



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

## TRABAJO FIN DE MÁSTER LA DESCARBONIZACIÓN EN ESPAÑA: EL CASO DEL SECTOR AGRÍCOLA

Autor: Ernesto García Cantarero

Directores: José Pablo Chaves Ávila, Timo Gerres

Madrid

Agosto de 2019

## **AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO**

### ***1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.***

El autor D. Pablo Abril Martín DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: DRIMART SMART BOTTLE, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

### ***2º. Objeto y fines de la cesión.***

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

### ***3º. Condiciones de la cesión y acceso***

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

### ***4º. Derechos del autor.***

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

### ***5º. Deberes del autor.***

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción

de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

**6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.**


La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 14 de agosto de 2019

**ACEPTA**

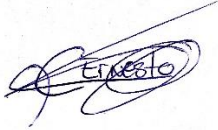
Fdo: Ernesto García Cantarero

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive script that includes the name 'Ernesto'.

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título  
**LA DESCARBONIZACIÓN EN ESPAÑA: EL CASO DEL SECTOR AGRÍCOLA**  
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el  
curso académico 2018/2019 es de mi autoría, original e inédito y  
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es  
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada  
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Ernesto García Cantarero

Fecha: 14/08/2019

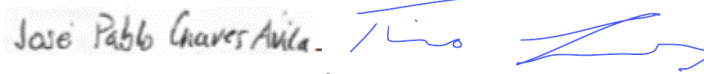


Autorizada la entrega del proyecto

**EL DIRECTOR DEL PROYECTO**

Fdo.: José Pablo Chaves Ávila, Timo Gerres

Fecha: 18/ 08/ 2019







# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

## TRABAJO FIN DE MÁSTER LA DESCARBONIZACIÓN EN ESPAÑA: EL CASO DEL SECTOR AGRÍCOLA

Autor: Ernesto García Cantarero  
Director: José Pablo Chaves Ávila, Timo Gerres

Madrid  
Agosto de 2019

## Resumen

El cambio climático es una de las mayores problemáticas a las que hacer frente en la actualidad. Ciertamente, el clima no es estático y ha variado a lo largo de los años desde el comienzo de la vida en la Tierra. Sin embargo, la acción humana en los últimos años ha acelerado este proceso, derivando en un modelo energético global (y español) ambientalmente insostenible; desde la generación de la energía hasta el consumo de la misma.

El sector agrícola y ganadero es uno de los sectores con mayor impacto en el cambio climático, tanto en España como a nivel global. De hecho, en España las emisiones debidas al sector agrícola y ganadero suponen un 11% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) totales. Por ello y debido a la poca atención que recibe este sector en la lucha contra el cambio climático, se ha decidido realizar este estudio.

El principal objetivo de este estudio es aportar medidas y técnicas agrícolas y ganaderas que permitan reducir de las emisiones GEI de dicho sector en España. Dichas medidas de reducción de emisiones serán utilizadas para desarrollar distintos escenarios de emisiones GEI, tras la implantación de las medidas.

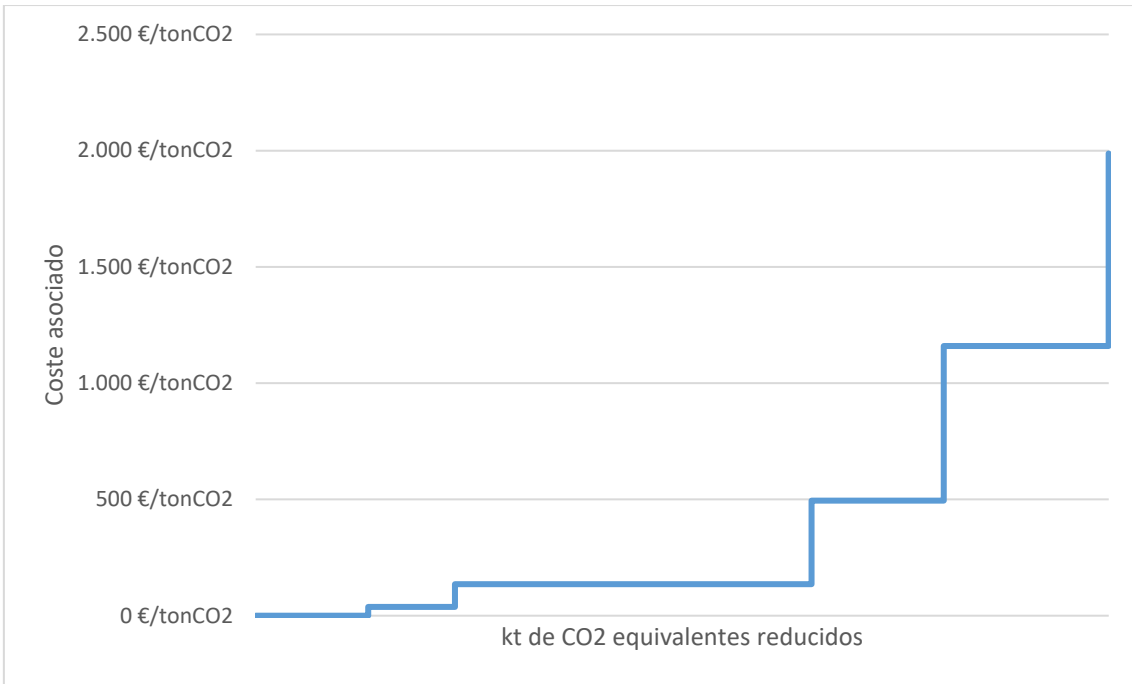
Estos escenarios serán comparados con los objetivos de emisión del sector agrícola y ganadero. Estos objetivos han sido establecidos en el PNIEC (Plan Nacional Integrado de Energía y Clima) hasta 2030. Se contabilizará el potencial de reducción de estas medidas, así como su coste asociado (€/ton CO<sub>2</sub> reducida), para poder comparar las medidas de reducción de emisiones del sector agrícola y ganadero con otros sectores.

Los resultados obtenidos demuestran que con la demanda actual de productos agrícolas y ganaderos y la implantación de las medidas propuestas en el estudio, no es posible cumplir los objetivos de emisiones establecidos en el PNIEC para 2030; en cambio sí para 2020 y 2025. No obstante, los objetivos de 2030 no quedan lejos y es posible pensar que con pequeñas mejoras dichos objetivos serían alcanzables.

Además, si desde el gobierno español se favorece un cambio de dieta sustituyendo la carne de vacuno, ovino y porcino por carne avícola, dichos objetivos serían fácilmente alcanzables. Una reducción del consumo de productos lácteos también sería beneficiosa.

Sin embargo, el gran escollo para implementar las medidas de reducción de emisiones del sector agrícola y ganadero es su altísimo coste en €/ton CO<sub>2</sub> reducida en comparación con otros sectores. Es más que probable que el gobierno español se incline por una variación de las dietas que por la implantación de las medidas.

A método de resumen, se muestra la capacidad de reducción de emisiones (eje horizontal, medido en kt de CO<sub>2</sub> reducidos gracias a las medidas de reducción) aplicando las técnicas de reducción presentadas en el estudio y su coste asociado (eje vertical, medido en €/ton de CO<sub>2</sub> reducidos) en la Ilustración 1. En ella, se muestra de forma escalonada las implicaciones de la implementación de las técnicas de reducción de emisiones GEI ordenadas de menor a mayor coste. Con cada nuevo escalón se suma el efecto de las técnicas anteriores, pudiendo así observar el efecto de todas las técnicas implementadas conjuntamente.



*Ilustración 1: Función de costes de las medidas de reducción de emisiones GEI*



## Abstract

Climate change is one of the biggest problems that humankind faces nowadays. Certainly, the weather is not static and has varied over the years since the beginning of life on Earth. However, human action in recent years has accelerated this process, derived from an environmentally unsustainable global (and Spanish) energy model; from the generation of energy to its consumption.

The agricultural and livestock sector is one of the sectors with the greatest impact on climate change, both in Spain and globally. In fact, in Spain, emissions due to the agricultural and livestock sector account for 11% of total greenhouse gas (GHG) emissions. For this reason and due to the little attention, this sector receives in the fight against climate change, this study has been conducted.

The main objective of this study is to provide agricultural and livestock measures and techniques that reduce GHG emissions from this sector in Spain. These emission reduction measures will be necessary to develop different situations of GHG emissions, after the implementation of the measures.

These objectives are compared with the emission objectives of the agricultural and livestock sector established in the PNIEC (National Integrated Energy and Climate Plan) until 2030. The potential for reduction of these measures, as well as their associated cost (€ / ton of reduced CO<sub>2</sub>), are counted in order to compare the measures of emission reduction of the agricultural and livestock sector with other energy sectors.

The results specified with the current demand for agricultural and livestock products and the implementation of the measures proposed in the study show that it is difficult to meet the emission targets established in the PNIEC by 2030; but more easily for 2020 and 2025. However, the 2030 objectives are not far off and necessary to start actions to achieve these objectives.

In addition, if a change of diet is favored by the Spanish government by replacing beef, sheep and pork with poultry, these objectives can easily be achieved. A reduction in the consumption of dairy products would also be beneficial

However, the great obstacle for implementing the emission reduction measures of the agricultural and livestock sector is its very high cost in € / tonne CO<sub>2</sub> reduced compared to other sectors. The Spanish government is more likely to incline due to a variation in diets than by the implementation of the measures.

As a summary method, the emission reduction capacity (horizontal axis, measured in kt of CO<sub>2</sub> reduced thanks to reduction measures) is shown applying the reduction techniques in the study and their associated cost (vertical axis, measured in € / ton of CO<sub>2</sub> reduced) in Figure 1. In it, the implications of the implementation of GHG emission reduction techniques ordered from lowest to highest cost are shown in a staggered manner. With each new step the effect of the previous techniques is added, being able to observe the effect of all the implemented techniques that are considered.

