adecuado como estructuras de plástico flotantes. Son especialmente aptos para balsas excavadas en el suelo que sean relativamente pequeñas, siendo más difíciles de implementar en balsas de obra, especialmente aquellos con lados altos.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Más de un 60% para cubiertas de lámina, y más de un 40% para cubiertas flotantes (MAPAMA 2017, UNECE 2014b).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Más de un 25% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** Para cubiertas de lámina: 1,5-3 € por m³ y año o 0,5-1,3 € por kgN-NH₃ ahorrado; para cubiertas flotantes: 1,5-3 € por m³ y año o 0,3-5 € por kgN-NH₃ ahorrado (UNECE 2014b).

c) Formación de costra natural: Cuando el contenido de materia seca del purín es suficiente (>2%), se puede minimizar la agitación del purín durante el almacenado e introducir el nuevo purín por debajo de la superficie para fomentar la formación de una costra natural. La reducción con costra natural es una opción solo para las granjas que no necesitan mezclar con frecuencia el estiércol para esparcirlo en el campo.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Un 40% (MAPAMA 2017).
- **Reducción de emisiones de GEI:** Menos de un 10% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** Despreciable (UNECE 2014b).

d) Acidificación de los purines: De forma parecida a la MTD 5 del presente informe, los purines también se pueden acidificar en la balsa de almacenamiento, con unos resultados de reducción de las emisiones similares a los expuestos anteriormente.

13. Reducir las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero a la atmósfera, procedentes del almacenamiento de las deyecciones sólidas y líquidas mediante la adición de sustancias químicas o productos microbianos. La reducción de las emisiones de gases se producirá principalmente como consecuencia de la inhibición de los procesos bioquímicos relacionados con la producción de NH₃ y CH₄. Existe una gran variedad de productos y su eficacia necesita ser verificada en la mayoría de los casos.

- **Reducción de emisiones de NH₃:** Hasta un 60% (REMEDIA 2020)
- **Reducción de emisiones de GEI:** Más de un 25% (REMEDIA 2020).
- **Coste:** Supone un coste neto por la adquisición del aditivo (REMEDIA 2020).

De forma análoga a la gestión de las deyecciones en los alojamientos de los animales (ver punto 3.2.2), además de la acidificación directa de las deyecciones, se han considerado varios aditivos que pueden reducir la emisión de NH₃ del estiércol almacenado (Rotz 2004) (MTD 13 - Vacuno; Tabla 4.6). Esta estrategia no está incluida en el documento de orientación de la UNECE (2014b), debido seguramente a la variedad de productos y mecanismos de acción, y a la duración limitada de su efecto en el tiempo (Van der Stelt et

al. 2007). Los más prometedores incluyen sustancias que inhiben la ureasa (la enzima que cataliza la conversión de la urea a amoníaco) y las que inhiben la nitrificación (conversión del amoníaco a nitrato). Estos procesos conllevan una reducción de las emisiones de NH_3 y N_2O . Además, en el IRTA se han realizado estudios prometedores con la adición a los purines de vacuno de biomasa fúngica rica en estatinas, una sustancia que también se usa como aditivo alimentario, para controlar las emisiones de CH_4 .

4.3.2. Procesado de las deyecciones en la granja

A pesar de las dietas optimizadas, el diseño mejorado de los alojamientos del ganado y las buenas prácticas de manejo de las deyecciones descritas anteriormente, en muchas zonas de ganadería intensiva las cantidades de nutrientes generados con las deyecciones simplemente exceden la capacidad agronómica de los cultivos colindantes para extraerlos. Son las zonas definidas como vulnerables a la contaminación por nitratos, según la Directiva Europea (Directiva 91/676/CEE del Consejo). En estos casos es necesario aplicar sistemas de tratamiento de las deyecciones que facilite la recuperación y concentración de estos nutrientes, para poderlos exportar a mayores distancias donde sean deficitarios para la agricultura. A día de hoy existe un abanico muy amplio de tecnologías de tratamiento de las deyecciones ganaderas en la propia granja (Campos et al. 2004), y que en general pueden clasificarse como métodos fisicoquímicos (separación mecánica y/o precipitación química, y procesos de secado) y biológicos (tratamientos aerobios, compostaje, y digestión anaeróbica). En el BREF para la cría intensiva porcina y avícola (Santonja et al. 2017) se establecen una serie de MTD sobre el procesado de las deyecciones con el objetivo de minimizar las emisiones ambientales y recuperar nutrientes en un formato adecuado para su uso agronómico. Teniendo en cuenta que el procesado de las deyecciones viene con frecuencia más determinado por el formato de éstas (purín o estiércol) que por la cabaña que las produce, las técnicas disponibles son relativamente extrapolables a diferentes tipos de granjas, incluida la del vacuno de leche, tal como se recogen por parte del MAPAMA (2017).

Recientemente, el Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Generalitat de Cataluña (DARP) ha acotado el número de tecnologías de tratamiento consideradas como consolidadas a cinco (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020): la separación sólido-líquido, el compostaje, la digestión anaerobia, el secado solar, y la nitrificación-desnitrificación (Figura 4.2). Se entiende como tecnología consolidada de tratamiento de las deyecciones ganaderas aquella tecnología (o combinación de procesos de tratamiento) que ha sido suficientemente contrastada en condiciones de campo en el ámbito español, y que es viable tanto a nivel técnico y económico como en el ambiental. Estas tecnologías de tratamiento consolidadas, excepto el secado solar, se incluyen en la consideración de MTD tal como se contempla en el punto 4.7 de la Decisión de Ejecución (UE) 2017/302. El objetivo de esta decisión es el de clarificar los rendimientos esperados y simplificar la toma de decisiones del granjero en relación con la adopción de unas tecnologías de las que, de forma fundada, se les presupone un cierto nivel de eficiencia si cumplen una serie de requisito técnicos. La aplicabilidad de estas tecnologías consolidadas a la granja lechera ha sido plenamente validada y en el presente informe se han incluido los valores de referencia de la eficiencia de las tecnologías consolidadas (MTD 14 - Vacuno; Tabla 4.7).



Figura 4.2. Tecnologías de tratamiento y valorización de las deyecciones ganaderas consideradas como consolidadas por parte del DARP: a) separación sólido-líquido de los purines; b) compostaje del estiércol y de fracciones sólidas de deyecciones; c) secado solar de purines, estiércol, y fracciones sólidas de deyecciones; d) digestión anaerobia de deyecciones; y e) nitrificación-desnitrificación de la fracción líquida de los purines.

Tabla 4.7. MTD con valores de reducción conocidos para el ganado vacuno relacionadas con la eficiencia de recuperación o eliminación (en el caso del NDN) del nitrógeno como fertilizante orgánico mediante tecnologías de tratamiento de las deyecciones ganaderas.

TIPOLOGÍA DE MTD: MANEJO DE LAS DEYECCIONES GANADERAS (PROCESADO)
CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.2 y A.3.3 – ALMACENAMIENTO DE DEYECCIONES
CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: ALMACENAMIENTO DE ESTIÉRCOL Y PURINES

14. Tratamiento in situ de las deyecciones ganaderas con técnicas consolidadas. El procesado de las deyecciones en la propia granja ya ha sido propuesta como MTD en la producción porcina y avícola (MTD 19 – Porcino/avícola; Tabla 3.7). Permite reducir de forma significativamente las emisiones a la atmósfera y a suelos y aguas de nutrientes (nitrógeno y fósforo), olores y microorganismos patógenos, facilita el almacenamiento y/o aplicación al campo, y mejora su calidad agronómica como fertilizantes orgánicos:

- a) Separación mecánica de los purines:** Se fundamenta en procesos fisicoquímicos que permiten separar parte de los sólidos de los purines obteniéndose dos fracciones con diferentes características: una fracción más diluida con un bajo contenido de sólidos (fracción líquida), y otra más concentrada con un elevado contenido de sólidos (fracción sólida).
- **Eficiencia de recuperación del N:** 10% - 50% recuperado en la fracción sólida, en función de la tecnología de separación y el uso de agentes floculantes. El resto permanece en la fracción líquida (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).
 - **Reducción de las emisiones de GEI:** Más del 25% (REMEDIA 2020).
 - **Coste:** Entre 1€ y 5€ por m³ de purín tratado (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).
- b) Compostaje del estiércol:** Es un proceso biológico de descomposición y estabilización de la materia orgánica en condiciones aerobias (con presencia de oxígeno), en un régimen de operación que permite alcanzar temperaturas termófilas, y con el que se obtiene el compost.
- **Eficiencia de recuperación del N:** 85% recuperado en el compost, el valor restante corresponde a pérdidas en forma de emisiones de NH₃ (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).
 - **Reducción de las emisiones de GEI:** Menos del 10% (REMEDIA 2020).
 - **Coste:** Entre 4€ y 20€ por tonelada de estiércol tratada, en función del tipo de planta y valorización del compost final (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).
- c) Digestión anaerobia de purines y estiércol:** Es un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica en condiciones anaerobias, con el que se obtiene el biogás (un biocombustible) y digestato (fertilizante orgánico).
- **Eficiencia de recuperación del N:** 95% recuperado en el digestato, el resto se volatiliza durante la gestión del digestato (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).
 - **Reducción de las emisiones de GEI:** Más del 25%, siempre y cuando se valore el biogás (REMEDIA 2020).
 - **Coste:** Entre 4€ y 15€ por tonelada de deyección tratada, en función del tipo de planta y valorización del biogás (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).

- d) Secado solar de purines y estiércol:** Se aprovecha la radiación del Sol para evaporar agua y reducir la masa y volumen de las deyecciones. Es necesario aplicar diferentes medidas para evitar la volatilización del amoníaco, como son el confinamiento en un invernadero, la acidificación de los purines, y el tratamiento de los gases.
- **Eficiencia de recuperación del N:** 85% recuperado en la fracción seca, el valor restante corresponde a pérdidas en forma de emisiones de NH₃ (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).
 - **Reducción de las emisiones de GEI:** No hay datos específicos para esta tecnología, pero los valores deberán ser intermedios entre el compostaje del estiércol y la acidificación de purines.
 - **Coste:** Entre 4€ y 8€ por tonelada de deyección tratada, en función del tipo de planta (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).
- e) Eliminación de nitrógeno por nitrificación-desnitrificación:** Se basa en un proceso biológico que tiene como objetivo la eliminación del nitrógeno de la fracción líquida del purín, presente mayoritariamente en forma de nitrógeno amoniacal (NH₄⁺), transformándolo en nitrógeno molecular (N₂). Es la única tecnología de tratamiento que permite eliminar efectivamente el nitrógeno amoniacal, lo que conlleva la pérdida de un recurso con valor como fertilizante. Es por este motivo que la Decisión de Ejecución (UE) 2017/302 de la Comisión Europea limita este tratamiento a explotaciones existentes.
- **Eficiencia de eliminación del N:** 60% eliminado en forma de N₂, el valor restante corresponde principalmente a la purga de fangos y a pérdidas por volatilización del NH₃ (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).
 - **Reducción de las emisiones de GEI:** Menos del 10% (REMEDIA 2020).
 - **Coste:** Entre 4€ y 20€ por tonelada de estiércol tratada, en función del tipo de planta y valorización del compost final (Prenafeta-Boldú and Parera Pous 2020).

En lo que se refiere a la digestión anaerobia, cabe destacar que además de la recuperación de nutrientes en forma de un fertilizante orgánico de más fácil aplicación en campo (digestato), esta tecnología también tiene otros efectos colaterales positivos susceptibles de ser considerados en sí mismos como una MTD. Por un lado, el proceso de la digestión anaerobia tiene un efecto de higienización (eliminación de microorganismos patógenos de origen entérico, fitopatógenos, y semillas de malas hierbas). Por otra parte, en la medida que se valorice el biogás producido, la digestión anaerobia también supone una reducción indirecta de la emisión de GEI, ya sea por causa sea por su uso en calderas térmicas para calefacción, o para alimentar motores de generación eléctrica para auto consumo y/o inyección en red.

4.4. Aplicación agronómica de las deyecciones ganaderas

En el apartado de las MTD sobre la aplicación de las deyecciones en el campo de la guía del MAPAMA (2017), se describen las técnicas que permiten una aplicación de los nutrientes más ajustada a las necesidades del cultivo, minimizando tanto las emisiones a la atmósfera como por lixiviación, y que son aplicables a la mayoría de cabañas ganaderas. Estas consisten, por un lado, en implementar medidas que permitan ajustar la dosis de las deyecciones a las necesidades del cultivo y utilizar técnicas de aplicación que eviten las emisiones de amoníaco (MTD 15 - Vacuno; Tabla 4.8). En el caso de los purines, destaca la

restricción de la aplicación de los purines en abanico, sustituyendo este método por maquinaria que permita esparcir los purines de forma localizada (Figura 4.3). De acuerdo con la (UNECE 2014b), las técnicas de aplicación de las deyecciones con bajas emisiones se basan en uno o más de los siguientes principios: a) la disminución del área de la superficie emisora mediante la aplicación localizada; b) la reducción del tiempo de emisión gracias a la rápida incorporación a la tierra, el riego inmediato o la infiltración rápida; y c) la disminución del poder contaminante de la superficie emisora en origen, reduciendo el pH o la concentración amoniacal de las deyecciones.