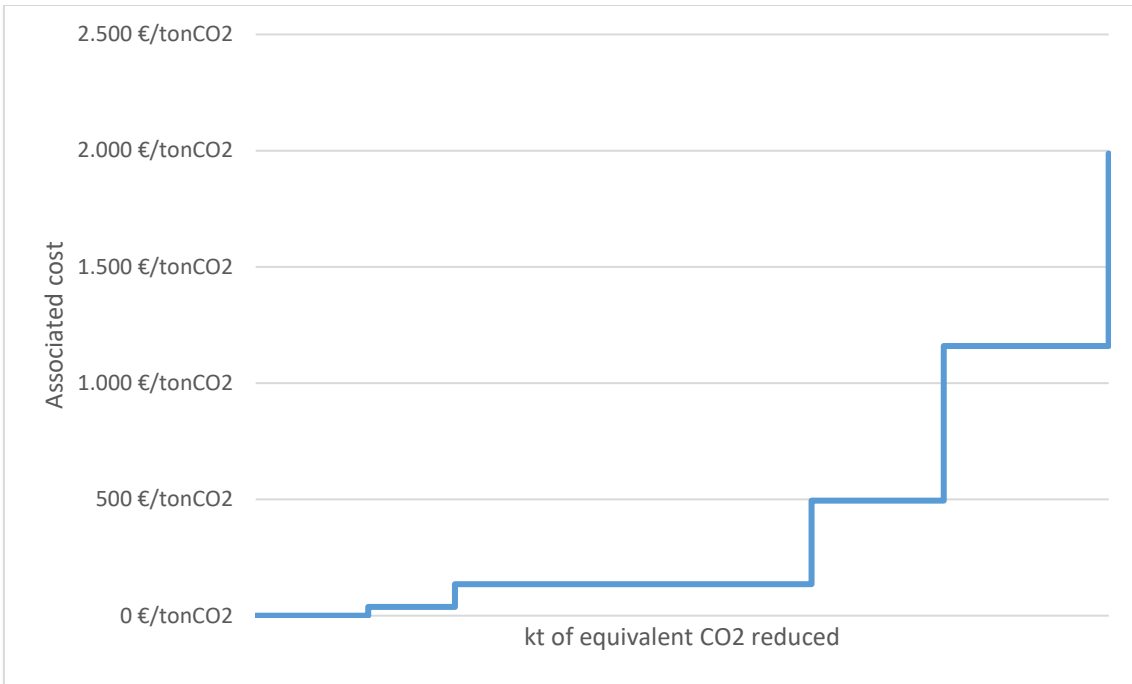


Figure 1: Cost function of GHG emission reduction measures

## **Agradecimientos**

Me gustaría agradecer particularmente a José Pablo Chaves Ávila y Timo Gerres por todo su apoyo y ayuda recibido durante todo el transcurso del proyecto. Siempre estuvieron disponibles y predispuestos a ayudar ante cualquier duda o problema que surgiera.

También quiero agradecer a la Universidad Pontificia de Comillas por todos estos años de estudios de grado y máster en los que he podido aprender con los mejores profesionales y los mejores profesores.



**COMILLAS**  
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

# MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

## TRABAJO FIN DE MÁSTER LA DESCARBONIZACIÓN EN ESPAÑA: EL CASO DEL SECTOR AGRÍCOLA

Autor: Ernesto García Cantarero

Directores: José Pablo Chaves Ávila, Timo Gerres

Madrid

Agosto de 2019

## Índice

1.	Introducción.....	7
1.1.	El cambio climático a nivel global .....	9
1.2.	El cambio climático en España .....	10
1.3.	La agricultura y su impacto en el cambio climático en España.....	13
2.	Problemática, objetivos y metodología de la tesis.....	14
2.1.	Problemática a resolver y objetivos .....	14
2.2.	Metodología.....	14
3.	Estado del arte .....	17
3.1.	Las emisiones en España .....	17
3.1.1.	Emisiones GEI.....	17
3.1.2.	Emisiones contaminantes .....	19
3.2.	Las actividades contaminantes del sector agrícola y ganadero.....	21
3.2.1.	Fermentación entérica.....	22
3.2.2.	Gestión de estiércoles .....	30
3.2.3.	Suelos agrícolas .....	36
3.2.4.	Cultivos de arroz.....	44
3.2.5.	Quema en campo de residuos agrícolas.....	46
3.2.6.	Aplicación de urea .....	47
3.2.7.	Enmienda caliza.....	48
3.3.	Resumen de las técnicas de mitigación presentadas .....	48
4.	Reducción de emisiones en el sector agrícola y ganadero español .....	53
4.1.	Metodología para el desarrollo de los escenarios .....	53
4.2.	Escenarios de reducción de emisiones GEI .....	57
4.3.	Escenarios de reducción de emisiones contaminantes.....	64
5.	Conclusiones.....	66
6.	Bibliografía.....	68
7.	Anexo I: Normativas y reglamentaciones para la quema de residuos agrícolas ....	71
8.	Anexo II: Composiciones químicas de los forrajes de mayor calidad .....	73

## Lista de figuras

Figura 1: Cambio de la temperatura del suelo y océanos [1] .....	7
Figura 2: Cambio en el nivel del mar [1].....	7
Figura 3: Concentración de gases de efecto invernadero (GEI) [1] .....	8
Figura 4: Emisiones de CO <sub>2</sub> causadas por el hombre [1] .....	8
Figura 5: Hoja de Ruta europea de las emisiones GEI por sectores hasta 2050 [2].....	10
Figura 6: Evolución de las emisiones GEI en España en base a las emisiones de 1990 [3] .....	11
Figura 7: Reparto de las emisiones GEI por sectores en España en 2016 [3] .....	11
Figura 8: Objetivos de emisión españoles hasta 2030, PNIEC [4].....	12
Figura 9: Reparto de las emisiones GEI según el gas emitido en España en 2016 [3]...	17
Figura 10: Reparto de las emisiones GEI en el sector agrícola y ganadero según el gas emitido en España en 2016 [3] .....	18
Figura 11: Evolución de las emisiones contaminantes en España en base a las emisiones de 1990 [7].....	19
Figura 12: Reparto de las emisiones contaminantes según el gas emitido en España en 2016 [7] .....	20
Figura 13: Reparto de las emisiones contaminantes por sectores en España en 2016 [7] .....	21
Figura 14: Sistema digestivo de un bovino .....	22
Figura 15: Emisiones de metano por fermentación entérica según el tipo de ganado en España (1990-2015) [8] .....	23
Figura 16: Emisiones de metano dependiendo de los aditivos de la dieta en rumiantes [13] .....	24
Figura 17: Emisiones de metano por gestión de estiércoles según el tipo de ganado en España (1990-2015) [8] .....	31
Figura 18: Métodos de reducción de emisiones de amoníaco a través de unidades de almacenamiento de estiércol [21] [22] .....	32
Figura 19: Esquema general de una planta de digestión anaeróbica [21] .....	33
Figura 20: Ejemplo de sistemas de digestión anaeróbica en explotaciones ganaderas [21] .....	34
Figura 21: LCOE de las plantas de biogás según la Agencia Andaluza de la Energía [28] .....	35
Figura 22: Ciclo del nitrógeno [33] .....	37
Figura 23: Evolución de las emisiones por la actividad en los suelos agrícolas (1990- 2015) [3] .....	38

Figura 24: Evolución de las emisiones directas por la actividad de suelos agrícolas (1990-2015) [3] .....	38
Figura 25: Evolución de las emisiones indirectas por la actividad de suelos agrícolas (1990-2015) [3] .....	39
Figura 26: Comparación del uso de urea y nitrato de amonio en España [37] [38] .....	41
Figura 27: Comparación del uso de urea y nitrato de amonio en Europa [37].....	41
Figura 28: Evolución de las emisiones por el cultivo de arroz vs. la producción anual de arroz (1990-2015) [3] [43].....	45
Figura 29: Evolución de las emisiones por quema de residuos agrícolas (1990-2015) [3] .....	46
Figura 30: Evolución de las emisiones por aplicación de urea (1990-2015) [3].....	47
Figura 31: Evolución de las emisiones por enmienda caliza (1990-2015) [3] .....	48
Figura 32: Comparación del potencial de las medidas de mitigación de CO <sub>2</sub> en función del coste .....	50
Figura 33: Detalle de la comparación de potencial de las medidas de mitigación de CO <sub>2</sub> en función del coste .....	50
Figura 34: Comparación de potencial de las medidas de mitigación de NH <sub>3</sub> en función del coste .....	51
Figura 35: Detalle de la comparación de potencial de las medidas de mitigación de NH <sub>3</sub> en función del coste .....	51
Figura 36: Comparativa de las soluciones económicas y las de mayor potencial para CO <sub>2</sub> equivalente.....	60
Figura 37: Función de costes de las medidas de reducción de emisiones GEI .....	63
Figura 38: Detalle de la función de costes de las medidas de reducción de emisiones GEI .....	64
Figura 39: Función de costes de las medidas de reducción de emisiones GEI .....	67

## Lista de tablas

Tabla 1: Emisiones GEI del sector agrícola en España en el 2016 [3].....	19
Tabla 2: Emisiones contaminantes del sector agrícola en España en el 2016 [7]. .....	21
Tabla 3: Tabla resumen de la reducción de emisiones de metano por adición de nitrato en las dietas del ganado bovino y ovino.....	25
Tabla 4: Costes asociados al nitrato como aditivo dietético en la reducción de emisiones del metano [15].....	25
Tabla 5: Calidad de los forrajes utilizados en el estudio [16] .....	26
Tabla 6: Reducción de las emisiones de metano según la calidad del forraje utilizado en el estudio [16].....	26
Tabla 7: Tipos de forraje según su composición utilizados en el estudio [17].....	27
Tabla 8: Reducción de las emisiones de metano según la calidad del forraje utilizado en el estudio [17].....	27
Tabla 9: Reducción de las emisiones de metano según el tipo del forraje utilizado en el estudio [18].....	28
Tabla 10: Cotizaciones de la Lonja de León a 19/06/2019 .....	29
Tabla 11: Ejemplo de ventaja relativa y absoluta.....	43
Tabla 12: Cálculo del potencial real de reducción de emisiones de cada actividad emisora .....	54
Tabla 13: Potencial real de reducción de emisiones GEI y su coste asociado para cada medida de reducción de emisiones GEI .....	56
Tabla 14: Potencial real de reducción de emisiones contaminantes y su coste asociado para cada medida de reducción de emisiones contaminantes.....	56
Tabla 15: Escenarios económicos para la reducción de emisiones GEI.....	58
Tabla 16: Escenarios de mayor potencial para la reducción de emisiones GEI.....	58
Tabla 17: Previsión de las emisiones agrícolas de CO <sub>2</sub> equivalentes y su costes asociado para distintas penetraciones de las soluciones más económicas propuestas .....	59
Tabla 18: Previsión de las emisiones agrícolas de CO <sub>2</sub> equivalentes y su costes asociado para distintas penetraciones de las soluciones con mayor potencial propuestas .....	60
Tabla 19: Necesidades extra de reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente para el escenario con las soluciones económicas según el PNIEC .....	61
Tabla 20: Necesidades extra de reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> equivalente para el escenario con las soluciones de mayor potencial según el PNIEC .....	62
Tabla 21: Previsión de las emisiones agrícolas de NH <sub>3</sub> y su costes asociado para distintas penetraciones de las soluciones más económicas propuestas.....	64



Tabla 22: Previsión de las emisiones agrícolas de NH <sub>3</sub> y su costes asociado para distintas penetraciones de las soluciones con mayor potencial propuestas .....	65
Tabla 23: Composición química de los forrajes utilizados en el estudio [16].....	73
Tabla 24: Composición química de los forrajes utilizados en el estudio [17].....	73
Tabla 25: Composición química de los forrajes utilizados en el estudio [18].....	74

## 1. Introducción

El cambio climático es una de las mayores problemáticas a las que hacer frente en la actualidad. Ciertamente, el clima no es estático y ha variado a lo largo de los años desde el comienzo de la vida en la Tierra. Sin embargo, la acción humana en los últimos años ha acelerado este proceso, derivando en un modelo energético global (incluido el español) ambientalmente insostenible; desde la generación de la energía hasta el consumo de la misma.

El cambio climático es evaluado y estudiado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). En sus diferentes evaluaciones, el IPCC muestra las consecuencias del calentamiento global [1], así como el evidente efecto del ser humano sobre la acentuación de este fenómeno. En la Figura 1, Figura 2, Figura 3 y Figura 4 se puede apreciar las consecuencias del calentamiento global (ascenso de la temperatura, ascenso del nivel del mar y emisiones GEI).

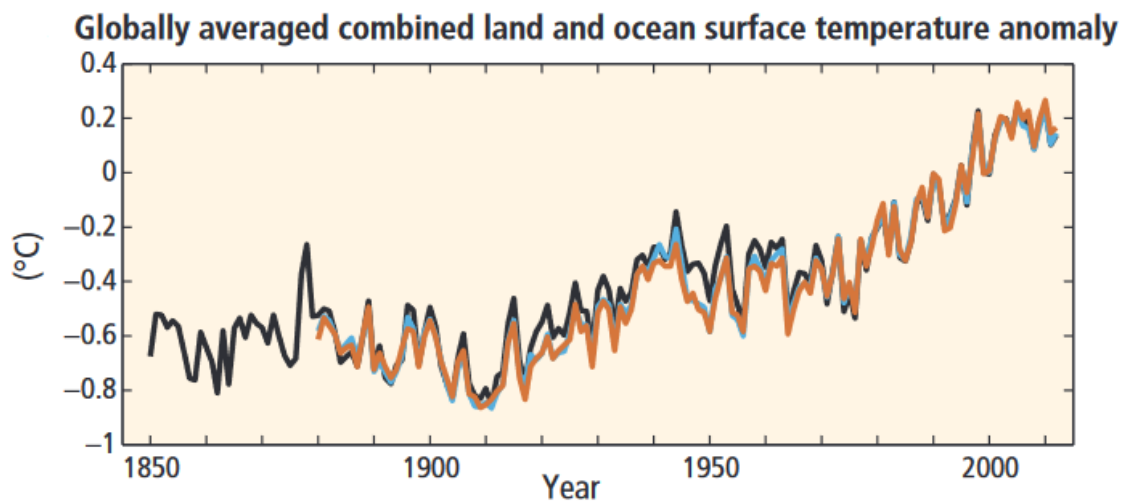


Figura 1: Cambio de la temperatura del suelo y océanos [1]

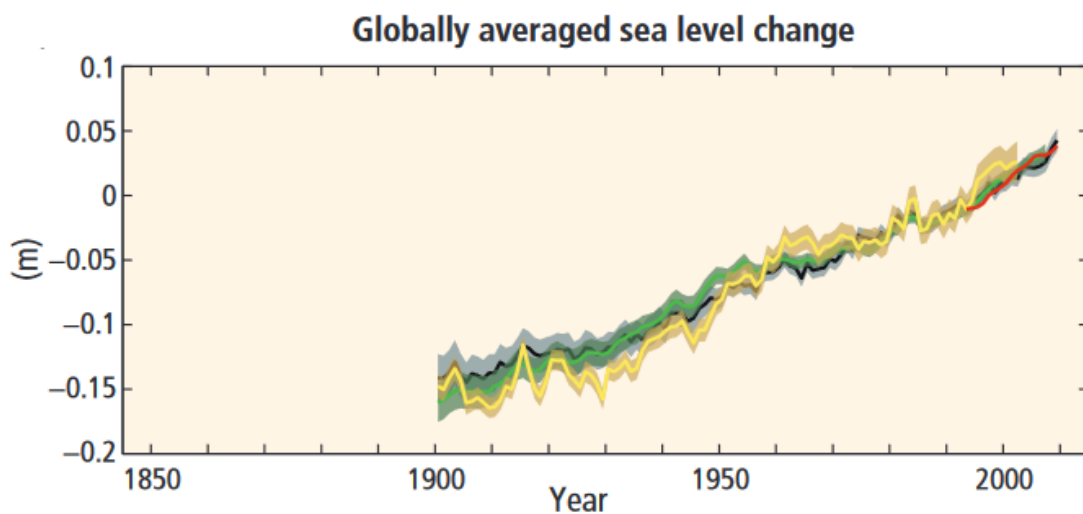


Figura 2: Cambio en el nivel del mar [1]

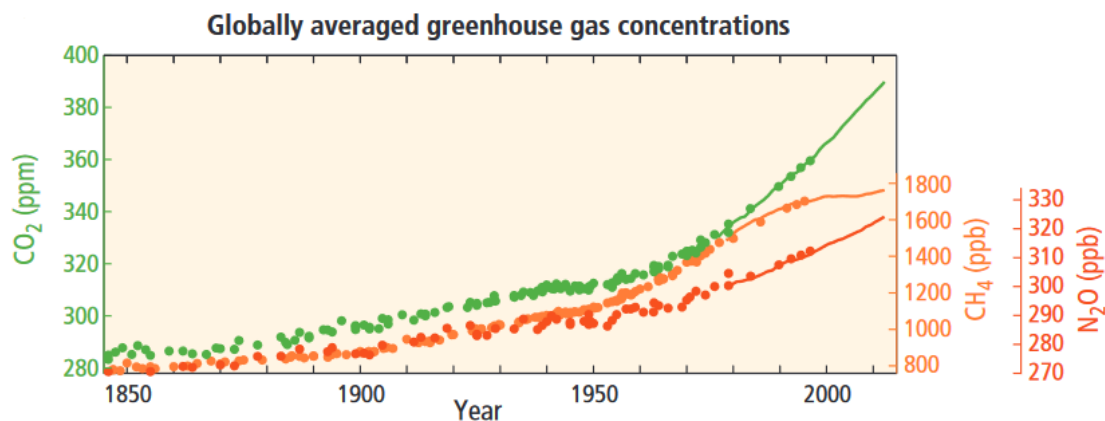


Figura 3: Concentración de gases de efecto invernadero (GEI) [1]

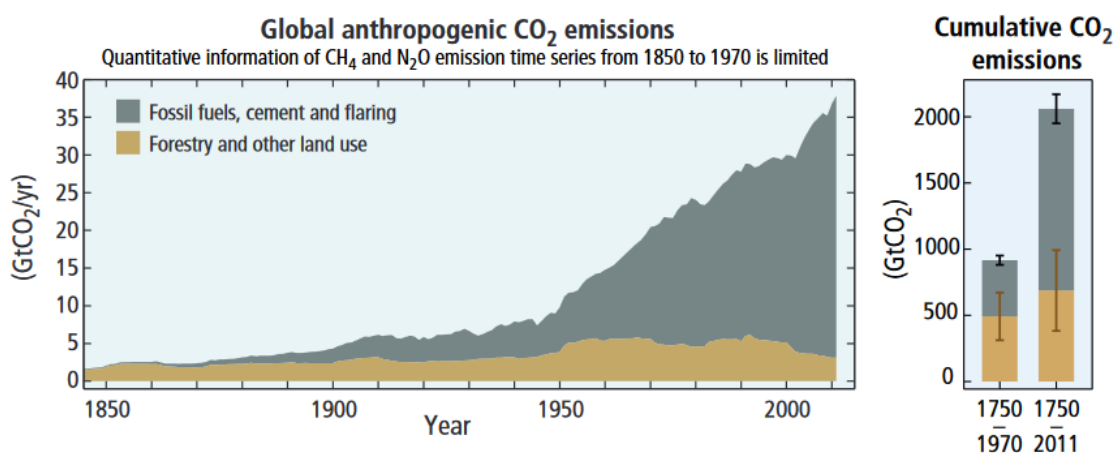


Figura 4: Emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por el hombre [1]

El IPCC también aporta datos concretos:

- Entre 1880 y 2012, la temperatura mundial ascendió en 0,85°C. [1]
- Entre 1901 y 2010, el nivel del mar global ascendió en 19cm (debido al deshielo). [1]

Salta a la vista el claro efecto del ser humano sobre el cambio climático en los últimos años. Es por ello que los gobiernos internacionales están llegando a acuerdos para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y mitigar el aumento de la temperatura de la Tierra.

El acuerdo más importante hasta la fecha es el *Acuerdo de París (COP21)*, que tiene como principales objetivos:

“

- Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático.



Tanto es así, que en los últimos años se han presentados diferentes hojas de ruta con los objetivos de emisión para los diferentes sectores presentados con anterioridad. El más reciente, desarrollado por la Unión Europea, se en la Figura 5.

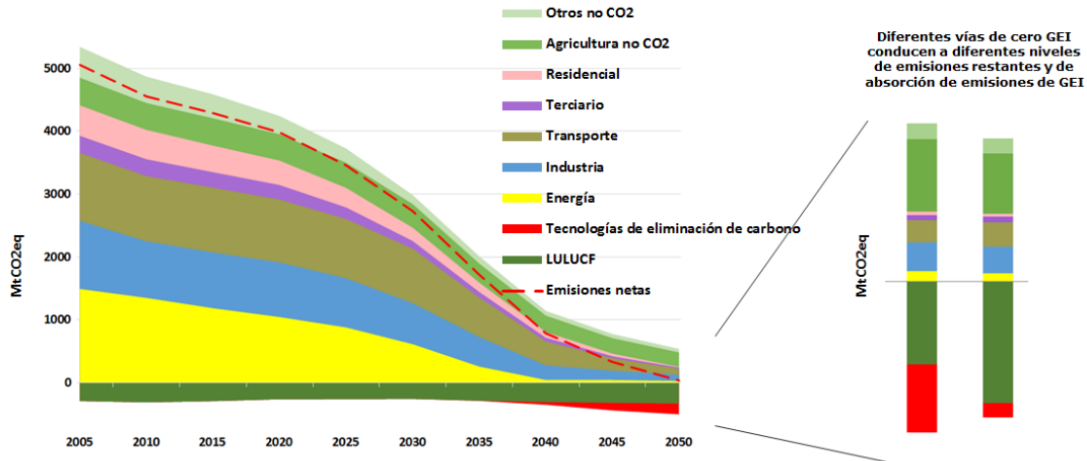


Figura 5: Hoja de Ruta europea de las emisiones GEI por sectores hasta 2050 [2]

En base a estas hojas de ruta, los diferentes países ajustan sus objetivos de emisiones, desarrollando así las Asignaciones de Emisiones Anuales (AEAs). De esta forma, carece de sentido centrar un estudio de mitigación de emisiones en más de un país, ya que cada estado desarrolla sus propios objetivos de emisiones.

Así, este estudio se centrará en España por motivos diferentes motivos:

- La agricultura y ganadería es uno de los sectores más contaminantes en España y, a pesar de ello, no está recibiendo tanta atención como la generación eléctrica o el transporte. Solo parece recibir más atención debido a movimientos animalistas, aunque no con el objetivo directo de luchar contra el cambio climático.
- El sector agrícola y ganadero español es uno de los más importante en Europa, con exportación altos niveles de exportación de frutas, verduras, aceite y vino, así como productos ganaderos tradicionales.
- Últimamente se está prestando mayor atención al consumo de carne (especialmente de vacuno) por los organismos internacionales, como la ONU. España debería, al igual que otros países, debería centrar mayores esfuerzos en este campo para poder cumplir con posibles nuevos objetivos y restricciones de los organismos internacionales, evitando graves consecuencias a la producción agrícola y ganadera.