Figura 4.3. Comparativa entre la aplicación de purines al campo en abanico (derecha), actualmente en vías de prohibición en la Unión Europea, y mediante un sistema de mangas (izquierda). Se puede apreciar la mayor formación de aerosoles y encharcamiento del suelo con el sistema en abanico, fenómenos vinculados a mayores emisiones de NH_3 y malos olores (Fuente: DARP).

Sin embargo, hay que tener en cuenta siempre la cuestión de los balances de nutrientes para realizar una fertilización ajustada a las necesidades de los cultivos, en tiempo y forma. Si la cantidad de deyecciones aplicadas en el campo excede la capacidad de las plantas para absorber el N, el riesgo de su pérdida de N por lixiviación o por emisión de N_2O aumenta. De ahí que la incorporación y, en especial, la inyección de los purines, presenta el riesgo de intercambiar la contaminación del aire por la del agua, si bien reduce el riesgo de escorrentía superficial por lluvias posteriores. Por esta razón, el momento de aplicación de los purines y el estiércol sólido debe buscar un equilibrio entre el potencial de reducción de las emisiones de NH_3 y otras posibles pérdidas, sin olvidar las necesidades del cultivo. Para evitar las pérdidas generales de N, no deben aplicarse las deyecciones cuando el cultivo no vaya a absorberlo o solo pueda hacerlo de manera muy limitada. Por este motivo, el establecimiento de planes de fertilización es una herramienta muy útil. Además de actuar sobre la forma en que se aplican las deyecciones ganaderas como fertilizantes orgánicos para los cultivos, también se puede actuar sobre cuestiones más directamente relacionadas con la selección y manejo de los cultivos. El “Código de Buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne” (REMEDIA 2020) hace especial inciso en estas estrategias (MTD 16 - Vacuno; Tabla 4.9), y las propone una serie de prácticas que podrían ser consideradas como MTD a tener en cuenta también para de vacuno de leche.

Tabla 4.8. MTD con valores de reducción conocidos para el ganado vacuno relacionadas con la aplicación agronómica de las deyecciones.

<p>TIPOLOGÍA DE MTD: FERTILIZACIÓN ORGÁNICA (APLICACIÓN EN CAMPO DE LAS DEYECCIONES GANADERAS) CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.6 y A.3.7 – ALMACENAMIENTO DE DEYECCIONES CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: APLICACIÓN EN CAMPO</p>
<p>15. Implementar sistemas de aplicación agronómica que eviten las emisiones al suelo, al agua, y a la atmósfera de nitrógeno, fósforo, gases de efecto invernadero, y microorganismos patógenos. Esta medida ya ha sido aceptada como MTD en la producción porcina y avícola (MTD 20 a 22 – Porcino/avícola; Tabla 3.8). Se puede conseguir mediante el uso de maquinaria especialmente diseñada para aplicar deyecciones ganaderas:</p> <p>a) Aplicación de purines diluidos mediante el riego: Consiste en la aplicación de purines de forma diluida (hasta un 2-4% de materia seca) con un sistema de riego de baja presión.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de reducción de las emisiones de NH₃: Un 30% (MAPAMA 2017). <p>b) Aplicación de los purines esparciéndolo en bandas: Consiste en la aplicación localizada de los purines sobre el suelo, mediante tuberías o zapatas que lo depositan minimizando las turbulencias con el aire.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de reducción de las emisiones de NH₃: Superior a un 30% (UNECE 2014b); un 30% para tubos colgantes y un 60% para zapatas (MAPAMA 2017). - Eficiencia de reducción de las emisiones de GEI: Inferior a un 10% (REMEDIA 2020). - Coste: Entre -0,5 y 1,5€ por kg NH₃-N ahorrado (UNECE 2014b). <p>c) Inyección de los purines al suelo: Consiste en la aplicación de purines de forma localizada en el interior suelo. Combina un arado que abre surcos (de profundidad variable) con unas mangueras que depositan el purín en el surco abierto, que se puede o no volver a cerrar posteriormente. Esta técnica puede ser problemática en caso de suelos arcillosos compactos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de reducción de las emisiones de NH₃: Superior a un 60% (UNECE 2014b); un 70% para la inyección superficial, en surco abierto y entre un 80% y un 90% para la inyección profunda con surco cerrado (MAPAMA 2017). - Eficiencia de reducción de las emisiones de GEI: Inferior a un 10% (REMEDIA 2020). - Coste: Entre -0,5 y 1,5€ por kg NH₃-N ahorrado (UNECE 2014b). <p>d) Incorporación directa de las deyecciones sólidas y líquidas tras su aplicación: Laboreo del suelo posteriormente a la aplicación de las deyecciones (purines o estiércol), para facilitar su enterrado.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de reducción de las emisiones de NH₃: Superior a un 30% (UNECE 2014b). - Coste: Entre -0,5 y 2€ por kg NH₃-N ahorrado (UNECE 2014b). <p>e) Acidificación de los purines previa a su aplicación: Los purines también pueden ser acidificados justo antes de su aplicación en el campo, mediante el uso de maquinaria adecuada de aplicación localizada, lo que supone un beneficio adicional en términos de emisiones de NH₃. Esta opción puede ser conveniente para suelos con un pH excesivamente alcalino.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de reducción de las emisiones de NH₃: Entre un 50% (Swensson 2003) y un 60% (UNECE 2014b). - Eficiencia de reducción de las emisiones de GEI: Puede comportar un incremento de las emisiones de N₂O.

f) Mejorar el pH del suelo: En los suelos que son excesivamente ácidos, se puede mejorar la calidad del suelo encalando para ajustar el pH a los niveles necesarios de los cultivos en la explotación. Los beneficios del encalado incluyen una mayor disponibilidad de nutrientes, una mejor estructura del suelo y mayores tasas de infiltración.

- **Eficiencia de reducción de las emisiones de NH₃:** Puede comportar un incremento de las emisiones de NH₃ si el pH final del suelo se sitúa por encima de 7,0.
- **Eficiencia de reducción de las emisiones de GEI:** Superior a un 35% en total; entre un 49% y un 66% de reducción de las emisiones de N₂O (REMEDIA 2020).

La mitigación de las emisiones de amoníaco contribuye de manera decisiva a reducir las pérdidas de N de origen agropecuario, y permite así maximizar los beneficios agronómicos de los fertilizantes minerales aplicados. El beneficio económico para los agricultores que se deriva de la reducción de las necesidades de fertilizantes minerales nitrogenados, se complementa con la reducción a nivel regional de los gases de efecto invernadero, gracias a esa menor necesidad de fertilizantes minerales, dado el alto coste energético de su fabricación y las emisiones de N₂O asociadas a la fertilización de los suelos.

Tabla 4.9. MTD con valores de reducción conocidos para el ganado vacuno relacionadas con el manejo de los cultivos asociados a la explotación.

TIPOLOGÍA DE MTD: FERTILIZACIÓN ORGÁNICA (MANEJO DE LOS CULTIVOS)

CATEGORÍA SEGÚN EL PNCCA: A.3.6 y A.3.7 – ALMACENAMIENTO DE DEYECCIONES

CATEGORÍA SEGÚN EL MAPAMA: APLICACIÓN EN CAMPO

16. Implementar prácticas agronómicas más sostenibles en el manejo de los cultivos fertilizados con deyecciones ganaderas. Esta medida se puede conseguir mediante el uso de maquinaria especialmente diseñada para aplicar deyecciones ganaderas:

- a) Establecer planes de fertilización:** Conocer con qué nutrientes cuenta el suelo y las necesidades del cultivo adaptadas a los rendimientos previstos, para estimar la cantidad y tipo de nutriente que será necesario aplicar, evitando así una aplicación de nutrientes en exceso.
- **Eficiencia de reducción de las emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020).
- b) Uso de fertilizantes orgánicos frente a fertilizantes inorgánicos o de síntesis:** Empleo de enmiendas orgánicas, abonos en verde o técnicas de rotación de cultivos fijadores de nitrógeno permite optimizar los ciclos de nutrientes, evitando el coste e impactos ambientales de producir y transportar fertilizantes sintéticos e inorgánicos.
- **Eficiencia de reducción de las emisiones de NH₃:** El uso de fertilizantes orgánicos puede conllevar un incremento de las emisiones atmosféricas y en las aguas, estando limitada en las zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.
 - **Eficiencia de reducción de las emisiones de GEI:** Superior a un 25% (REMEDIA 2020).

- c) **Uso de técnicas de no/mínimo laboreo:** Consiste en la siembra directa dejando que el suelo quede cubierto en más de un 30% de su superficie. Otra modalidad es la siembra en superficie e introducción posterior del ganado para facilitar la incorporación de la semilla al suelo mediante el pisoteo.
- **Eficiencia de reducción de las emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020).
- d) **Preservar las superficies de pastoreo / pastoreo rotacional:** Consiste en optimizar el aprovechamiento de los recursos pascícolas de las explotaciones. Se basan en la parcelación de la finca y en un calendario de pastoreo en el que se define el tiempo y el lugar donde va a pastorear un lote de animales a lo largo del año.
- **Eficiencia de reducción de las emisiones de GEI:** Entre un 10% y un 25% (REMEDIA 2020).

Además de actuar sobre la forma en que se aplican las deyecciones ganaderas como fertilizantes orgánicos para los cultivos, también se puede actuar sobre cuestiones más directamente relacionadas con la selección y manejo de los cultivos. El recientemente publicado “Código de Buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne” hace especial inciso en estas estrategias (MTD 16 - Vacuno; Tabla 4.9), y las propone una serie de prácticas que podrían ser consideradas como MTD a tener en cuenta también para de vacuno de leche (REMEDIA 2020).





IMPLEMENTACIÓN DE OTRAS MEDIDAS MTD AL SECTOR DEL VACUNO DE LECHE

5. IMPLEMENTACIÓN DE OTRAS MTD AL SECTOR DEL VACUNO LECHERO

En este apartado se enumeran y describen un conjunto de técnicas y prácticas ganaderas, en mayor parte de carácter innovador o emergente, que ya se están utilizando en granjas de producción lechera y que potencialmente podrían ser consideradas MTD en un futuro más o menos próximo, pero de las cuales todavía no existen estudios suficientes que demuestren su eficiencia y viabilidad económica en términos cuantitativos. Las fuentes citadas en esta sección hacen mención, con frecuencia, a notas de prensa o publicaciones con carácter de difusión, por lo que deben ser consideradas con cierta prudencia. Las técnicas recogidas tampoco han sido mencionadas en ninguno de los documentos publicados previamente sobre MTD en el ámbito ganadero. La mayoría de estas tecnologías están relacionadas con el manejo de las deyecciones dentro de las naves y su procesado posterior para su uso como fertilizantes.

5.1. Medidas en el alojamiento de los animales

5.1.1. Manejo de las deyecciones sólidas mediante el método de la cama compostante

El sistema de manejo de los animales más habitual en el sector del vacuno lechero en España es el de estabulación libre en cubículos. No obstante, el sistema conocido como cama compostante o cama caliente (CBP, del inglés compost-bedded packed barns) está teniendo una importante difusión en los últimos años. Esta forma de gestión de las deyecciones generadas en las naves ha sido liderada por Israel y los EEUU, donde ha sido valorada positivamente por los productores de bovino de leche en términos de coste, productividad, salubridad y bienestar animal (Black et al. 2013), y se ha ido extendiendo progresivamente a otros países, incluyendo España (Balcells et al. 2020). Con el método de la cama compostante, el ganado descansa sobre una cama constituida por sus propias deyecciones que son compostadas in situ, mediante la incorporación de paja o serrín y con laboreos diarios para la mezcla y aireación de la cama (Figura 5.1). La biodegradación de la materia orgánica y la evaporación del agua permite reducir significativamente la cantidad de deyecciones producidas y mejora el estado sanitario de los animales (menor nivel de cojeras e incidencia de mastitis).



Figura 5.1. Estudio de implementación de la cama compostante en una granja de producción lechera: a) adición de serrín y arado del lecho; b) detalle de la cama con una nueva capa de serrín recién añadida; c) medida de las emisiones de gases (Fuente: Proyecto CowCompost, IRTA).

No obstante, se desconoce en gran medida el impacto ambiental producido por este tipo de manejo de las deyecciones, especialmente en lo que se refiere a las emisiones de NH_3 y GEI. Una mayor aireación e incremento de la temperatura de la cama son condiciones que conllevan más emisiones de NH_3 , pero éstas podrían verse compensadas por la obtención de unas deyecciones parcialmente compostadas, facilitando su gestión y disminuyendo las emisiones en las etapas posteriores (tratamiento, almacenamiento, y aplicación en campo). Un extensivo estudio de revisión publicado recientemente por Leso et al. (2020) concluye que el manejo en cama compostante puede ser una alternativa viable a la estabulación libre o confinada con lecho de paja convencional de las vacas lecheras. Los principales beneficios de este sistema incluyen un mayor confort y salud en pezuñas y patas, un comportamiento animal más natural, y una mejor calidad del estiércol obtenido. Sin embargo, una humedad excesiva de la cama se asocia con una mayor prevalencia de vacas sucias y el consiguiente riesgo de mastitis, así como con mayores emisiones gaseosas.