## 1.2. El cambio climático en España

Desde la concienciación de los gobiernos y la grave crisis económica de 2007, las emisiones GEI en España se han reducido en un 26% en el 2016, con respecto al 2005 [3]. La evolución de dichas emisiones se puede comprobar en la Figura 6. Sin embargo, queda un largo camino en la lucha contra el cambio climático.

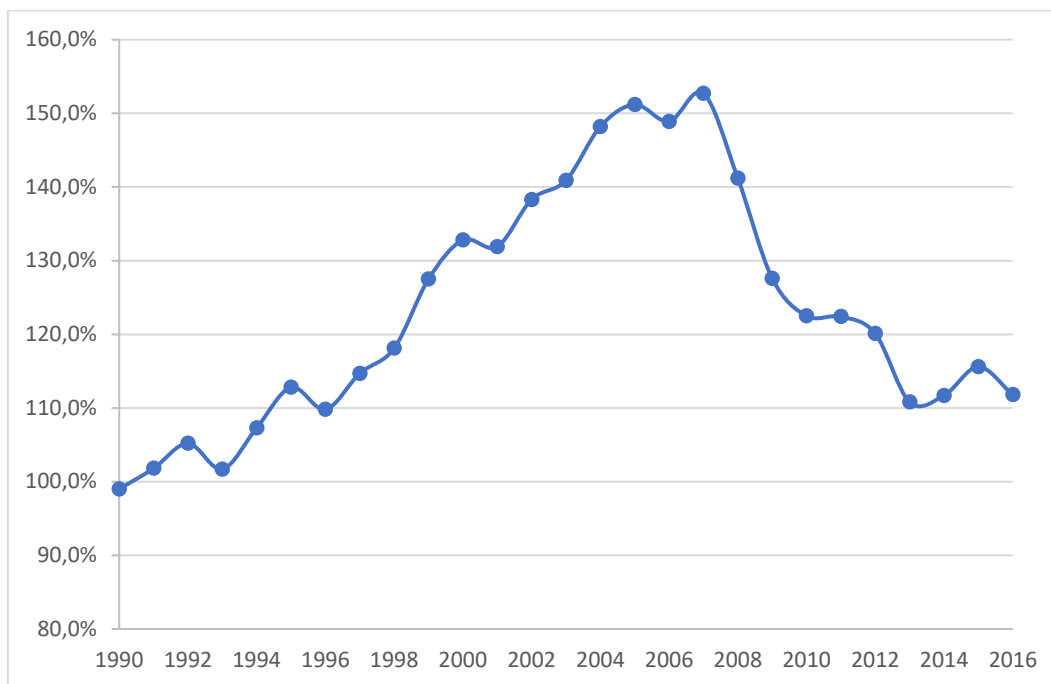


Figura 6: Evolución de las emisiones GEI en España en base a las emisiones de 1990 [3]

Las diferentes áreas de actividad responsables de las emisiones GEI en España se describen en el Inventario Nacional de Emisiones, realizado por el gobierno. Según el Inventario Nacional de Emisiones, las emisiones GEI españolas están repartidas tal y como se muestra en la Figura 7.

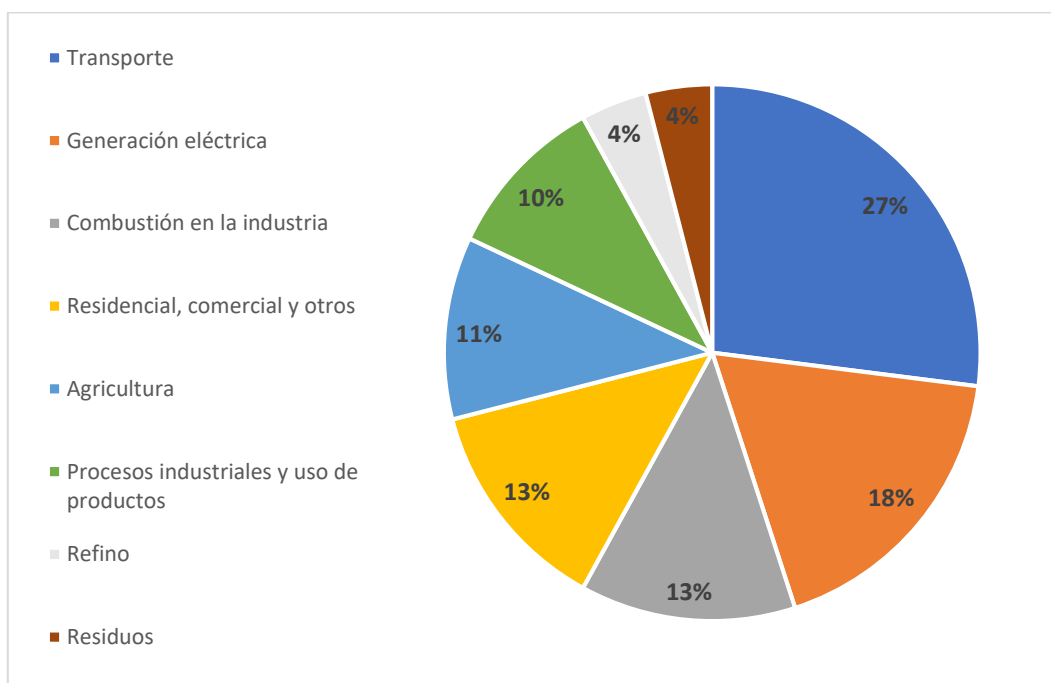


Figura 7: Reparto de las emisiones GEI por sectores en España en 2016 [3]

Se observa, que el reparto de emisiones GEI en España difiere con los resultados aportados por el IPCC a nivel global. El sector transporte en España es mucho más

significativo, mientras que la generación eléctrica es menos importante, gracias al uso de energías renovables, como la solar y eólica, y la energía nuclear.

España desarrolla su propia hoja de ruta, al igual que las organizaciones internacionales, para luchar contra el cambio climático. Los objetivos de emisiones están establecidos en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) (ver Figura 8). Estos objetivos son la base comparativa para determinar si las medidas de mitigación para cada sector contaminante son suficientes.

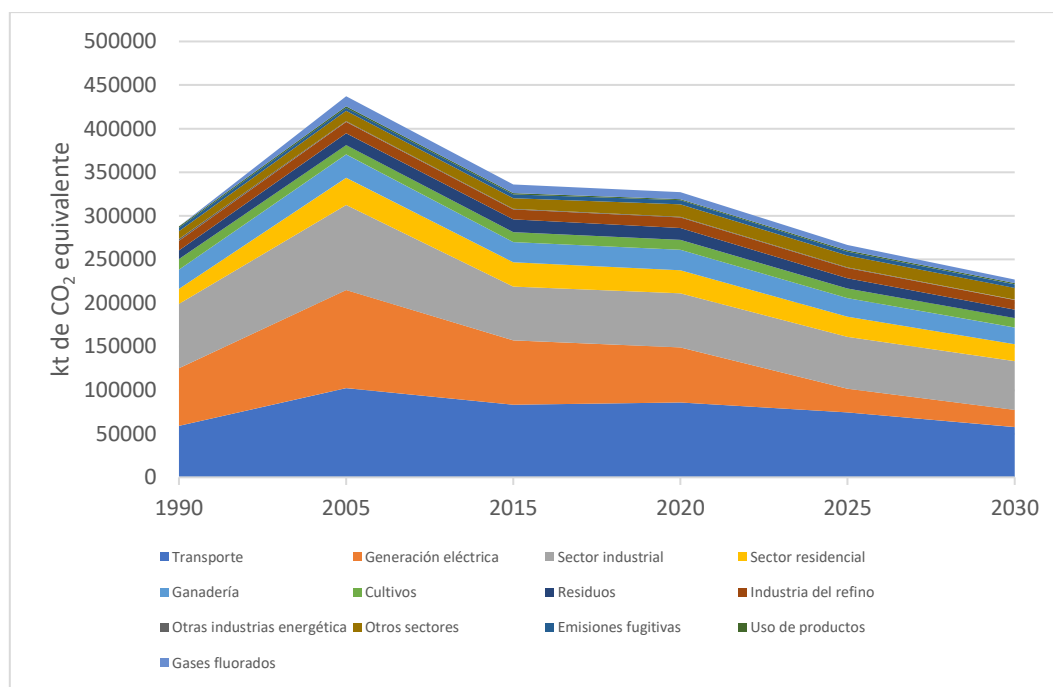


Figura 8: Objetivos de emisión españoles hasta 2030, PNIEC [4]

Una vez que se han presentados los principales sectores contaminantes en España y la hoja de ruta para los próximos años, es necesario seleccionar un sector sobre el que profundizar este estudio, aportando alternativas y métodos de mitigación de emisiones para poder cumplir con los objetivos establecidos en el PNIEC.

Como ya se ha mencionado con anterioridad, el sector agrícola y ganadero es el sector elegido para realizar el presente estudio. Existen tres razones principales:

- A pesar de la gran cantidad de emisiones producidas por el sector agrícola y ganadero, no recibe tanta atención como otros sectores como el transporte (centrados en la movilidad eléctrica) o la gestión de residuos.
- El sector agrícola y ganadero, al contrario que otros sectores como el industrial, es muy homogéneo. Por tanto, las técnicas de mitigación de emisiones pueden ser más eficaces de cara al cumplimiento de los objetivos del PNIEC.

En otras palabras, el sector industrial está compuesto por muchas y diferentes industrias con poca o ninguna relación entre sí (en cuanto a procesos y generación de emisiones se refiere). En cambio, la agricultura y ganadería se basa en los

mismos principios en todo el territorio español. De esta manera, una técnica de mitigación de emisiones GEI en este sector podría ser aplicada de manera global. Así, los resultados obtenidos serían directamente comparables con los objetivos del PNIEC, ya que las medidas propuestas surgirían efecto en todo el sector.

### ***1.3. La agricultura y su impacto en el cambio climático en España***

El sector agrícola, ganadero y pesquero es uno de los sectores más importantes para la economía española. Según el INE, representa un 2,6% del PIB español de 2018 [5]. Otros datos que nos pueden dar una visión general del sector se presentan a continuación:

- “La superficie agraria útil (SAU) en España supone más de 23 millones de hectáreas, casi la mitad del territorio español, de las cuales casi 17 millones de hectáreas son de cultivo. Del total de la superficie cultivada, el 76% de dicha superficie está dedicada al cultivo de secano y el 24% al cultivo en regadío.” [6]
- “En España existen más de 25 millones de cabezas de ganado porcino y más de 16 millones de ganado ovino.” [6]

Además, el sector agrícola y ganadero es responsable de una gran cantidad de emisiones GEI en España; en concreto de un 11% (ver Figura 7). El sector pesquero también aporta emisiones GEI, pero la mayor parte están contabilizadas en el sector del transporte, quedando así excluida del presente estudio.

La agricultura y ganadería en España, y globalmente, tiene un gran peso en la producción de emisiones GEI ya que la mayor parte de los gases emitidos son mucho más contaminantes que el CO<sub>2</sub>; existen otros gases con más capacidad de efecto invernadero como el metano o el óxido nitroso.

El sector agrícola y ganadero es además de vital importancia para la subsistencia de la vida del ser humano, por lo que es imprescindible encontrar nuevos modelos ecológicos que no comprometan nuestro planeta. Lamentablemente, la baja atención dedicada a este sector no está permitiendo encontrar medidas de mitigación tan eficaces como en el sector de la generación eléctrica o el transporte.

A continuación, se presentarán detalladamente los objetivos de este proyecto en el que se pretende reducir las emisiones GEI del sector agrícola y ganadero español. Así mismo, se explicará la metodología a utilizar durante este estudio, para que un estudio de emisiones GEI del sector agrícola y ganadero pueda ser fácilmente replicado para otra región.



## 2. Problemática, objetivos y metodología de la tesis

### 2.1. Problemática a resolver y objetivos

El problema que busca resolver el presente estudio es claro: el cambio climático. Para poder abordar esta problemática tan amplia, se decidió centrar los esfuerzos del presente estudio en las emisiones GEI del sector agrícola y ganadero español, tal y como se explicó en la Introducción.

Este sector es el causante de una gran proporción de las emisiones GEI tanto a nivel estatal como global, por lo que es imprescindible destinar esfuerzos y recursos que permitan cumplir con los acuerdos internacionales para la conservación de nuestro planeta tal y como lo conocemos.

En este punto, el principal objetivo es aportar medidas y técnicas agrícolas y ganaderas que permitan reducir de las emisiones GEI de dicho sector en España. Para lograrlo, es necesario conseguir una serie de subobjetivos:

- Segmentar los tipos de emisiones del sector agrícola y ganadero, tanto por actividad como por gases. Esta etapa es imprescindible para poder proponer medidas de mitigación de emisiones.
- Presentar los distintos tipos de medidas y soluciones existentes y futuras que permiten luchar contra las emisiones GEI en este sector.
- Filtrar las diferentes soluciones y medidas de mitigación según su:
  - Capacidad de mitigación.
  - Coste asociado.

Aquellas soluciones que no puedan ser implementadas con garantías, serán excluidas del estudio.

- Presentar la capacidad de reducción de emisiones GEI implementando las distintas medidas presentadas, teniendo en cuenta los costes asociados a su implementación.
- Comparar y comentar dichos resultados con los objetivos de emisión establecidos en el PNIEC.

### 2.2. Metodología

En este apartado se mostrará la metodología en la que se basará este informe. De esta forma, se podrán comprender más fácilmente las diferentes etapas del proyecto, así como prever los siguientes pasos de la tesis.

Además, también permitirá que otros investigadores o estudiantes puedan realizar un estudio similar para otra región o país, o simplemente realizar el mismo estudio y comparar los resultados obtenidos con los de esta tesis.

Una vez que se seleccionó el sector agrícola y ganadero español para realizar un estudio de descarbonización y lucha contra el cambio climático (ver I. Introducción), la metodología que se seguirá en este proyecto se muestra a continuación:



tiene la capacidad de reducir las emisiones si se varía la dieta, ya que, como se presentará más adelante, no todos los productos agrícolas y ganaderos generan la misma cantidad de emisiones GEI.

### 3. Estado del arte

Esta sección constará de diferentes etapas, en las que se presentará la situación española en la lucha contra el cambio climático, para acabar profundizando en las diferentes actividades contaminantes del sector agrícola y ganadero español. Igualmente, se presentarán las distintas técnicas de mitigación de emisiones existentes para dicho sector.

#### 3.1. Las emisiones en España

##### 3.1.1. Emisiones GEI

Como ya se comentó anteriormente, la situación ambiental española ha mejorado en los últimos años, debido especialmente a la concienciación internacional en la lucha contra el cambio climático. Las emisiones GEI se han reducido significativamente y se debe continuar con esta tendencia.

Si se adentra en las emisiones GEI, se comprueba que existen seis tipos diferentes de gases, a pesar de ser el CO<sub>2</sub> el más común (aunque no el más contaminante): CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC<sub>s</sub>, PFC<sub>s</sub> y SF<sub>6</sub>. Todos estos gases son los causantes del efecto invernadero acelerado. No obstante, las emisiones provenientes de los gases HFC<sub>s</sub>, PFC<sub>s</sub> y SF<sub>6</sub> han sido prácticamente eliminadas, solo apareciendo en algún proceso industrial y para el aislamiento de algunos transformadores eléctricos. En la Figura 9 se muestra la proporción de emisiones GEI en España, obtenido del Inventario Nacional de Emisiones [3].

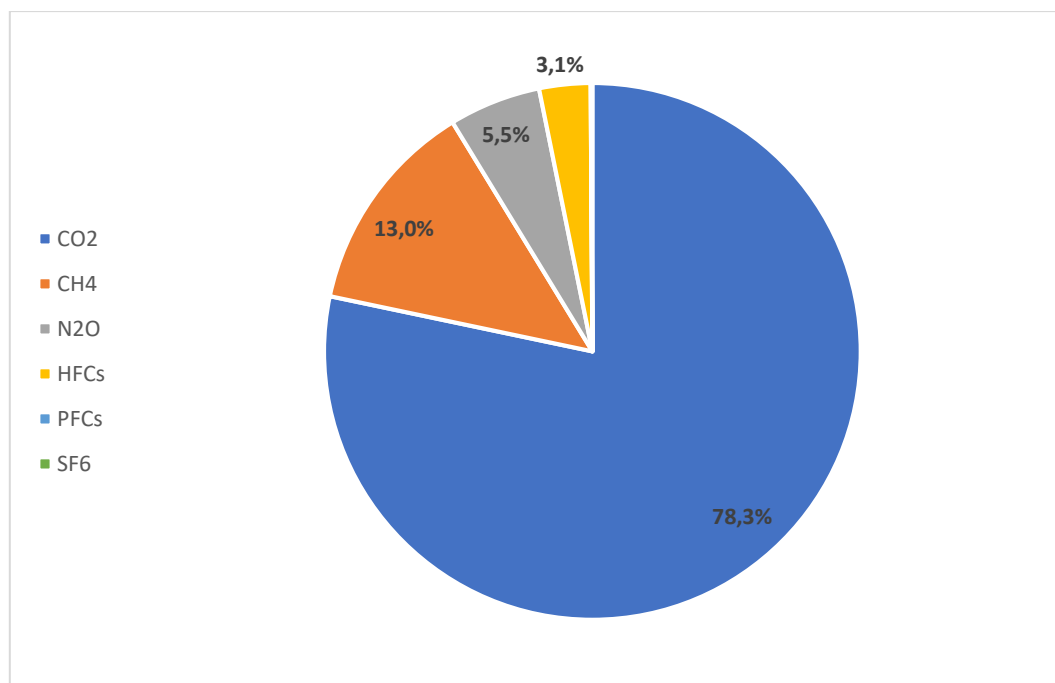


Figura 9: Reparto de las emisiones GEI según el gas emitido en España en 2016 [3]

Es importante comprender que el reparto de las emisiones no se mide en la cantidad de cada gas emitido, sino en su capacidad de aporte al efecto invernadero. Es decir, no es lo mismo emitir una tonelada de CO<sub>2</sub> que una tonelada de CH<sub>4</sub> (metano), ya que el metano

es mucho más contaminante. Así, para poder ilustrar el aporte real de cada gas al efecto invernadero, en los inventarios de emisiones se utiliza la medida **kt de CO<sub>2</sub> equivalente**. Es decir, se multiplica la cantidad de gases emitidos por el potencial de calentamiento global de cada gas, en comparación con el CO<sub>2</sub>. Debido a que los inventarios de emisiones están registrados en **kt de CO<sub>2</sub> equivalente** en este estudio no será necesario preocuparse del potencial de cambio climático relativo de cada gas; se asumirá la conversión realizada por MAPAMA.

En el sector agrícola y ganadero, el reparto de las emisiones GEI se muestra en la Figura 10.

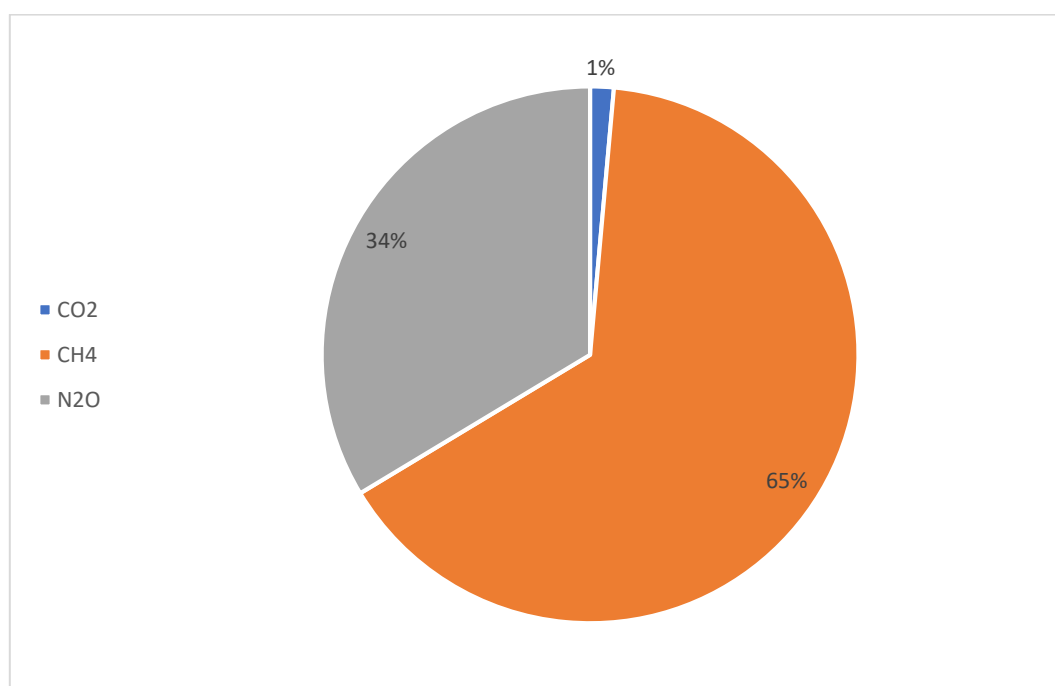


Figura 10: Reparto de las emisiones GEI en el sector agrícola y ganadero según el gas emitido en España en 2016 [3]

Se puede comprobar que las emisiones de CO<sub>2</sub> son prácticamente despreciables en comparación con el CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O. Además, las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del sector agrícola y ganadero suponen el 60% y 73% respectivamente de las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O totales en España. He ahí la importancia de la reducir las emisiones GEI de este sector.

Las emisiones GEI del sector agrícola y ganadero, según el inventario de emisiones, se reparten entre las principales actividades de este sector. Dichas actividades y sus emisiones asociadas se muestran en la Tabla 1.

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
	CO <sub>2</sub> equivalente (kt)		
<b>Total</b>	<b>510</b>	<b>23.367</b>	<b>12.098</b>
Fermentación entérica		14.441	
Gestión de estiércoles		8.462	1.782
Suelos agrícolas			10.309
Cultivo de arroz		440	
Quema en campo de residuos agrícolas		24	7
Encalado o enmienda caliza	40		
Aplicación de urea	470		

Tabla 1: Emisiones GEI del sector agrícola en España en el 2016 [3].