En climas templados, mantener un lecho adecuadamente seco durante el invierno puede plantear algunos desafíos, requiriendo grandes cantidades de biomasa seca para absorber la humedad excesiva. Una comparativa del balance de nitrógeno entre el manejo en cama compostante y el estabulación libre en cubículos en explotaciones del entorno Mediterráneo ha demostrado que las emisiones de NH_3 son mayores en las primeras (Balcells et al. 2020). No obstante, estos estudios no han tenido en cuenta las pérdidas de nitrógeno que se producirían en el compostaje posterior de las deyecciones generadas con la estabulación libre. Falta también un estudio más profundo sobre la sostenibilidad del CBP, basado en el análisis del ciclo de vida (ACV), para valorar otros aspectos como el laboreo y transporte. Finalmente, la viabilidad económica del sistema de cama compostante sigue siendo limitada y la mayoría de los análisis económicos indican que tiene costos superiores a los sistemas convencionales, pero el valor económico de la mejora del bienestar que se puede lograr aún no se ha cuantificado adecuadamente.

5.1.2. Manejo de los purines mediante la bioacidificación

La técnica de la acidificación (ver la MTD 9 de la sección 4.2.2) tiene la gran desventaja que la manipulación de ácidos fuertes en la explotación ganadera puede ser peligrosa. El ácido sulfúrico (H_2SO_4) o ácido fosfórico (H_3PO_4) también añade nutrientes al purín que pueden provocar una sobrefertilización con azufre (S) o fósforo (P), respectivamente. Además, añadir mucho ácido sulfúrico puede producir sulfuro de hidrógeno (H_2S) y empeorar los problemas de olor y de salud y seguridad. El ácido nítrico (HNO_3) tiene la ventaja de aumentar el contenido de nitrógeno del purín, por lo que se obtiene un fertilizante más equilibrado en NPK, pero tiene la desventaja de estimular potencialmente la producción de N_2O , mediada por la desnitrificación y el aumento asociado del pH que favorece a su vez la volatilización del NH_3 .

Como alternativas, se está estudiando la acidificación de los purines mediante la adición de ácidos orgánicos, añadidos directamente o producidos in-situ mediante inóculos microbianos y/o la adición de fuentes de carbono fácilmente biodegradables (bioacidificación). Esto permite a su vez valorizar subproductos relacionados el sector lechero como por ejemplo el suero resultante de la elaboración de quesos (Prado et al. 2020). No obstante, los ácidos orgánicos tienen la desventaja de su rápida bioegradación, pudiendo generar CH_4 si lo hacen en condiciones anaerobias. Además, se necesitan en grandes cantidades para alcanzar el pH deseado, puesto que normalmente son ácidos débiles. A pesar de estos inconvenientes, algunas experiencias preliminares con purines de vacuno han mostrado su potencialidad, pero los pocos datos disponibles en la bibliografía provienen principalmente de ensayos de laboratorio condiciones de laboratorio (Gioelli et al. 2017, Prado et al. 2020).

5.2. Medidas en la gestión de las deyecciones ganaderas

5.2.1. Tratamientos innovadores de las deyecciones ganaderas

El ámbito del tratamiento y valorización de las deyecciones ganaderas se encuentra en continua evolución tecnológica, apareciendo continuamente en el mercado nuevas tecnologías cada vez más sofisticadas que prometen mejorar la eficiencia de los métodos convencionales descritos en el apartado 4.3.2. No obstante, debe tenerse en cuenta que éstas nuevas tecnologías suelen conllevar también costes más elevados, y que su impacto ambiental en términos de emisiones de NH₃ y GEI no se conoce de forma adecuada. En la Tabla 5.1 se presenta un resumen de las tecnologías consideradas como emergentes en el ámbito del tratamiento de las deyecciones ganaderas, y que potencialmente son aplicables en granjas de ganado vacuno.

Tabla 5.1. Resumen de las principales tecnologías de tratamiento de las deyecciones ganaderas consideradas como emergentes.

Tecnología (aplicabilidad ^{a)})	Objetivos	Ventajas	Inconvenientes
Humedales construidos (P, FL)	Aprovechar la fitorremediación para reducir los nutrientes y la materia orgánica	Sencillo y de bajo coste, integración paisajística, recuperación del agua	Requiere pretratamientos, riesgo de emisiones y malos olores, aparición de insectos
Secado térmico (P, F, FS)	Aplicación de calor, generalmente de combustión, per a evaporar agua	Higienización y concentración de los nutrientes	Alto coste energético, riesgo de emisiones, volatilización del amoníaco
Electrocoagulación (P, FL)	Proceso electroquímico de precipitación y separación de las partículas en suspensión	Instalación relativamente sencilla	Requiere reponer los electrodos, consumo eléctrico elevado, fangos difíciles de gestionar
Electrooxidación (FL)	Proceso electroquímico de oxidación de la materia orgánica	Instalación relativamente sencilla	Efecto incierto sobre el nitrógeno, se pueden liberar compuestos volátiles
Evaporación al vacío (P)	Deshidratación al vacío para concentrar los nutrientes y recuperar el condensado	Concentración de nutrientes con menos riego de emisiones que el secado térmico	Alto coste energético, no higieniza
Filtración por membrana y/o osmosis inversa (FL)	Filtrar para concentrar los nutrientes y recuperar el agua	Recuperación de un concentrado de nutrientes y agua, pocas emisiones	Requiere pretratamientos, alto coste energético y de las membranas
Incineración/pirolisis/gasificación (FS)	Combustión para obtener energía y fertilizantes	Ahorro energético, obtención de fertilizantes (biocarbón)	Sólo para fracciones secas, riesgo de emisiones, pérdida del nitrógeno
Ozonización (P, FL)	Oxidación química de la materia orgánica	Fácil de aplicar, cierto grado de higienización y reducción de los malos olores	Efecto incierto sobre el nitrógeno, riesgo de emisiones, el ozono es un gas tóxico
Precipitación de la estruvita (P, FL)	Precipitación del amonio y el fósforo con sales de calcio y magnesio	Obtención de un mineral de amonio y fosfato, pocas emisiones, bajo coste	Precipitación de metales y otros productos contaminantes
Stripping-absorción (P, FL)	Volatilización y absorción en medio ácido del amoníaco	Obtención de una solución amoniacal concentrada y limpia	Costes y riesgos de la manipulación de ácidos fuertes, gasto energético elevado
Tratamiento aerobio (P, FL)	Biodegradación aerobia de la materia orgánica	Reducción de patógenos y de los malos olores	Riesgo elevado de emisiones, si las condiciones de aireación no son óptimas

^a P: purines; E: estiércol; FL: fracción líquida de los purines; FS: fracción sólida de los purines.

Fuente: Santonja et al. (2017) y Prenafeta-Boldú and Parera (2020).

5.2.2. Elaboración de fertilizantes de la categoría RENURE

El año 2020 la Unión Europea, a través del Joint Research Centre (JRC), ha publicado el informe titulado “Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC)” (Huygens et al. 2020). En él se propone una nueva categoría de fertilizantes derivados parcial o totalmente de las deyecciones ganaderas que se puedan utilizar en áreas sujetas al límite máximo de 170 kg N/ha/año, prescrito en el Anexo III de la Directiva sobre Nitratos (CEE/91/676), siguiendo disposiciones idénticas a las aplicadas a los fertilizantes químicos nitrogenados. Por lo tanto, estos fertilizantes, denominados como RENURE del inglés REcovered Nitrogen from manURE (nitrógeno recuperado de las deyecciones), no están sujetos a las restricciones de los fertilizantes orgánicos en las zonas vulnerables. En base a técnicas de modelado biogeoquímico, mediciones analíticas, y de técnicas cualitativas y cuantitativas de revisión de literatura (metanálisis), se ha establecido que para la consideración de como RENURE los fertilizantes deben cumplir alguna de las siguientes condiciones: (i) que la relación entre el carbono orgánico total y el nitrógeno total sea inferior a 3 ($TOC: TN \leq 3$), o (ii) que la relación entre el nitrógeno mineral y el nitrógeno total sea superior al 90% ($N_{\text{mineral}}: TN \geq 90\%$). De esta forma, los fertilizantes RENURE pueden tener un potencial de lixiviación de nitrógeno y una eficiencia agronómica similares a los fertilizantes nitrogenados químicos derivados del proceso de Haber-Bosch.



Figura 5.2. Implementación de una planta de producción de fertilizantes RENURE en una granja de producción lechera de Irlanda del Norte (Templepatrick) de 1200 vacas (a), por parte de la empresa noruega N2 – Applied (b), en un reactor de plasma basado en el proceso de Birkeland-Eyde (c). Fuente: The Farm Trader (<https://www.farmtrader.co.nz/features/1810/irish-farmer-trials-nitrogen-fixing-plasma-reactor>).

Dentro de esta categoría podrían estar las fracciones de las deyecciones ricas en nitrógeno, como las sales de lavado y los concentrados minerales (procedentes de la precipitación de estruvita o del stripping-absorción de amoníaco), y los digestatos líquidos obtenidos mediante centrifugación y/o eliminación avanzada de sólidos. También se han desarrollado procesos más sofisticados, basados en la manufactura de productos mixtos orgánico-minerales, como por ejemplo la tecnología conocida comercialmente como N₂ Applied (<https://n2applied.com/>), basada en la fijación de nitrógeno atmosférico en la fracción líquida de purines o digestato mediante el proceso de Birkeland-Eyde. Este procedimiento fija el nitrógeno atmosférico (N₂) en ácido nítrico (HNO₃) mediante la generación de un plasma por arco eléctrico a alta temperatura, que es entonces utilizado como fuente de nitrato (NO₃⁻) en presencia de agua o de una base. Un ensayo a escala

piloto/demostrativo en una granja irlandesa de 1200 vacas de producción lechera para la valorización del digestato como fertilizante RENURE (Figura 5.2), indicaría que se produce un ahorro en fertilizantes inorgánicos nitrogenados del 20%, lo que permitiría amortizar la planta en 7 años. Por otra parte, el proceso es particularmente eficiente si se puede combinar con otras fuentes de generación de energía eléctrica renovable, como es el caso del solar fotovoltaico o el eólico mencionadas en el apartado previo.

Sin embargo, para cumplir con los objetivos de protección ambiental es necesario combinar el uso de RENURE con buenas prácticas de gestión, incluyendo el uso de cubiertas vegetales o cultivos captadores (ver el apartado siguiente), técnicas de aplicación de bajas emisiones de NH_3 y buenas condiciones de almacenamiento de los fertilizantes RENURE. En resumen, la implementación de la propuesta RENURE se ha planteado como parte de los sistemas de gestión de las deyecciones ganaderas que permiten avanzar hacia una economía más circular y una vía para una mayor eficiencia de los recursos en el sistema de producción de alimentos.

5.2.3. Sembrar cultivos captadores para recuperar nutrientes excedentarios del suelo

En los últimos años se han realizado numerosas experiencias para atajar el problema de la lixiviación de los nutrientes, y la subsiguiente contaminación de los acuíferos, con lo que se conoce como cultivos captadores (catch crops en inglés). Esta práctica consiste en intercalar un cultivo de crecimiento rápido entre plantaciones sucesivas del cultivo principal, con el objetivo de prevenir la lixiviación de los nutrientes excedentarios (N y P). Estos cultivos pueden ser incorporados de nuevo como abono verde para el cultivo principal, o extraídos con la siega para su procesado posterior (digestión anaerobia). Los cultivos captadores ejercen una influencia beneficiosa sobre el suelo, evitando la lixiviación de nutrientes entre un 20% y un 70%, protegiéndolo de la erosión, promoviendo el secuestro del CO_2 incrementando la materia orgánica del suelo, y mejorando la estructura del suelo (reduce la compactación hasta en un 20%, aumenta el contenido de humedad, la temperatura y la porosidad). Además, la incorporación de biomasa vegetal aumenta la biodiversidad de la microbiota del suelo en un 20% - 80%, e incrementa la actividad enzimática (Wanic et al. 2019).

En un estudio reciente realizado por el IRTA en una granja de producción lechera de Girona que dispone de un digestor anaerobio, basado en una cuantificación realista de los impactos generados mediante el análisis del ciclo de vida (ACV), se han estudiado diferentes escenarios basados en la introducción de diferentes cultivos captadores en la producción de maíz forrajero para alimentar el digestor y obtener digestato como fertilizante orgánico (Montemayor et al. 2019). Los resultados demostraron que la sustitución de una parte importante de fertilizantes minerales con digestato compensa en gran medida el impacto sobre el calentamiento global (entre un 25% y un 35% de reducción), el agotamiento de los recursos (entre un 94% y un 96% por el ahorro de nutrientes inorgánicos), la formación de ozono troposférico (entre un 17% y un 22%), sin prácticamente ningún impacto sobre la destrucción del ozono estratosférico ni sobre la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. Sin embargo, la producción y aplicación de digestato contribuyó en gran medida al incremento de las categorías de acidificación por causa de las emisiones de NH_3 (51%), y de partículas en suspensión (51%–52%), con pequeñas diferencias según la especie de cultivo captador utilizada.

Tal como se ha comentado anteriormente, la digestión anaerobia tiene un efecto de higienización sobre los microorganismos patógenos que también debe ser tenido en cuenta como fenómeno que aporta valor añadido al digestato como fertilizante orgánico. En un estudio realizado en tres granjas lecheras irlandesas se comparó el contenido de enterobacterias en purines sin tratar y en el digestato, almacenados a

temperatura ambiente durante 56 días (entre 4 y 13°C). Durante la primera semana de almacenamiento hubo una reducción de entre 0,32 y 0,36 órdenes de magnitud (\log_{10}) en los números de coliformes y E. coli, respectivamente, mientras que la reducción en el digestato dentro del mismo periodo alcanzó el rango de 1 a 1,5 \log_{10} (Nolan et al. 2018).

5.3. Medidas relacionadas con las energías renovables

5.3.1. Implementación de sistemas de generación eléctrica fotovoltaica y/o minieólica

El listado de MTD contempladas en la Decisión de Ejecución (UE) 2017/302 de la Comisión Europea, recogidas también por el MAPAMA (2017), incluye la adopción de medidas para fomentar el ahorro y la eficiencia energética (ver la MTD 8; Tabla 3.5), pero no se hace ninguna mención explícita a la generación de energías renovables. Las explotaciones ganaderas tienen un gran potencial en este sentido, sobre todo a partir de la producción de biogás y biomasa para la combustión, pero también a partir de la energía solar fotovoltaica y/o minieólica, a la vez que tienen una demanda eléctrica importante. Es pues un tanto paradójico que la generación de energía eléctrica renovable no se haya incluido como una MTD en el sector ganadero.

Revisando la evolución de las energías renovables en España, en 2007 se implementó un sistema de bonificaciones que tenía como objetivo incentivar su producción. Estas bonificaciones de producción, garantizadas por el gobierno español, supusieron un aumento exponencial del número de empresas en el mercado y, en consecuencia, de los MWh producidos. Sin embargo, en 2012, dada la excesiva carga presupuestaria que suponía mantener este sistema de ayudas pero también por la oposición de las grandes compañías energéticas, y tras varios años de inestabilidad institucional, se eliminó el mencionado sistema de incentivos a la energía fotovoltaica (Fernández-González et al. 2020). Como consecuencia de estos cambios regulatorios, y del consiguiente debilitamiento del sector fotovoltaico, se ha estimado que mientras que España cuenta con unos 10.000 tejados solares, en Alemania hay 1,5 millones, en Reino Unido unos 800.000, y en Italia alcanzan los 600.000 (Avellaner et al. 2020).

Esta situación es paradójica teniendo en cuenta la situación de privilegio que ocupa una buena parte de la península Ibérica en relación a la insolación solar que recibe, en comparación con los países europeos que actualmente lideran la producción fotovoltaica, y la necesidad imperiosa de cumplir los compromisos adquiridos por los estados de reducir de forma significativa las emisiones de gases de efecto invernadero en los próximos años. La derogación en 2018 del Real Decreto 900/2015, famoso por instaurar el llamado “impuesto al Sol”, y el desarrollo de una normativa más favorable para el autoconsumo en el Real Decreto 244/2019, ha permitido reactivar el sector fotovoltaico a nivel doméstico, servicios, y de las PYMES. A esto hay que añadirle el hecho que las placas solares fotovoltaicas han mejorado sus prestaciones y bajado de precio hasta de forma notable en estos últimos años.

La implementación de instalaciones de producción de energía eléctrica fotovoltaica es una opción muy interesante en la agricultura en general (Zambon et al. 2019), pero está especialmente indicada para la producción ganadera intensiva en particular, por una serie de circunstancias específicas inherentes del sector:

- Necesidad de implementar buenas prácticas y mejores técnicas disponibles en la propia granja para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y cumplir con una normativa ambiental que cada vez es más exigente con la reducción del impacto de la explotación ganadera.

- Disponibilidad de una elevada de superficie no útil en la propia explotación, especialmente en los tejados de las naves donde se alojan los animales, para la instalación de paneles solares.
- Un consumo regular de energía eléctrica, especialmente durante las horas del día, para la ventilación de las naves, sistemas de alimentación y suministro de agua, ordeño, etc. (la generación y consumo energético se producen prácticamente en el mismo tiempo y espacio).

Como consecuencia de estos incentivos y necesidades, el interés y el número de granjas que adoptan la energía solar fotovoltaica está creciendo en las diferentes autonomías de España. No obstante, a día de hoy todavía no se ha realizado un análisis exhaustivo de las experiencias, modalidades de aplicación (autoconsumo con o sin inyección a la red del excedente), y la bibliografía disponible sobre estas cuestiones es prácticamente inexistente. Algunas experiencias pioneras, generalmente en otros países, han demostrado la viabilidad técnica y económica de este modelo energético para granjas avícolas (Cui et al. 2019) y porcinas (Rzeźnik et al. 2017), pero también para el vacuno de leche (Breen et al. 2020). Los sistemas de producción minieólica, a pesar de no estar tan avanzados como la tecnología de los paneles solares fotovoltaicos. También pueden ser interesantes en un futuro para aquellas zonas expuestas a vientos relativamente constantes.



a)



b)

Figura 5.3. Instalación fotovoltaica en una granja gallega de producción lechera: (a) paneles fotovoltaicos en el tejado de la nave principal, (b) baterías de acumulación (Fuente: Campo Galego, Xornal Dixital Agrario, <https://www.campogalego.es/ganaderia-o-cobelo-apuesta-por-la-energia-solar-y-por-el-cebo-de-terneros/>).

En España se han reportado algunas experiencias positivas en revistas de carácter técnico o de difusión, como es el caso de la granja familiar de producción lechera “O Cobelo”, en Galicia, con 260 cabezas de ganado (Figura 5.3). Las 64 placas solares están instaladas en el techo del establo y cubren una superficie de unos 180 metros cuadrados. La energía fotovoltaica que producen se almacena en 48 baterías que proporcionan energía eléctrica tanto para el funcionamiento de la explotación (sala de ordeño, arrobadera, alumbrado, tanques de frío, etc.) como para la vivienda familiar. En un día de pleno sol las placas solares producen unos 5.000 vatios por hora con los que se cargan las baterías. Se ha estimado que durante los meses de invierno la factura eléctrica se reduce entre un 30% y un 50%, siendo la explotación autosuficiente entre el mes de abril hasta octubre. En el contexto gallego de esta explotación, debe tenerse en cuenta que el 61,6% de las necesidades energéticas (384,1 kwh/vaca) se cubren con electricidad, seguida por la energía suministrada por el gasoil con el 17,2% (115,5 kwh/vaca), y por último la energía suministrada por combustibles gaseosos con el 11,2% (71.3 kwh/vaca). En cuanto a actividades, la media de los consumos

se dividen en un 16% para la alimentación, un 1% para la limpieza, un 21% para el calentamiento de agua, y un 62% en el resto de actividades donde destacan principalmente el ordeño (Irimia et al. 2012).

5.3.2. Implementación de sistemas de producción de biometano para su inyección en red

Después de la “crisis del biogás” en el ámbito agrícola y ganadero que hubo en España a partir del Real Decreto 1/2012, que a través la famosa moratoria a las renovables dejó de primar las nuevas instalaciones, en los últimos años se está produciendo una reactivación del sector gracias a los avances en la conversión y valorización del biogás a biometano. Este último gas se obtiene a partir del enriquecimiento del biogás, que contiene entre un 50% a un 70% de metano, a más del 90% en CH₄ mediante el proceso conocido como upgrading, de forma que se convierte a un producto análogo al gas natural que no obstante procede de la biomasa y es por tanto un recurso renovable que no contribuye al cambio climático. El uso más directo del biometano es su inyección directa a la red de gas natural, ahorrando así la su costosa conversión a energía eléctrica para una valorización más eficiente.

Recientemente se ha reportado el que parece ser es la primera iniciativa de implementación de un sistema de conversión de biogás a biometano en una granja de vacuno de leche (con una producción media anual de 22 millones de litros de leche al año), para su posterior inyección en la red de gas natural. Se trata de la empresa familiar Torre Santamaría, en Balaguer (Lleida), que trata todos los residuos orgánicos que produce en un digestor anaerobio, al que recientemente se le ha añadido una unidad de upgrading del biogás (Figura 5.4). Según se cita, este hito ha supuesto una inversión cercana a los 4 millones de euros, que ha sido posible gracias a la firma con Axpo del primer acuerdo de compraventa de biometano a largo plazo en España. Esta explotación ha sido pionera en temas medioambientales, en la implantación genética A2, siendo en 2019 la primera explotación lechera que el Grupo Lactalis certificó en bienestar animal (Welfair™).



Figura 5.4. Primera planta de digestión anaerobia y de upgrading del biogás obtenido a biometano en una explotación ganadera de vacuno de leche (Granja Torre Santamaria, Lleida). Fuente: Retema (<https://www.retema.es/noticia/una-granja-de-lleida-primera-capaz-de-convertir-en-biometano-el-100-de-sus-residuos-o-0147j>)



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Contexto de la política ambiental, normativa, y documentos técnicos aplicables

1. El primer Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica (PNCCA) ha fijado las medidas que España debe adoptar para reducir los niveles de contaminación del NH₃ proveniente de la actividad ganadera para el 2030, y deben ser implementadas en todas las explotaciones, ya sean existentes o de nueva construcción. Estas medidas conllevan unos objetivos de reducción de las emisiones que, en el caso del bovino, hacen referencia a la alimentación (no se especifica el objetivo) y alojamiento de los animales (reducción del 20% en explotaciones existentes y 25% en las nuevas), así como al almacenamiento de sus deyecciones (reducción del 40% en explotaciones existentes y 80% en las nuevas).
2. En el marco de la Directiva de Emisiones Industriales 2010/75/UE (prevención y control integrados de la contaminación), en el año 2017 se ha publicado el Documento de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles (BREF) para la Cría Intensiva de Aves o Cerdos. A día de hoy este es el único documento BREF en el ámbito de la ganadería motivo por el cual, en algunos aspectos (especialmente la gestión, tratamiento y aplicación de las deyecciones), también se utiliza como referencia en otras cabañas ganaderas como es el caso del vacuno de leche.
3. En base al documento anterior, la Decisión de Ejecución (UE) 2017/302 de la Comisión, de 15 de febrero de 2017, ha establecido un total de 34 MTD y define los niveles de emisiones atmosféricas asociados a cada una de ellas, indicados como la masa de sustancias emitidas por plaza de animal en relación con todos los ciclos de cría realizados durante un año.
4. En el “Documento Orientativo Sobre la Prevención y Reducción de las Emisiones de Amoníaco de Origen Agropecuario”, publicado en 2014 por la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE) y traducido al castellano por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA), se proponen una serie de MTD para su aplicación a las distintas cabañas ganaderas, incluida la del vacuno de leche.
5. A partir de los dos documentos anteriores, en el 2017 el MAPAMA ha publicado la “Guía para de las Mejores Técnicas Disponibles para Reducir el Impacto Ambiental de la Ganadería”, el principal documento en el que describen MTD susceptibles de ser aplicadas al sector bovino. La guía del MAPAMA traduce, adapta, y complementa los contenidos del documento del BREF para la Cría Intensiva de Aves y Cerdos, y actualiza otros documentos relacionados que han sido publicados anteriormente. Tiene también la particularidad de hacer una primera valoración del grado de aplicación de las MTD existentes para las cabañas avícola y porcina al ganado bovino.
6. La Guía del MAPAMA agrupa las MTD propuestas por la Decisión de Ejecución (UE) 2017/302 de la Comisión en nueve grandes categorías: a) sistemas de gestión ambiental, b) gestión nutricional, c) uso eficiente del agua, d) uso eficiente de la energía, e) control del ruido, polvo y olores, f) almacenamiento de estiércol y purines, g) aplicación de las deyecciones al campo, h) medidas de estimación y supervisión de las emisiones, y i) control de las emisiones de amoníaco en los alojamientos de los animales. De éstas MTD, únicamente se aportan valores de reducción de NH₃ de las que están más directamente relacionadas con la gestión y aplicación de las deyecciones ganaderas.