### 3.1.2. Emisiones contaminantes

Existen otro tipo de emisiones de gases, denominadas emisiones contaminantes: el NO<sub>x</sub>, COVNM, SO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>. No se contabilizan en el mismo grupo de las emisiones GEI porque su potencial de calentamiento global es muy bajo. Sin embargo, pueden ser dañinas para la salud humana. Por ello, es necesario intentar reducir estas emisiones también.

Las emisiones contaminantes también son contabilizadas por MAPAMA en el Inventario Nacional de Emisiones Contaminantes [7]. Al igual que con las emisiones GEI, se ha producido una reducción de las emisiones contaminantes en España, aunque en el caso del NH<sub>3</sub>, no se han conseguido reducir desde 1990:

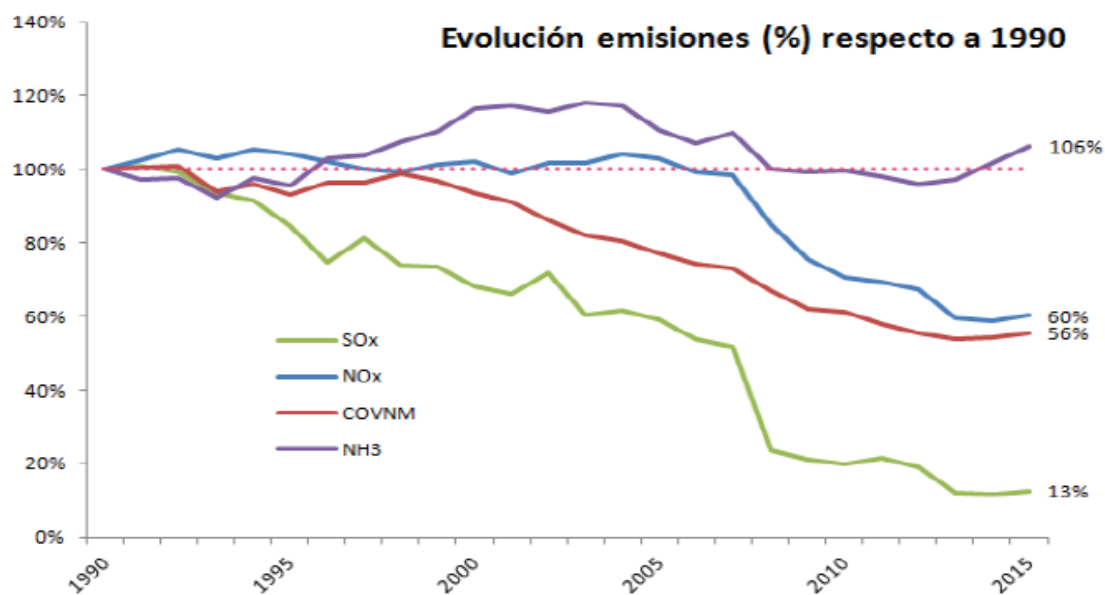


Figura 11: Evolución de las emisiones contaminantes en España en base a las emisiones de 1990 [7]

Las emisiones contaminantes se reparten en España, según el gas emitido, tal y como se muestra en la Figura 12 [7].

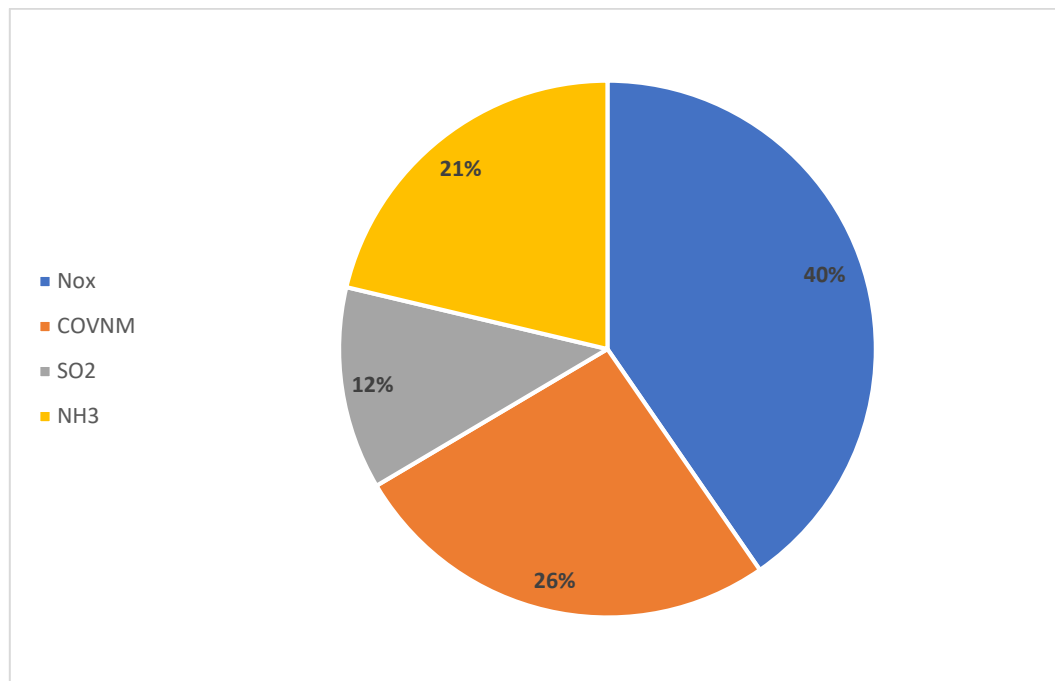


Figura 12: Reparto de las emisiones contaminantes según el gas emitido en España en 2016 [7]

Las emisiones contaminantes son, además, especialmente importantes en el sector agrícola y ganadero. Este sector es responsable del 28% del total de las emisiones contaminantes españolas (ver Figura 13). Debido a ello, las emisiones contaminantes del sector agrícola y ganadero no pueden ser despreciadas; especialmente las emisiones de  $\text{NH}_3$  (amoníaco), ya que el 96% de las emisiones de amoníaco totales en España son producidas en el sector agrícola y ganadero [7].

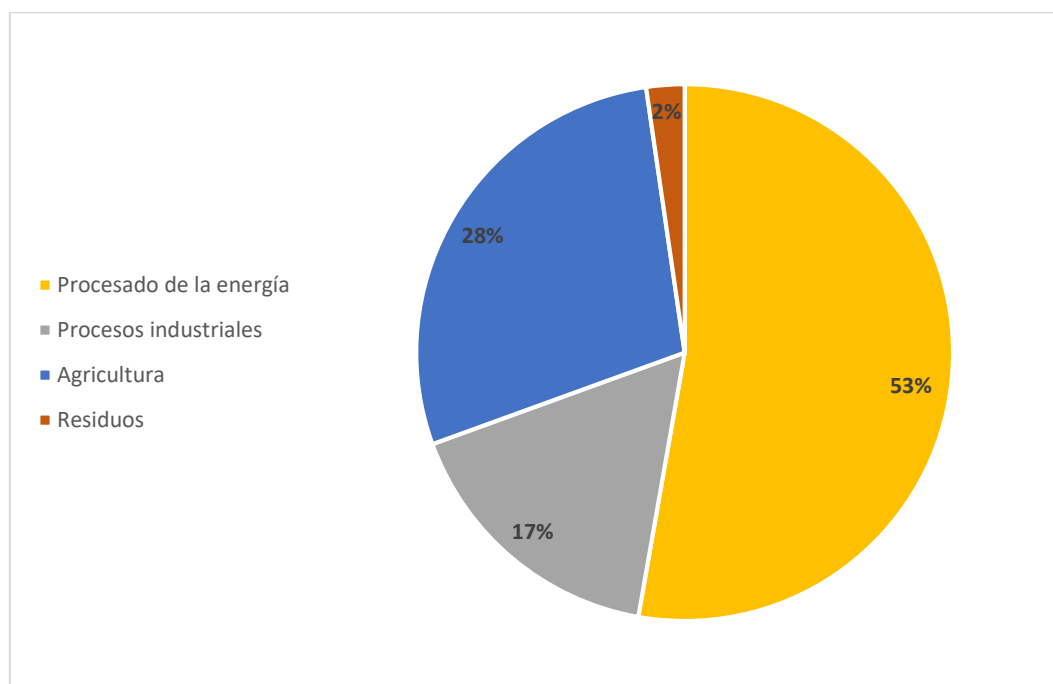


Figura 13: Reparto de las emisiones contaminantes por sectores en España en 2016 [7]

Las emisiones contaminantes del sector agrícola y ganadero, divididas en las diferentes actividades contaminantes, se muestran en la Tabla 2.

	NOX	COVNM	SO2	NH3
	kt			
<b>Total</b>	<b>77,5</b>	<b>95,2</b>	<b>0,2</b>	<b>458,6</b>
Gestión de estiércoles	4,1	87,0		204,2
Suelos agrícolas	72,6	8,0		254,4
Quema en campo de residuos agrícolas	0,8	0,2	0,2	

Tabla 2: Emisiones contaminantes del sector agrícola en España en el 2016 [7].

### 3.2. Las actividades contaminantes del sector agrícola y ganadero

En este apartado, se explicará más detalladamente en qué consiste cada uno de los campos de la Tabla 1 y la Tabla 2, causantes de las emisiones en el sector agrícola. Además, se presentarán las diferentes soluciones existentes o en fase de desarrollo para cada uno de estos campos, aportando datos acerca de los posibles ahorros de emisiones GEI y contaminantes, así como el coste asociado a esas soluciones.

Tal y como se muestra en la Tabla 1 y la Tabla 2, no todas las actividades emiten el mismo tipo de gas. Por ello, al comienzo de cada sección se recordará que gases son emitidos por la actividad agrícola o ganadera. Es importante volver a enfatizar el uso de **kt de CO<sub>2</sub> equivalente** como unidad de medida de los gases GEI emitidos.



### 3.2.1. Fermentación entérica

La fermentación entérica es la mayor fuente emisora de gases GEI en el sector agrícola y ganadero español. La fermentación entérica no emite CO<sub>2</sub>, sino que emite metano (CH<sub>4</sub>), un gas mucho más contaminante que el CO<sub>2</sub>; una tonelada de metano equivale aproximadamente a 25 toneladas de CO<sub>2</sub>. Es por ello que el impacto de la fermentación entérica es tan importante.

“La fermentación entérica es un proceso digestivo de animales herbívoros por el cual los microorganismos descomponen los carbohidratos en moléculas simples, (...), liberando metano” [9]. Según el tipo de animal, rumiante o no, las emisiones serán mayores o menores. Los rumiantes (en España solo aportan de manera no despreciable los bovinos y los ovinos) son capaces de emitir mucho más metano debido al rumen, una cámara expansiva en la parte delantera de su tracto digestivo (ver Figura 14 para identificar el rumen en el sistema digestivo de un bovino). Los herbívoros sin rumen (caballos, asnos, mulas) y los monogástricos (porcinos) no son capaces de emitir los mismo niveles de metano [9].