7. Por parte del sector, destaca la publicación reciente del “Código de buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne”, un documento en formato de guía que se ha publicado en 2020 por encargo de la Asociación Interprofesional de la Carne de Vacuno (PROVACUNO) a la Red REMEDIA, una red científica creada en 2012 en el ámbito de la investigación para la mitigación del cambio climático en los sectores agrario, ganadero y forestal en España. En él se proponen valores de reducción de las emisiones, principalmente de GEI, asociadas a prácticas concretas para su consideración como MTD. La principal novedad de este documento en relación a los anteriores es que considera diferentes medidas que en principio están directamente orientadas a la mejora de la productividad y a la salud y bienestar animal como MTD, en la medida que supongan una menor cantidad de insumos (agua, alimentos, energía, etc.) por unidad de producto obtenida. Una innovación importante en este sentido es la incorporación de la digitalización (smart farming), basada en conceptos como la sensorización, gestión de datos masivos, y la inteligencia artificial.
8. En el presente informe se han integrado los documentos de referencia existentes, y se han complementado con la bibliografía científico-técnica recopilada (en total se han consultado 87 documentos, que han sido convenientemente listados en el apartado de referencias bibliográficas). Se ha listado 16 buenas prácticas sobre las que existen evidencias cuantitativas de los niveles de reducción de las emisiones de NH₃ y/o GEI, que a su vez se desglosan en 46 acciones específicas susceptibles de ser consideradas como MTD. En algunos casos, se presentan indicaciones de los costes y, para las tecnologías de tratamiento de las deyecciones, de los valores de eficiencia del proceso en base al nitrógeno gestionado (recuperado o eliminado). También se han descrito 7 técnicas innovadoras o emergentes susceptibles de ser consideradas como MTD en la medida que exista más datos sobre su viabilidad económica y ambiental.

6.2. MTD relacionadas con la nutrición

9. Existe un consenso bastante extendido en la literatura científica y técnica que las mayores reducciones en emisiones de NH₃ se pueden conseguir gracias a la implementación de estrategias de gestión nutricional, orientadas a ajustar el aporte de proteínas en la dieta de acuerdo con las necesidades cambiantes del animal. Esta alimentación optimizada se implementa principalmente a través de alimentación por fases y/o con una dieta baja en proteínas, sin llegar a comprometer los parámetros de producción y de salubridad del animal.
10. Se han desarrollado diversos aditivos destinados a minimizar las pérdidas de NH₃, principalmente por su volatilización en las deyecciones. Los principales mecanismos de acción son la acidificación, la inhibición de la enzima ureasa, la adsorción del amoníaco, y la inmovilización biológica del amonio por la biomasa microbiana. La adición de la mayor parte de estos productos ha sido ensayada directamente en las deyecciones, donde su eficacia parece ser más clara que cuando son utilizados como aditivos en la dieta.
11. En lo que se refiere a los aditivos para el control de las emisiones de GEI, esta cuestión es mucho más relevante en los animales rumiantes que en los monogástricos, motivo por el que el BREF para la cría intensiva de cerdos y aves le da menos importancia que a las emisiones de NH₃. No obstante, para el vacuno se han propuesto numerosas alternativas para disminuir la producción de metano ruminal mediante el uso de productos químicos o microbiológicos (pre- y probióticos) que

actúan directa o indirectamente sobre la microbiota entérica metanogénica. Las medidas que han demostrado ser más efectivas son la suplementación con nitrato, el subministro de dietas con un alto contenido de concentrados, y la suplementación con lípidos.

12. En cuanto al efecto y los beneficios de los aditivos nutricionales sobre las emisiones, tanto de NH_3 como de GEI, y dada la variedad de productos y mecanismos implicados, la efectividad de muchos de estos aditivos es dudosa, sobre todo a medio y largo plazo, por causa de la adaptación de las poblaciones microbianas a los procesos inhibitorios o por la emisión de NH_3 y/o GEI en un estadio posterior, una vez los aditivos se degradan. Pueden, por tanto, ser útiles para minimizar las emisiones de las deyecciones en los alojamientos de los animales (en las fosas de purines y en la yacija), a corto término, pero no tanto para su aplicación en el estercolero o balsas de almacenamiento.
13. Se identifica una oportunidad muy clara de aplicar técnicas de alimentación de precisión, que permitan ajustar el aporte dietario a cada animal, en función de su desarrollo, y vincular a su vez estos datos con los generados a partir del manejo, parámetros productivos, genéticos, etc. desde una visión de gestión optimizada de la granja basada en el análisis de datos masivos.
14. También se plantea como una MTD novedosa la posibilidad de suministrar fuentes alternativas de proteína y otros alimentos, procedentes de cultivos próximos o de subproductos generados en el entorno de la explotación, que puedan substituir a la proteína o fibra importada a costa de una elevada huella ambiental. No obstante, esta opción puede estar limitada por la disponibilidad y variabilidad de los subproductos, y por la dificultad de asignarles un valor de reducción concreto, teniendo en cuenta los múltiples factores que pueden intervenir en su cuantificación (conservación y transporte, efectos cruzados con otros posibles aprovechamientos, etc.).

6.3. MTD relacionadas con el alojamiento y manejo de los animales

15. Los principales aspectos relacionados con el diseño y manejo de los alojamientos que influyen en las emisiones de NH_3 y GEI son la ventilación y el control térmico de las naves. Los alojamientos de las vacas lecheras en las condiciones de producción predominantes en España suelen estar de por sí poco confinadas, con un nivel de aireación natural importante, pero deben disponer de una cubierta que evite la incidencia del sol y las precipitaciones sobre la cama de los animales. Además, puede ser conveniente incorporar sistemas de ventilación activa para bajar la temperatura y humedad de la cama, y mejorar así mismo el bienestar animal.
16. Una medida muy efectiva para controlar las emisiones de NH_3 en explotaciones confinadas consiste en tratar los gases emitidos mediante un lavador ácido. No obstante, las granjas lecheras suelen tener zonas de estabulación libre y no suelen estar lo suficientemente cerradas para que tenga sentido implementar estos sistemas de tratamiento de gases. Aunque poco ensayados en nuestras condiciones, las experiencias en Dinamarca han demostrado que la utilización de ácidos puede ser muy eficaz para disminuir el pH de los purines en la fosa para prevenir la volatilización del NH_3 .
17. La eliminación frecuente de las deyecciones en los alojamientos animales es un factor importante y el PNCCA establece un valor de referencia de un 20% de reducción de las emisiones de NH_3 cuando las fosas se vacían como mínimo de dos veces por semana. Por otra parte, el lavado regular de los corrales de espera en caso de gestión con purines, o la adición de más paja en el manejo con

yacija, se ha vinculado a reducciones de hasta un 50% en las emisiones de NH_3 , pero también puede aumentar el consumo de agua/paja y el volumen de las deyecciones a gestionar.

18. El NH_3 se produce principalmente por causa de la rápida descomposición de la urea presente en la orina, por lo que la separación de las heces y la orina en origen permite una gestión optimizada de cada fracción. Esto se puede conseguir con la implementación de superficies con la inclinación y relieve adecuados y sistemas de recogida selectiva de la orina.
19. Considerando que una mejora en productividad, sobre todo cuando no es a costa de incrementar los insumos de forma significativa, repercute en un menor impacto por unidad de producto generado, existen una serie de buenas prácticas en el manejo de los animales dirigidas a mejorar la productividad que son susceptibles de ser consideradas como MTD: selección de reproductores y mejora de la fertilidad, mejora del bienestar y salubridad de los animales, y aumento de la longevidad. Tal como se ha comentado anteriormente, esta propuesta parte principalmente por parte de los productores ganaderos (Asociación Interprofesional PROVACUNO) y también puede tener el beneficio de promover el bienestar animal si se aplican correctamente.

6.4. MTD relacionadas con el almacenamiento y procesado de las deyecciones ganaderas

20. Las MTD que afectan al almacenamiento y procesado de las deyecciones ganaderas en la propia granja están en general más condicionadas por el formato y composición de las deyecciones (purines o estiércol, cantidad de materia seca, nitrógeno amoniacal, etc.) que por el tipo de animal que las genera. Las MTD aplicables para el vacuno de leche son análogas a las establecidas para otras cabañas, como es el caso del porcino, y los valores de emisiones de referencia se suelen extrapolar entre ellas.
21. La MTD más común durante el almacenamiento consiste en el dimensionamiento adecuado y el confinamiento de las balsas de purines y de los estercoleros. Este confinamiento puede ser más o menos estanco en función del material utilizado para la cobertura, lo que influirá en los valores de reducción de las emisiones, pero también en los costes asociados.
22. En lo relativo a los tratamientos de las deyecciones ganaderas, su procesado conlleva la generación de fracciones más estables, con un mayor valor agronómico, y menos emisiones. A día de hoy existen numerosas tecnologías disponibles, pero destacan unas pocas por tener una madurez tecnológica y experiencia acumulada suficiente para garantizar unos niveles de efectividad y de emisiones conocidos. Las principales tecnologías consolidadas en nuestro entorno son: la separación sólido- líquido de los purines, el compostaje del estiércol y de la fracción sólida separada de los purines, la digestión anaerobia de purines y estiércoles, la nitrificación-desnitrificación de la fracción líquida de los purines y, más recientemente, el secado solar de los purines y la fracción sólida de éstos.
23. Es importante destacar que la nitrificación-desnitrificación es la única tecnología que elimina el nitrógeno amoniacal, convirtiéndolo en nitrógeno molecular, un gas inerte que forma el 80% de la atmósfera terrestre. Esto puede ser la solución para zonas con nitrógeno excedentario, pero en el fondo supone la pérdida de un nutriente de valor, por lo que las políticas ambientales actuales tienden a desincentivar la implementación de esta tecnología en granjas de nueva construcción o en ampliaciones de las existentes.

6.5. MTD relacionadas con la aplicación agronómica de las deyecciones

24. De forma análoga a la categoría anterior sobre el procesado de las deyecciones, la aplicación agronómica de éstas depende principalmente de las características fisicoquímicas, con lo que las MTD existentes para el porcino son fácilmente extrapolables a la explotación del vacuno de leche. Los factores a tener en cuenta se basan en la aplicación en el momento adecuado para el cultivo, en función del contenido en nutrientes de las deyecciones, y con técnicas que permitan una dosificación y una incorporación rápida en el suelo, para minimizar las pérdidas de nutrientes por lixiviación y volatilización
25. Más allá de las cuestiones sobre la mecanización de las técnicas de aplicación, es necesario establecer un plan de fertilización en los que los aportes se establezcan en base a balances entre las necesidades del cultivo, adaptadas a los rendimientos previstos, y la cantidad de nutrientes que ya existe en el suelo. Este plan debe contemplar tanto la fertilización orgánica como la mineral, primando siempre que sea posible la primera sobre la segunda. En algunos casos podrán considerarse estrategias de intervención mínima, como estrategia para preservar el suelo y generar menos emisiones asociadas al laboreo.
26. Finalmente, como estrategia para recuperar los nutrientes excedentarios que permanezcan en el suelo entre rotaciones de cultivos, existe la posibilidad de plantar cultivos captadores. La misión de estos es la de absorber los nutrientes dejados por el cultivo previo, y proteger el suelo contra la erosión. La biomasa generada podría emplearse para alimentar un digestor anaerobio que funcione en régimen de codigestión para tratar las deyecciones ganaderas, y que genere biogás como fuente de energía disponible dentro y fuera de la propia explotación ganadera. Además de incrementar la producción de biogás, el digestato generado permite volver a disponer de los nutrientes excedentarios captados para su aplicación al cultivo principal.

6.6. MTD emergentes aplicables al vacuno de leche

28. Se han identificado siete técnicas innovadoras destinadas a mejorar la sostenibilidad de la explotación ganadera, y que han sido aplicadas en el ámbito de la producción lechera. De modo general, estas experiencias se han descrito en medios no dirigidos al ámbito de la difusión técnica en el sector ganadero, no existiendo suficientes evidencias sobre sus beneficios y niveles de reducción de las emisiones en la bibliografía científica. Tampoco han sido mencionadas explícitamente como MTD en los documentos de referencia consultados.
28. Las técnicas innovadoras identificadas se agrupan en tres categorías principales: medidas aplicables en los alojamientos de los animales (la cama compostante para el manejo de las deyecciones sólidas, y la bioacidificación para las deyecciones líquidas), el procesado y aplicación de las deyecciones como fertilizantes orgánicos de calidad (técnicas innovadoras de tratamiento, siembra de cultivos captadores, y elaboración de fertilizantes RENURE), y la producción de energías renovables además del biogás o de la biomasa para combustión (producción fotovoltaica y minieólica, conversión del biogás a biometano e inyección en la red de gas natural).

29. La generación de energías renovables, mediante sistemas que permitan “vender” el excedente en red, sea de electricidad fotovoltaica y/o minieólica o de biometano en la de gas natural, puede contribuir a la consolidación de un sistema energético más sostenible y diversificado, pero requiere de la concurrencia de otras entidades (empresas y administración) que faciliten la implementación de este modelo a nivel financiero, tecnológico, y normativo.



GLOSARIO



7. GLOSARIO

7.1. Definiciones de términos

Ácidos grasos volátiles: Subgrupo de ácidos grasos con cadenas carbonadas de menos de seis carbonos (acetato, propionato, butirato, etc.) que se producen cuando la fibra alimentaria soluble y el almidón son fermentados por los microorganismos en los estómagos de los rumiantes. Estos compuestos también son importantes como intermediarios en el proceso de la digestión anaerobia de los residuos orgánicos.

Aminoácido: Molécula orgánica que constituye la base de las proteínas y que juegan un papel base en casi todos los procesos biológicos.

Arquea: Grupo de microorganismos procariotas que normalmente se asocia con la producción de metano en condiciones anaerobias.

Arrobadera: Pala que se desplaza sobre un sistema de carril ranurado para arrastrar el estiércol acumulado en superficies de la granja hasta el foso en el que se recoge.

Bacteria: Grupo de microorganismos procariotas muy diverso que habita todo tipo de ambientes interviniendo principalmente en procesos de descomposición de la materia orgánica, pero que también son imprescindibles para llevar a cabo la digestión de los alimentos. Algunos de ellos también pueden ser patógenos importantes de plantas, animales y humanos.

Balsa de purines: Depósito de acumulación de las deyecciones líquidas (purines) generadas en la granja.

Biogás: Gas combustible procedente de la digestión anaerobia, constituido fundamentalmente por metano en una proporción que oscila entre un 50% y un 70% en volumen y dióxido de carbono, más pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno y sulfuro de hidrógeno. El biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 18,8 y 23,4 megajulios por metro cúbico (MJ/m³).

Biometano: Biogás mejorado a una calidad similar al gas natural fósil y que tiene una concentración de metano del 90% o más. Al tener un poder calorífico y composición análoga a la del gas natural, es posible inyectar y distribuir el biometano a través de la red de gas natural existente.

Bovino: Animales mamíferos y rumiantes, subfamilia de los bóvidos, en el que se incluye el vacuno de carne y de producción lechera.

Compostaje/compost: Proceso de transformación biológica de los residuos sólidos orgánicos en presencia de oxígeno (condiciones aerobias) para obtener un abono natural de calidad, estabilizado e higienizado, conocido como compost.

Concentrado: Pienso que complementa la ración de forraje en rumiantes, y que aporta energía, proteína, sales minerales, vitaminas, aditivos, tampones, probióticos, etc.

Deyecciones ganaderas: Excretas y orina generadas por los animales en explotaciones ganaderas, a veces mezclados con restos de comida y de la yacija (estiércol), o diluidos con agua (purines).

Digestato o digerido: Material de consistencia pastosa producto de la digestión anaerobia, que se puede valorizar como un fertilizante orgánico relativamente estabilizado.

Digestión anaerobia: Proceso biológico que se produce de forma natural o en bioprocesos (digestores anaerobios) cuando la biodegradación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos se produce en ausencia de oxígeno, dando lugar a la producción de biogás y digestato.

Forraje: En la ración alimenticia de los animales, fracción vegetal que aporta principalmente fibras.

Fosa de purines: Compartimento donde se recogen las excretas de los animales, heces y orines, en el interior de los alojamientos.

Gallinaza: Deyecciones ganaderas procedentes de las explotaciones avícolas.

Estercolero: Compartimento para la acumulación a largo término de las deyecciones sólidas de la granja (estiércol).

Estiércol: Deyecciones ganaderas de consistencia sólida, generalmente incluyen restos de comida y el material de la yacija.

Eutrofización: Proceso de acumulación de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, en ecosistemas acuáticos que causa una proliferación descontrolada de algas.

Fertilizante inorgánico: Abono obtenido mediante extracción o mediante procedimientos industriales de carácter físico o químico, cuyos nutrientes declarados se presentan en forma mineral.

Fertilizante orgánico: Abono procedente de materiales orgánicos, de origen animal o vegetal, que generalmente han sido sujetos a un proceso de transformación/biodegradación para mejorar sus características fisicoquímicas y microbiológicas.

Fertilizante RENURE: Fertilizante parcial o totalmente de origen orgánico, que cumple los requisitos definidos en el Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC) para ser considerado como de origen mineral efectos de su aplicación en zonas vulnerables a la contaminación de nitratos.

Mejor técnica disponible: Opción tecnológica práctica más eficaz para un determinado proceso productivo, que demuestra su capacidad para evitar o reducir las emisiones y el impacto ambiental, y que es reconocida como tal a nivel normativo.

Microbiota: Conjunto de poblaciones microbianas que constituyen una comunidad funcional compleja, por ejemplo, en el aparato digestivo de los animales.

Nave: Edificio de la explotación ganadera en el que se alojan los animales y se recogen sus deyecciones.

Nitrificación-desnitrificación: Proceso biológico de oxidación del nitrógeno amoniacal a nitrito/nitrato (nitrificación) y del nitrato a nitrógeno gas (desnitrificación), que se aplica al tratamiento de la fracción líquida de los purines.

Proteína: Macromoléculas formadas por cadenas lineales de aminoácidos, en nutrición es un componente básico.

Protozoo: Microorganismo eucariota, normalmente ciliado. Su presencia en el rumen suele estar asociada a una mayor emisión de CH₄.

Purines: Mezcla de heces y orina, que también puede contener agua de limpieza, restos de cama y alimentos, de consistencia líquida con un contenido de materia seca de hasta el 12 %, y que pueden fluir por gravedad y ser bombeado.

Rumen: Estomago especializado de los rumiantes.

Separador sólido-líquido: Equipo de tratamiento de los purines que separa las partículas en suspensión, generando una fracción clarificada (fracción líquida) y otra relativamente concentrada en sólidos (fracción sólida), mediante procesos físicos y/o químicos.

Slat o suelo enrejillado: Palabra inglesa que define un tipo de suelo que se usa frecuentemente en los cubículos de los animales de granja, y que se caracteriza por tener una serie de ranuras que permiten que las heces y la orina caigan a la fosa de purín que se encuentra inmediatamente debajo.

Yacija: Lecho o cama que se hace en el alojamiento de los animales, generalmente con materiales absorbentes como la paja, arena, o serrín, para que los animales se puedan echar para descansar, y para que mantenga la humedad de las excretas generadas relativamente baja.

Zona vulnerable a la contaminación por nitratos: Superficie del terreno cuya escorrentía fluye hacia las aguas afectadas, o que podrían verse afectadas si no se toman medidas, por la contaminación por nitratos procedentes de fuentes agrarias y aquellas superficies del terreno que contribuyan a dicha contaminación (art 3.2 Directiva 91/676/CEE, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos procedentes de fuentes agrarias). Dicha zona estará incluida en el Registro de Zonas Protegidas del Plan Hidrológico de Cuenca y se corresponden con los diferentes informes de seguimiento enviados a la Comisión Europea.

7.2. Abreviaciones y fórmulas

BREF: Documento de referencia sobre las MTD (del inglés *best available techniques reference document*).

CH₄: Metano.

COVNM: Compuestos orgánicos volátiles distintos al metano.

CO₂: Dióxido de carbono.

GEI: Gases de efecto invernadero.

H₂: Hidrógeno molecular.

H₂S: Sulfuro de hidrógeno.

MS: Materia seca.

MTD: Mejor técnica disponible.

N₂: Nitrógeno molecular.

NH₃: Amoníaco.

N₂O: Óxido nitroso.

NO₃⁻: Nitrato

NO_x: Óxidos de nitrógeno

SAU: Superficie agraria útil.

SO₂: Dióxido de azufre.

O₃: Ozono.

PC: Proteína cruda.

PM_{2.5}: Partículas en suspensión respirables, con un diámetro inferior a 2,5 micras.

A stack of several old, worn books with yellowed pages and dark covers. A teal-colored rectangular overlay is positioned in the upper half of the image, containing the text. The background is softly blurred, showing more books and a warm, golden light source on the left.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adegbeye, M.J., Elghandour, M.M.M.Y., Monroy, J.C., Abegunde, T.O., Salem, A.Z.M., Barbabosa-Pliego, A. and Faniyi, T.O. (2019) Potential influence of Yucca extract as feed additive on greenhouse gases emission for a cleaner livestock and aquaculture farming - A review. *Journal of Cleaner Production* 239, 118074.
- AINIA (2000) Mejores Técnicas Disponibles en la Industria Láctea, p. 109, AINIA Instituto Tecnológico Alimentario.
- Alonso Sopeña, N., Riestra López, C., Lozano Mateos Aparicio, I., Quassdorff, C. and Prieto Redondo, E. (2019) I Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica, p. 263, Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid.
- Ancín, A.A., Aguilar, M., Irujo, E., Ezpeleta, I.G. and Larrea, B.P. (2010) Estudio de MTDs: en fase de definición en Navarra. *Navarra agraria* 179, 51-61.
- Andersson, M. (1994) Performance of additives in reducing ammonia emissions from cow slurry, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för jordbrukets biosystem och teknologie.
- Avellaner, J.A., Estévez, R. and Prieto, F. (2020) 1 Millón de Tejados Solares en 2025: Energía Rentable y Accesible para los Ciudadanos, Observatorio de Sostenibilidad.
- Balcells, J., Fuertes, E., Seradj, A.R., Maynegre, J., Villalba, D. and de la Fuente, G. (2020) Study of nitrogen fluxes across conventional solid floor cubicle and compost-bedded pack housing systems in dairy cattle barns located in the Mediterranean area: Effects of seasonal variation. *Journal of Dairy Science* 103(11), 10882-10897.
- Black, R.A., Taraba, J.L., Day, G.B., Damasceno, F.A. and Bewley, J.M. (2013) Compost bedded pack dairy barn management, performance, and producer satisfaction. *Journal of Dairy Science* 96(12), 8060-8074.
- Breen, M., Upton, J. and Murphy, M.D. (2020) Photovoltaic systems on dairy farms: Financial and renewable multi-objective optimization (FARMOO) analysis. *Applied Energy* 278, 115534.
- Broderick, G.A. (2003) Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86(4), 1370-1381.
- Broucek, J. (2018) Options to methane production abatement in ruminants: A review. *J. Anim. Plant Sci* 28(2), 348-364.
- Bussink, D. and Oenema, O. (1998) Ammonia volatilization from dairy farming systems in temperate areas: a review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 51(1), 19-33.
- Campos, E., Flotats, X., Illa, J., Magrí, A., Palatsi, J. and Solé, F. (2004) Guia dels tractaments de les dejeccions ramaderes, Lleida.
- CEAS and EFNCP (2000) The Environmental Impact of Dairy Production in the EU: Practical Options for the Improvement of the Environmental Impact, p. 176, Center for European Agricultural Studies.
- Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fanguero, D., Cardenas, L., Amon, B. and Misselbrook, T. (2011) Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology* 166-167, 514-531.
- Chadwick, D.R. (2005) Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmospheric Environment* 39(4), 787-799.
- CIGR (1984) Report of working group on climatization of animal houses, p. 72, CIGR International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering.
- CITA (2017) Informe científico-técnico sobre el estado del arte en sistemas de gestión de estiércoles, tecnología y reducción de emisiones, p. 74, Centro de Investigación y Tecnología Agroalimentaria de Aragón.
- Cui, Y., Theo, E., Gurler, T., Su, Y. and Saffa, R. (2019) A comprehensive review on renewable and sustainable heating systems for poultry farming. *International Journal of Low-Carbon Technologies* 15(1), 121-142.
- Doreau, M., Makkar, H.P.S. and Lecomte, P. (2013) Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production: 4th International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition Sacramento, California, USA 9-12 September 2013. Oltjen, J.W., Kebreab, E. and Lapierre, H. (eds), pp. 475-485, Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
- Doreau, M., Martin, C., Eugène, M., Popova, M. and Morgavi, D.P. (2011) Tools for decreasing enteric methane production by ruminants. *INRAE Productions Animales* 24(5), 461-474.
- Dourmad, J.-Y. and Jondreville, C. (2007) Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. *Livestock Science* 112(3), 192-198.
- Eckard, R.J., Grainger, C. and de Klein, C.A.M. (2010) Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science* 130(1), 47-56.
- EEA (2020) European Union emission inventory report 1990-2018, under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP), p. 156, European Environment Agency, Luxembourg.
- Fernández-González, R., Suárez-García, A., Alvarez Feijoo, M.A., Arce, E. and Díez-Mediavilla, M. (2020) Spanish Photovoltaic Solar Energy: Institutional Change, Financial Effects, and the Business Sector. *Sustainability* 12(5), 1892.
- Gilhespy, S.L., Webb, J., Chadwick, D.R., Misselbrook, T.H., Kay, R., Camp, V., Retter, A.L. and Bason, A. (2009) Will additional straw bedding in buildings housing cattle and pigs reduce ammonia emissions? *Biosystems Engineering* 102(2), 180-189.
- Gioelli, F., Balsari, P., Rollè, L. and Dinuccio, E. (2017) Cattle manure bio acidification: effects on gaseous emission and biogas yield, pp. 4-4, Maria Pilar Bernal.
- Hartung, J. and Phillips, V.R. (1994) Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57(3), 173-189.
- Hristov, A., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C. and Adesogan, A. (2013) *FAO Animal Production and Health* Gerber, P.J. (ed).