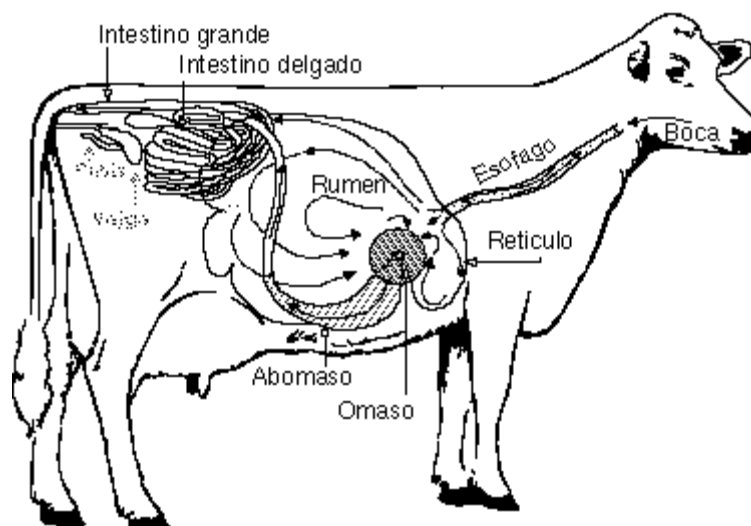


Figura 14: Sistema digestivo de un bovino

Las emisiones de metano según el tipo de ganado se muestran en la Figura 15. El ganado bovino es el claro dominador en la producción de metano.

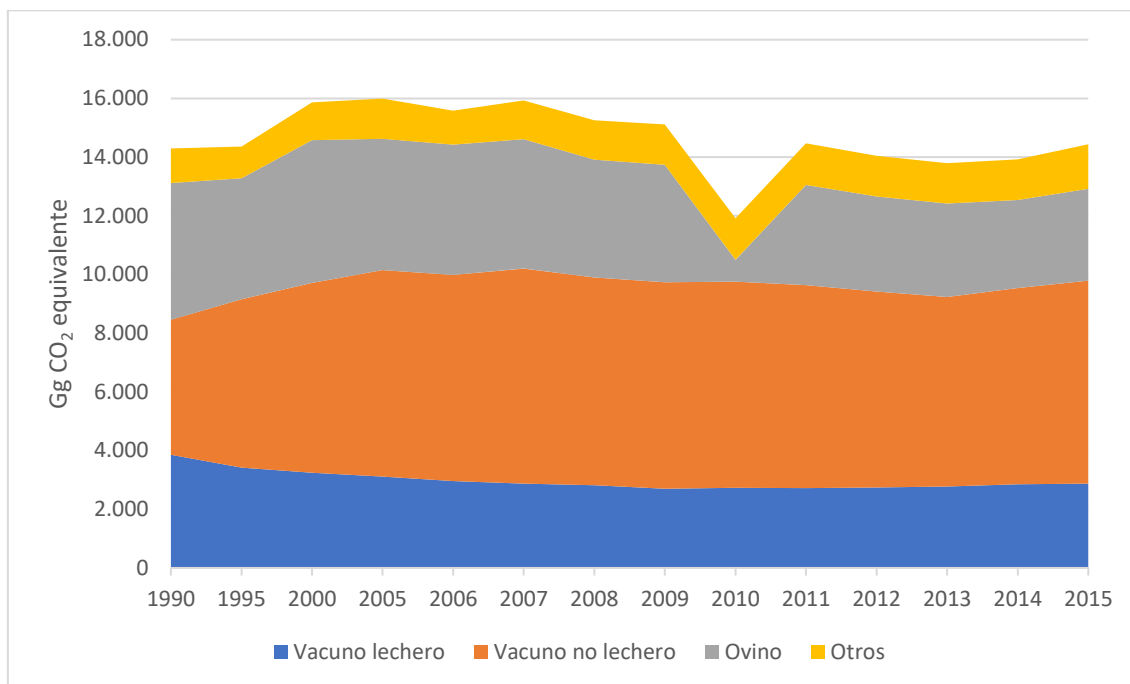


Figura 15: Emisiones de metano por fermentación entérica según el tipo de ganado en España (1990-2015) [8]

La capacidad de producir metano a través de la fermentación entérica varía según:

- El tamaño y la edad del animal.
- La producción del animal (leche o lana, por ejemplo).
- La dieta del animal [9].

A pesar de que la fermentación entérica es la mayor fuente de emisiones GEI del sector agrícola y ganadero español, aún no se ha conseguido encontrar ningún método de mitigación que se haya podido implantar estatal o globalmente.

Tanto es así, que el Ministerio para la Transición Ecológica solo recomienda como método de mitigación la “modificación en la dieta del ganado para reducir las emisiones de metano”, sin llegar a especificar qué cambios en la dieta serían más o menos beneficiosos. Efectivamente, los cambios en la dieta son los métodos más comunes y fáciles de implementar en la actualidad.

No obstante, existen principalmente cinco estrategias de mitigación de emisiones de metano [10] [11] [12]:

- Inhibidores: taninos, aceites esenciales, vacunas, grasas. Podrían ser eficaces en el medio o largo plazo, aunque por el momento solo se han desarrollado pruebas piloto o estudios de laboratorio. Por tanto, no se puede considerar como un método a implantar actualmente.
- Reducir las fuentes de H<sub>2</sub> (el hidrógeno es fundamental en el proceso de generación de metano por los rumiantes): defaunación, antibióticos. Son muy controvertidos.
- Potenciar el consumo de H<sub>2</sub> en el organismo del animal: concentrados y aceptores de electrones (nitrato).

- Incrementar la productividad del ganado: mejorar la calidad de la dieta (forrajes).
- Combinación de inhibidores y potenciadores de  $H_2$ .

A continuación, se presentarán una serie de métodos de mitigación que hayan sido corroborados por distintas fuentes y que puedan ser implementados actualmente. Hay muchos métodos de mitigación aún en desarrollo, como la alteración genética de los rumiantes, que no serán presentados en este informe.

#### *Aceptores de electrones – nitrato*

Esta técnica consiste en incluir el nitrato como aditivo alimenticio del ganado. El objetivo de añadir nitrato en la dieta del animal es crear metahemoglobinemia en el animal, es decir, perder capacidad de transporte de oxígeno a través de la sangre.

Se han realizado diversos estudios referentes a este campo, llegando a la conclusión inequívoca de que el nitrato consigue reducir la cantidad de metano emitida por los animales rumiantes. La pregunta está en determinar un valor fiable y real de las emisiones reducidas durante un período de tiempo prolongado. Además, debe determinarse la cantidad de nitrato añadido en la dieta del ganado que permita minimizar las emisiones sin comprometer la salud del ganado.

Se determinó que la inclusión de un 2,6% de nitrato [13] como aditivo del total de la dieta del ganado ovino conseguía reducir las emisiones de metano significativamente. En la Figura 16 se observa que después de alimentar al ganado (pasadas las 7:30) la emisión de metano se reducía drásticamente con respecto al ganado de control en las primeras horas de digestión, para luego estabilizarse una vez el proceso de digestión se acaba.

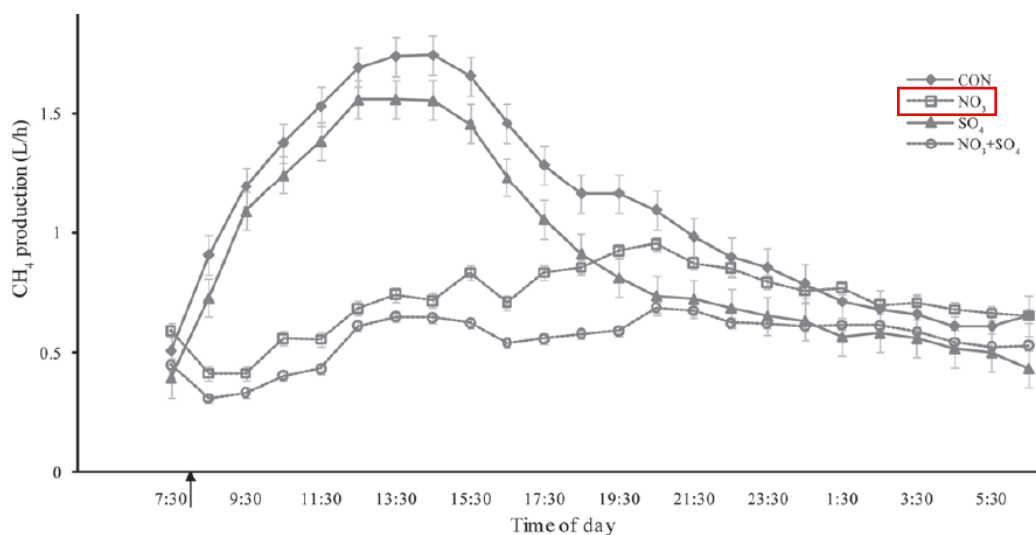


Figura 16: Emisiones de metano dependiendo de los aditivos de la dieta en rumiantes [13]

También se descubrió que incluyendo un 8,8% de nitrato en las dietas del ganado bovino reducía las emisiones de metano en un 16% sin afectar la salud del ganado [14].

Otros estudios corroboran la eficacia del nitrato como método de mitigación de emisiones de metano en el ganado bovino. Según un estudio realizado por la universidad de Aarhus (Dinamarca), se puede llegar a reducir un 6% las emisiones de metano incluyendo un 0,5% de nitrato en la dieta; un 13% de reducción con un 1,4% de nitrato; y un 23% de reducción con un 2,3% de nitrato [10].

Debido a la variación de los resultados, se seleccionarán valores conservadores utilizando un factor de corrección para asegurar que no se sobreestima el potencial de mitigación. Estos valores se muestran en la Tabla 3.

<b>Efecto del nitrato como aditivo dietético en la reducción de emisiones del metano</b>		
<b>Tipo de ganado</b>	<b>% de nitrato en la dieta</b>	<b>% reducción de emisiones</b>
Ovino	2,6%	25%
Bovino	1,4%	10%

Tabla 3: Tabla resumen de la reducción de emisiones de metano por adición de nitrato en las dietas del ganado bovino y ovino

Los costes asociados a este prometedor método de mitigación dependerán del precio del nitrato, ya que se supondrá que no será necesario controlar la salud del animal. El coste actual del nitrato es de 1,25 €/kg aproximadamente.

Para obtener el coste unitario anual de una cabeza de ganado (ver Tabla 4) es necesario obtener el consumo aproximado de las cabezas de ganado. Este proceso no ha sido muy complicado, ya que existen una gran cantidad de información en internet acerca de la dieta del ganado; normalmente dicha información tiene como objetivo informar a los nuevos ganaderos de la cantidad óptima de ingesta que debería tener una cabeza de ganado.