- Hristov, A.N. and Jouany, J. (2005) Nitrogen and phosphorus nutrition of cattle and environment, pp. 117-166, CAB International Wallingford, UK.
- Hristov, A.N. and Ropp, J.K. (2003) Effect of dietary carbohydrate composition and availability on utilization of ruminal ammonia nitrogen for milk protein synthesis in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 86(7), 2416-2427.
- Huygens, D., Orveillon, G., Lugato, E., Tavazzi, S., Comero, S., Jones, A., Gawlik, B. and Saveyn, H. (2020) Technical proposals for the safe use of processed manure above the threshold established for Nitrate Vulnerable Zones by the Nitrates Directive (91/676/EEC), p. 170, Joint Research Centre, European Commission, Luxembourg.
- Irimia, S., Escudro, C. and Alavarez, C. (2012) La eficiencia energética en las explotaciones de vacuno lechero en Galicia (España), pp. 11-13, Valencia.
- Jacobsen, B. (2015) Why is acidification a success only in Denmark: a look at emission effects, costs, handling, and regulation, Ghent.
- Karlsson, J., Spörndly, R., Lindberg, M. and Holtenius, K. (2018) Replacing human-edible feed ingredients with by-products increases net food production efficiency in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 101(8), 7146-7155.
- Leso, L., Barbari, M., Lopes, M.A., Damasceno, F.A., Galama, P., Taraba, J.L. and Kuipers, A. (2020) Invited review: Compost-bedded pack barns for dairy cows. *Journal of Dairy Science* 103(2), 1072-1099.
- Loyon, L., Burton, C.H., Misselbrook, T., Webb, J., Philippe, F.X., Aguilar, M., Doreau, M., Hassouna, M., Veldkamp, T., Dourmad, J.Y., Bonmati, A., Grimm, E. and Sommer, S.G. (2016) Best available technology for European livestock farms: Availability, effectiveness and uptake. *Journal of Environmental Management* 166, 1-11.
- Loyon, L., Guizoui, F., Picard, S. and Saint-Cast, P. (2007) Farm-scale evaluation of three cover systems for reducing ammonia emissions from swine manure stores and subsequent land spreading.
- MAPAMA (2017) Guía para de las Mejores Técnicas Disponibles para Reducir el Impacto Ambiental de la Ganadería, Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación, y Medio Ambiente, Madrid.
- Martin, C., Morgavi, D.P. and Doreau, M. (2010) Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *animal* 4(3), 351-365.
- Misselbrook, T.H. and Powell, J.M. (2005) Influence of bedding material on ammonia emissions from cattle excreta. *Journal of Dairy Science* 88(12), 4304-4312.
- Misselbrook, T.H., Webb, J. and Gilhespy, S.L. (2006) Ammonia emissions from outdoor concrete yards used by livestock—quantification and mitigation. *Atmospheric Environment* 40(35), 6752-6763.
- MMA (2005) Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Lacteo, Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente.
- Molina Casanova, A. (2019) Impactos del Cambio Climático en Castilla-La Mancha, pp. 141-161, Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete.
- Montemayor, E., Bonmatí, A., Torrellas, M., Camps, F., Ortiz, C., Domingo, F., Riau, V. and Antón, A. (2019) Environmental accounting of closed-loop maize production scenarios: Manure as fertilizer and inclusion of catch crops. *Resources, Conservation and Recycling* 146, 395-404.
- Muñoz, C., Sánchez, R., Peralta, A.M.T., Espíndola, S., Yan, T., Morales, R. and Ungerfeld, E.M. (2019) Effects of feeding unprocessed oilseeds on methane emission, nitrogen utilization efficiency and milk fatty acid profile of lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 249, 18-30.
- Ndegwa, P.M., Hristov, A.N., Arogo, J. and Sheffield, R.E. (2008) A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated animal feeding operations. *Biosystems Engineering* 100(4), 453-469.
- NFACC (2009) Code of Practice for the Care and Handling of Dairy Cattle, p. 65, National Farm Animal Care Council.
- Nolan, S., Waters, N.R., Brennan, F., Auer, A., Fenton, O., Richards, K., Bolton, D.J., Pritchard, L., O'Flaherty, V. and Abram, F. (2018) Toward Assessing Farm-Based Anaerobic Digestate Public Health Risks: Comparative Investigation With Slurry, Effect of Pasteurization Treatments, and Use of Miniature Bioreactors as Proxies for Pathogen Spiking Trials. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 2(41).
- Oenema, O., Velthof, G., Klimont, Z. and Winiwarter, W. (2012) Emissions from agriculture and their control potentials.
- Pellerin, S., Bamière, L., Angers, D., Béline, F., Benoit, M., Butault, J.-P., Chenu, C., Colnenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Hénault, C., Jeuffroy, M.-H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I. and Pardon, L. (2013) How can French agriculture contribute to reducing greenhouse gas emissions? Abatement potential and cost of ten technical measures, Inra - DEPE, (France).
- Petersen, S., Andersen, A. and Eriksen, J. (2012) Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage. *Journal of environmental quality* 41, 88-94.
- Petersen, S.O. and Sommer, S.G. (2011) Ammonia and nitrous oxide interactions: Roles of manure organic matter management. *Animal Feed Science and Technology* 166-167, 503-513.
- Philippe, F.-X., Cabaraux, J.-F. and Nicks, B. (2011) Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 141(3), 245-260.
- Philippe, F.X., Laitat, M., Canart, B., Vandenheede, M. and Nicks, B. (2007) Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livestock Science* 111(1), 144-152.
- Portejoie, S., Martinez, J., Guizoui, F. and Coste, C.M. (2003) Effect of covering pig slurry stores on the ammonia emission processes. *Bioresource Technology* 87(3), 199-207.

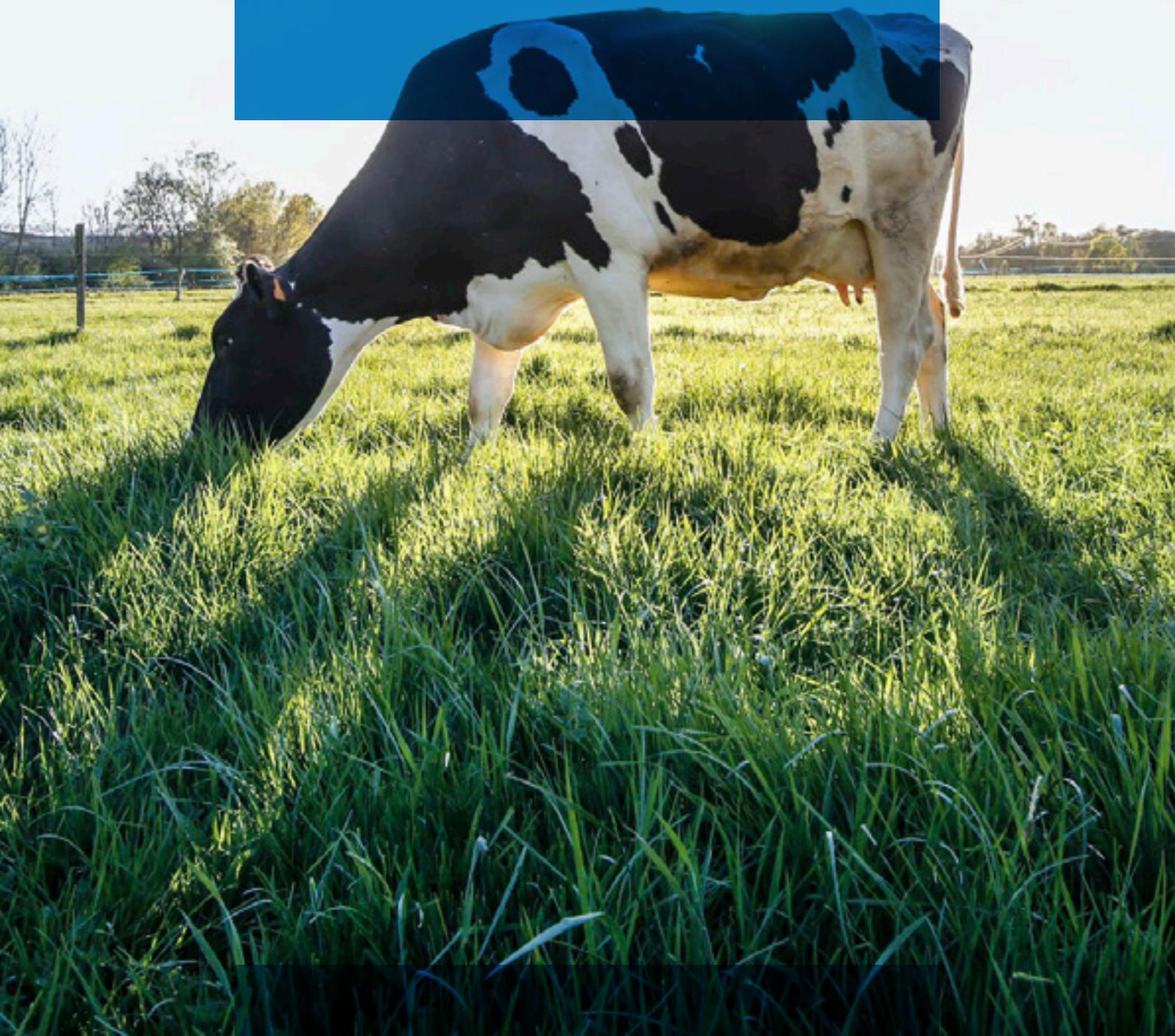
- Prado, J., Chieppe, J., Raymundo, A. and Fangueiro, D. (2020) Bio-acidification and enhanced crusting as an alternative to sulphuric acid addition to slurry to mitigate ammonia and greenhouse gases emissions during short term storage. *Journal of Cleaner Production* 263, 121443.
- Prenafeta-Boldú, F.X. and Parera, J. (eds) (2020) Guia de les tecnologies de tractament de les dejeccions ramaderes a Catalunya, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació (DARP), Barcelona.
- Prenafeta-Boldú, F.X. and Parera Pous, J. (2020) Guia de les Tecnologies de Tractament de les Dejeccions Ramaderes a Catalunya, p. 60, IRTA, DARP.
- Ramos, A.C. (2020a) Gestión de residuos en las granjas de vacuno de leche (I): Problemática ambiental. *Frisona española* 40(237), 76-84.
- Ramos, A.C. (2020b) Gestión de residuos en las granjas de vacuno de leche (II): Caracterización de deyecciones y efluentes. *Frisona española* 40(238), 96-101.
- REMEDIA (2020) Código de Buenas Prácticas Medioambientales del Vacuno de Carne, p. 159, Provacuno.
- Reynolds, C. and Kristensen, N.B. (2008) Nitrogen recycling through the gut and the nitrogen economy of ruminants: an asynchronous symbiosis. *Journal of Animal Science* 86(14), E293-E305.
- Riaboff, L., Couvreur, S., Madouasse, A., Roig-Pons, M., Aubin, S., Massabie, P., Chauvin, A., Bédère, N. and Plantier, G. (2020) Use of predicted behavior from accelerometer data combined with GPS data to explore the relationship between dairy cow behavior and pasture characteristics. *Sensors* 20(17), 4741.
- Rotz, C.A. (2004) Management to reduce nitrogen losses in animal production. *Journal of Animal Science* 82(suppl_13), E119-E137.
- Rzeźnik, W., Rzeźnik, I. and Mielcarek, P. (2017) Impact of using photovoltaic panels in piggery on greenhouse gases emission, pp. 412-416.
- Sajeev, E.P.M., Amon, B., Ammon, C., Zollitsch, W. and Winiwarter, W. (2018) Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 110(1), 161-175.
- Santonja, G.G., Georgitzikis, K., Scalet, B.M., Montobbio, P., Roudier, S. and Sancho, L.D. (2017) Best Available Techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. European Commission.
- Singh, P., Hundal, J.S., Patra, A.K., Wadhwa, M. and Sharma, A. (2020) Sustainable utilization of Aloe vera waste in the diet of lactating cows for improvement of milk production performance and reduction of carbon footprint. *Journal of Cleaner Production*, 125118.
- Sommer, S., Webb, J., Kupper, T. and Groenestein, K. (2010) Gaseous emissions during the management of litter-based manures. Sommer, S.G., Christensen, B.T., Nielsen, N.E. and Schjørring, J.K. (1993) Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. *The Journal of Agricultural Science* 121(1), 63-71.
- Sommer, S.G., Petersen, S.O. and Søgaard, H.T. (2000) Greenhouse gas emission from stored livestock slurry. *Journal of environmental quality* 29(3), 744-751.
- Sommer, S.G., Zhang, G.Q., Bannink, A., Chadwick, D., Misselbrook, T., Harrison, R., Hutchings, N.J., Menzi, H., Monteny, G.J., Ni, J.Q., Oenema, O. and Webb, J. (2006) *Advances in Agronomy*, pp. 261-335, Academic Press.
- Swensson, C. (2003) Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows, N in urine and ammonia release. *Livestock Production Science* 84(2), 125-133.
- Thoma, G., Popp, J., Nutter, D., Shonnard, D., Ulrich, R., Matlock, M., Kim, D.S., Neiderman, Z., Kemper, N., East, C. and Adom, F. (2013) Greenhouse gas emissions from milk production and consumption in the United States: A cradle-to-grave life cycle assessment circa 2008. *International Dairy Journal* 31, S3-S14.
- UNECE (2014a) Documento Orientativo Sobre la Prevención y Reducción de las Emisiones de Amoníaco de Origen Agropecuario, p. 96, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- UNECE (2014b) Guidance Document for Preventing and Abating Ammonia Emissions from Agricultural Sources, p. 100, United Nations Economic Commission for Europe.
- Van der Stelt, B., Temminghoff, E.J.M., Van Vliet, P.C.J. and Van Riemsdijk, W.H. (2007) Volatilization of ammonia from manure as affected by manure additives, temperature and mixing. *Bioresource Technology* 98(18), 3449-3455.
- VanderZaag, A.C., Gordon, R.J., Glass, V.M. and Jamieson, R.C. (2008) Floating covers to reduce gas emissions from liquid manure storages: a review. *Applied Engineering in Agriculture* 24(5), 657-671.
- Varvaró, A., Xercavins, A., Pallisera, J., Velarde, A. and Dalmau, A. (2020) Welfair™: certificación de bienestar animal en granjas de vacuno de leche *Vaca Pinta* 15, 128-138.
- Wanic, M., Zuk-Golaszewska, K. and Orzech, K. (2019) Catch crops and the soil environment—a review of the literature. *Journal of Elementology* 24(1).
- Whitehead, D.C. (2000) Nutrient elements in grassland: soil-plant-animal relationships, Cabi.
- Winter, L., Meyer, U., Soosten von, D., Gorniak, M., Lebzien, P. and Dänicke, S. (2015) Effect of phytase supplementation on rumen fermentation characteristics and phosphorus balance in lactating dairy cows. *Italian Journal of Animal Science* 14(1), 3539.
- Wulf, S., Maeting, M. and Clemens, J. (2002) Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: II. Greenhouse gas emissions. *J Environ Qual* 31(6), 1795-1801.
- Yamulki, S. (2006) Effect of straw addition on nitrous oxide and methane emissions from stored farmyard manures. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112(2), 140-145.

Yáñez-Ruiz, D.R., Morgavi, D., Misselbrook, T., Melle, M., Dreijere, S., Aes, O. and Sekowski, M. (2017) EIP-AGRI Focus Group Reducing livestock emissions from Cattle farming, p. 19, EIP-AGRI, Brussels.

Zambon, I., Cecchini, M., Mosconi, E.M. and Colantoni, A. (2019) Revolutionizing Towards Sustainable Agricultural Systems: The Role of Energy. *Energies* 12(19), 3659.

ANEXO

TABLE RESUMEN DE LAS MTD PROPUESTAS PARA EL SECTOR LÁCTEO



9. ANEXO: TABLA RESUMEN DE LAS MTD PROPUESTAS PARA EL SECTOR LÁCTEO

A modo de resumen, el presente apéndice recoge las MTD potencialmente aplicables al vacuno de leche descritas en la sección 4 de forma tabulada. Para una descripción más detallada de cada MTD, se ha indicado la referencia al texto principal. Los niveles de reducción de amoníaco y gases de efecto invernadero, cuando no han podido ser cuantificados (NC), se indican de forma cualitativa como efecto positivo (recuadro verde) o neutro (recuadro gris). Las tecnologías emergentes presentadas en la sección 5 (página 83) se han indicado como tal (recuadro amarillo).

GESTIÓN NUTRICIONAL

MTD Nº 1 (Pág. 52): En explotaciones intensivas de vacuno, implementar una estrategia nutricional orientada a reducir el nitrógeno excretado, satisfaciendo las necesidades de los animales. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 1.1 Alimentación por fases
- 1.2. Reducción del contenido de proteínas de la dieta
- 1.3. Aumento del contenido de polisacáridos sin almidón del pienso

Reducción NH ₃ GEI	
17% ¹	NC
17% ¹	NC
13-14%	NC

¹ Por cada punto porcentual de reducción de la PC

MTD Nº 2 (Pág. 53): En explotaciones intensivas de vacuno, implementar una estrategia nutricional orientada a reducir la emisión de gases de efecto invernadero. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 2.1. Mejora de la dieta mediante mayor aporte de concentrado o forraje de calidad
- 2.2. Suplementación de la dieta con lípidos de origen vegetal
- 2.3. Uso de alimentos proteicos producidos localmente u obtenidos a partir de subproductos
- 2.4. Mejorar la conservación de forrajes y ensilados

Reducción NH ₃ GEI	
NC	10%
NC	4% ¹
NC	10-25%
NC	<10%

¹ Por cada 10 g/kg de grasa añadida.

MTD Nº 3 (Pag. 54): En explotaciones extensivas o semi-extensivas, realizar una gestión de los pastos optimizada para reducir las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 3.1. Disminuir el tiempo de estabulación del ganado aumentando el período de pastoreo
- 3.2. Incorporar plantas leguminosas entre las especies pratenses

Reducción NH ₃ GEI	
10-50% ¹	<10%
NC	10-25%

¹ En función del tiempo de pastoreo.

MTD Nº 4 (Pag. 54): Ajustar continuamente el aporte de nutrientes a las necesidades de cada animal mediante técnicas de alimentación de precisión.

Reducción NH ₃ GEI	
20-30%	15-20%

MTD Nº 5 (Pág. 54): Integrar las estrategias nutricionales con la selección genética de animales más productivos.

Reducción NH ₃ GEI	
NC	10-20%

MTD Nº 6 (Pág. 61): En explotaciones intensivas o semi-intensivas de vacuno, utilizar aditivos autorizados en las dietas animales que reduzcan las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero, sin que afecten negativamente a la salud animal ni a la salubridad y calidad de los productos obtenidos. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 6.1. Utilización de aditivos autorizados que reduzcan el nitrógeno excretado y/o volatilizado
- 6.2. Utilización de aditivos autorizados que reduzcan la formación de metano en el rumen
- 6.3. Uso de aditivos y probióticos que actúan sobre el desarrollo ruminal en las edades tempranas del animal

Reducción NH ₃ GEI	
NC	10-50% ¹
NC	10-20%
NC	10-20%

¹ En función del mecanismo de acción.

CONTROL DE LAS EMISIONES EN EL ALOJAMIENTO DEL GANADO

MTD Nº 7 (Pág. 63): Reducir las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero en el aire de los alojamientos de los animales. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 7.1. Mejoras en el diseño de las superficies
- 7.2. Mejoras en la ventilación y en el aislamiento del techo
- 7.3. Instalación de sistemas de tratamiento de gases

Reducción NH ₃ GEI	
25-46% ¹	10-25% ¹
20%	10-25% ²
70-95% ³	10-25% ³

¹ En función del diseño del piso.

² En función de las condiciones de climatización, materiales, etc.

³ En función del proceso, condiciones de operación, consumo de ácido, etc.

MTD Nº 7b (Pág. 88): Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de forma indirecta, mediante la generación y distribución de energías renovables. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 7.4. Implementación de sistemas de generación eléctrica fotovoltaica y/o minieólica
- 7.5. Implementación de sistemas de producción de biometano para su inyección en red

Reducción NH ₃ GEI	
Técnica emergente	
Técnica emergente	

MTD Nº 8 (Pág. 65): Hacer una buena gestión de las deyecciones sólidas (estiércol) en los alojamientos de los animales. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 8.1. Incorporación frecuente de paja u otros materiales absorbentes a la cama
- 8.2. Manejo de las deyecciones sólidas mediante el método de la cama compostante (Pág. 83)

Reducción NH ₃ GEI	
50% ¹	NC
Técnica emergente	

¹ Aplicando un 33% más de paja.

MTD Nº 9 (Pág. 66): Hacer una buena gestión de las deyecciones líquidas (purines) en los alojamientos de los animales. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 9.1. Evacuación frecuente de los purines de las fosas
- 9.2. Separación de la orina y las heces in-situ
- 9.3. Acidificación de los purines en la fosa
- 9.4. Suplementación de las deyecciones con aditivos
- 9.5. Manejo de los purines mediante la bioacidificación (Pág. 84)

Reducción NH ₃ GEI	
25%	10%
NC	NC
50-70% ¹ 96-99% ²	67-87% ²
30-60% ³	25% ⁴
Técnica emergente	

¹ A pH 6,5; ² a pH < 6,0.

³ En función del tiempo de almacenamiento y el tipo de aditivo.

⁴ Principalmente por causa de la reducción de las emisiones de N₂O.

MTD Nº 10 (Pág. 70): Implementar un sistema de manejo de los animales que tanga en cuenta su bienestar y salud. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 10.1. Mejoras en la salubridad y prevenir la incidencia de enfermedades y lesiones
- 10.2. Mejorar el bienestar de los animales
- 10.3. Aumentar la longevidad de las hembras reproductoras

Reducción NH ₃ GEI	
NC	10-25%
NC	>25%
NC	10-25%

CONTROL DE LAS EMISIONES EN EL ALMACENAMIENTO Y PROCESADO DE LAS DEYECCIONES

MTD Nº 11 (Pág. 72): Reducir las emisiones de amoniaco y gases de efecto invernadero a la atmósfera, procedentes del almacenamiento de las deyecciones sólidas (estiércol). La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 11.1. Cubrir los montones de estiércol sólido y recoger los lixiviados
- 11.2. Almacenar el estiércol sólido en un cobertizo

Reducción NH ₃ GEI	
90% ¹	25% ¹
20%	NC

¹ Si además de cubrir se compacta.

MTD Nº 12 (Pág. 72): Reducir las emisiones de amoniaco a la atmósfera procedentes de las balsas de almacenamiento de deyecciones líquidas (purines). La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 12.1. Cubiertas fijas para balsas de purines
- 12.2. Cubiertas flotantes para balsas de purines
- 12.3. Formación de costra natural
- 12.4. Acidificación de los purines

Reducción NH ₃ GEI	
>80%	>25%
40% ¹	>25%
40%	<10%
NC ²	NC ²

¹ Para cubiertas de lámina y flotantes, respectivamente.

² Valores de reducción análogos a los de la MTD9.3.

MTD Nº 13 (Pág. 73): Reducir las emisiones de amoníaco y gases de efecto invernadero a la atmósfera, procedentes del almacenamiento de las deyecciones sólidas y líquidas mediante la adición de sustancias químicas o productos microbianos.

Reducción NH ₃ GEI	
<60%	>25%

MTD Nº 14 (Pág. 76): Tratamiento in situ de las deyecciones ganaderas con técnicas consolidadas. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 14.1. Separación mecánica de los purines
- 14.2. Compostaje del estiércol
- 14.3. Digestión anaerobia de purines y estiércol
- 14.4. Secado solar de purines y estiércol
- 14.5. Eliminación de nitrógeno por nitrificación-desnitrificación³
- 14.6. Tratamientos innovadores de las deyecciones ganaderas (Pág. 85)

Reducción NH ₃ GEI	
10-50% ¹	>25%
85%	<10%
95%	>25%
85%	NC ²
60%	<10%
Técnica emergente	

¹ En función de la tecnología de separación.

² Nivel de emisiones intermedio entre el compostaje y la acidificación.

³ Tecnología no apta para nuevas granjas o la ampliación de existentes.

CONTROL DE LAS EMISIONES DURANTE LA VALORIZACIÓN AGRONÓMICA DE LAS DEYECCIONES GANADERAS

MTD Nº 15 (Pág. 79): Implementar sistemas de aplicación agronómica que eviten las emisiones al suelo, al agua, y a la atmósfera de nitrógeno, fósforo, gases de efecto invernadero, y microorganismos patógenos. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 15.1. Aplicación de purines diluidos mediante el riego
- 15.2. Aplicación de los purines esparciéndolo en bandas
- 15.3. Inyección de los purines al suelo
- 15.4. Incorporación directa de las deyecciones sólidas y líquidas tras su aplicación
- 15.5. Acidificación de los purines previa a su aplicación
- 15.6. Mejorar el pH del suelo

Reducción NH ₃ GEI	
30%	NC
30-60% ¹	10%
60-90% ²	10%
>30%	NC
50-60%	NC ³
NC ³	>35%

¹ Para tubos colgantes y zapatas, respectivamente.

² Para inyección superficial en surco abierto y profunda con surco cerrado.

³ Puede conllevar un incremento de las emisiones.

MTD Nº 16 (Pág. 80): Implementar prácticas agronómicas más sostenibles en el manejo de los cultivos fertilizados con deyecciones ganaderas. La MTD consiste en utilizar una estrategia que incluya alguna de estas técnicas o una combinación de las mismas:

- 16.1. Establecer planes de fertilización
- 16.2. Uso de fertilizantes orgánicos frente a fertilizantes inorgánicos o de síntesis
- 16.3. Uso de técnicas de no/mínimo laboreo
- 16.4. Preservar las superficies de pastoreo/pastoreo rotacional
- 16.5. Elaboración de fertilizantes de la categoría RENURE (Pág. 86)
- 16.6. Sembrar cultivos captadores para recuperar nutrientes excedentarios del suelo (Pág. 87)

Reducción NH ₃ GEI	
NC	10-25%
NC ¹	>25%
NC	10-25%
NC	10-25%
Técnica emergente	
Técnica emergente	

¹ Limitado en zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.

IRTA
RESEARCH | & | TECHNOLOGY
FOOD | & | AGRICULTURE

inLac
ORGANIZACIÓN INTERPROFESIONAL LÁCTEA