#### **Costes asociados al nitrato como aditivo dietético en la reducción de emisiones del metano**

<b>Tipo de ganado</b>	<b>Cabezas de ganado (miles)</b>	<b>Consumo por cabeza de ganado diario (kg)</b>	<b>Coste por cabeza de ganado anual (€)</b>
Ovino	15.963	4	57
Bovino	6.318	40	307

Tabla 4: Costes asociados al nitrato como aditivo dietético en la reducción de emisiones del metano [15]

En resumen, con los datos obtenidos, se ha conseguido establecer un valor de potencial de reducción de emisiones de metano a través del uso del nitrato en las dietas del ganado. Así mismo, se ha establecido un coste unitario anual para la cabeza de ganado ovino y bovino.

#### *Mejora de las dietas: calidad de los forrajes*

Los forrajes son los pastos, hierba seca y cereales que se utilizan en la industria para alimentar al ganado. Una mejora de la calidad del forraje tiene la capacidad de aumentar

la productividad del ganado o de limitar la creación del metano de los rumiantes. Ambos resultados son muy positivos de cara a mitigar el metano emitido por los rumiantes.

Existen una gran cantidad de estudios referentes a la mejora de la calidad de los forrajes como método de mitigación de las emisiones de metano. Los resultados siempre demuestran dicha capacidad, aunque no son capaces de establecer un valor concreto de reducción real de emisiones. Esto es debido a las diferencias entre los tipos de rumiantes, así como los métodos de medida de emisiones. En el caso de los rumiantes, parece claro que el método de medida óptimo se basa en el gas SF<sub>6</sub> [12]. Por ello, se seleccionarán los estudios que hayan utilizado este método de medición y aquellos estudios que presenten los resultados más conservadores.

En un primer informe [16], se estudió el impacto del uso de tres tipos distintos de forraje. La composición de los forrajes utilizados y los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 5 y en la Tabla 6 respectivamente:

<b>Tipos de forrajes según su calidad<sup>1</sup></b>	
<b>Calidad de forraje</b>	<b>Composición</b>
Alta	61,5% de mezcla de legumbres y hierba de heno
Media	50,7% de hierba de heno
Baja	38,5% de hierba de heno

Tabla 5: Calidad de los forrajes utilizados en el estudio [16]

<b>Reducción de las emisiones de metano según la calidad del forraje utilizado</b>	
<b>Calidad de forraje</b>	<b>Reducción de emisiones de metano, con respecto a la calidad baja (%)</b>
Alta	15%
Media	0%
Baja	-

Tabla 6: Reducción de las emisiones de metano según la calidad del forraje utilizado en el estudio [16]

El segundo estudio [17] que se presenta utilizó únicamente dos tipos de forraje. Los resultados y la composición de los forrajes utilizados se presentan en la Tabla 7 y Tabla 8:

<sup>1</sup> Composición química de los forrajes en Anexo II: Composiciones químicas de los forrajes de mayor calidad

### Tipos de forrajes según su composición<sup>2</sup>

Ingredientes	Baja calidad	Alta calidad
Ensilado de cebada (%)	11,5	41,8
Grano de cebada (%)	83,5	41,7
Semillas de girasol (%)	-	14,0
Harina de soja (%)	2,5	-
Suplemento mineral (%)	2,5	2,5

Tabla 7: Tipos de forraje según su composición utilizados en el estudio [17]

La principal variación de los forrajes está en las semillas de girasol. Como consecuencia, se determinó que la inclusión de las semillas de girasol en la dieta de los rumiantes conseguía mitigar las emisiones de metano.

Reducción de las emisiones de metano según la calidad del forraje utilizado	
Calidad de forraje	Reducción de emisiones de metano, con respecto a la calidad baja (%)
Alta	13%
Baja	-

Tabla 8: Reducción de las emisiones de metano según la calidad del forraje utilizado en el estudio [17]

En un último estudio [18], se compara la capacidad de reducción de emisiones de metano diferenciando dietas a base de hierba y a base de legumbres. En total, cuatro tipos de dieta fueron utilizados<sup>3</sup>:

- Hierba tipo C3.
- Hierba tipo C4: característicos de hierbas tropicales. Los peores resultados se obtuvieron con este tipo de hierbas.
- Legumbres de ambientes fríos.
- Legumbres de ambientes calientes (tropicales).

Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 9:

<sup>2</sup> Composición química de los forrajes en Anexo II: Composiciones químicas de los forrajes de mayor calidad

<sup>3</sup> Composición química de los forrajes en Anexo II: Composiciones químicas de los forrajes de mayor calidad

### Reducción de las emisiones de metano según el tipo del forraje utilizado

Calidad de forraje	Reducción de emisiones de metano, con respecto a la hierba tipo C4 (%)
Hierba tipo C3	17%
Hierba tipo C4	-
Legumbres de ambientes fríos	17%
Legumbres de ambientes calientes	20%

Tabla 9: Reducción de las emisiones de metano según el tipo del forraje utilizado en el estudio [18]

Se concluyó que el uso de legumbres de ambientes calientes es la manera más eficaz de reducir las emisiones de metano. No obstante, cabe remarcar que el uso de legumbre como base de la alimentación (sustituyendo los pastos y hierbas) de los rumiantes ha sido corroborado como un método eficaz para reducir las emisiones de metano, ya que son digeridas más sencillamente por los rumiantes. Existen muchos estudios que lo confirman, como por ejemplo C. Benchaar, C. Pomar y J. Chiquette [19], o el primer informe presentado [16].

En resumen, el uso de cereales y legumbres como base de la dieta de los rumiantes es una opción muy válida para mitigar la emisión del metano. Además, incluyendo semillas de girasol, los efectos podrían incrementarse. De este modo, para evaluar el coste que supondría este tipo de medidas, se comparará el coste de forrajes de mayor calidad (a base de cereal) con los forrajes de menor calidad.

Para ello, es necesario obtener los precios de los diferentes cereales, legumbres y forrajes utilizados en las dietas del ganado. En la Tabla 10 se muestra las cotizaciones de la Lonja de León de distintos elementos de las dietas actuales. Con dichas cotizaciones será posible evaluar el coste de las medidas de mitigación presentadas con anterioridad.

Cotizaciones de los cereales, legumbres y forraje a 19/06/2019 <sup>4</sup>		
Tipo de alimento	Alimento	Precio (€/t)
Cereal	Trigo	186
Cereal	Cebada	173
Cereal	Centeno	161
Cereal	Avena	160
Cereal	Maíz	174
Cereal	Semilla de girasol	290 <sup>5</sup>
Legumbre	Alfalfa	186
Legumbre	Guisante	188 <sup>6</sup>
Forraje	Forraje	120

Tabla 10: Cotizaciones de la Lonja de León a 19/06/2019

#### Mejora de la dieta: concentrados

Esta técnica también tiene como objetivo mejorar la dieta de los rumiantes a través de introducir concentrados en el forraje para mejorar el valor nutritivo del mismo. Es decir, alimentar al ganado con suplementos alimenticios.

A pesar de ser un método muy similar a la mejora de la calidad de los forrajes, no se ha conseguido demostrar su capacidad de mitigación de las emisiones de metano. Existen estudios que aseguran reducir la emisión de metano bajo ciertas condiciones [20], mientras que otros estudios obtienen resultados que indican que, contrariamente a lo esperado, las emisiones de metano aumentan con el nivel de concentrados en la dieta de los rumiantes.

Por ello, se ha decidido no incluir este método de mitigación al no poder asegurar una reducción de las emisiones de metano.

#### Resumen

En resumen, la fermentación entérica es la mayor fuente de emisiones GEI del sector agrícola y ganadero español. El tipo de gas emitido es el metano, cuyo potencial de calentamiento global es mayor que el del CO<sub>2</sub>. Para combatir contra la emisión de metano a través de la fermentación entérica existen distintos métodos en fase de investigación, como alteraciones genéticas. Sin embargo, la mayoría de las técnicas de mitigación no están lo suficientemente validadas como para ser propuestas a implantar en la actualidad.

Debido a ello, se han propuesto dos medidas en las que la reducción de emisiones de metano está asegurada y corroborada por distintos estudios y organizaciones como FAO.

<sup>4</sup> Lonjadeleon.es

<sup>5</sup> Según la lonja de Segovia a 30/05/2019: lonjadesegovia.com

<sup>6</sup> Según la lonja de Toledo a 18/06/2019: asajatoledo.es/lonja/





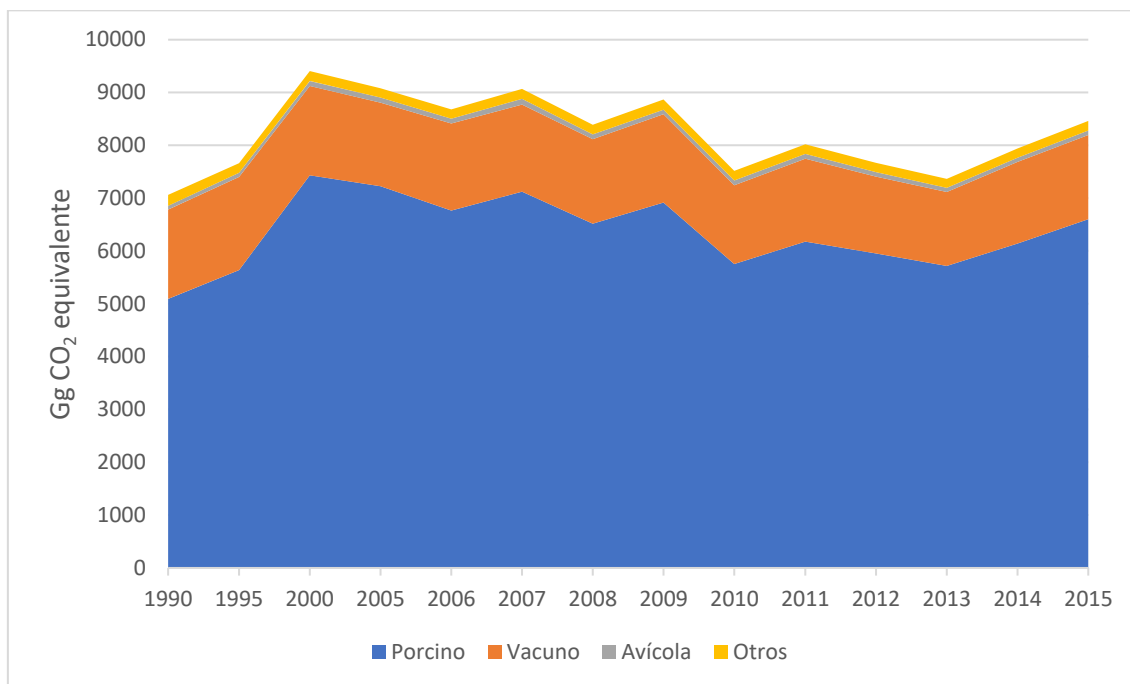


Figura 17: Emisiones de metano por gestión de estiércoles según el tipo de ganado en España (1990-2015) [8]

Al igual que ocurre con la fermentación entérica, existen distintos métodos de mitigación de emisiones en la gestión de los estiércoles. Estos métodos mitigan tanto la emisión de los gases GEI como los contaminantes. A continuación, se presentan los distintos métodos existentes y contrastados y corroborados en diferentes estudios y por distintas organizaciones.

Debido a la importancia de la gestión del estiércol como actividad emisora, se han desarrollado una gran variedad de estudios relativos a su mitigación. Uno de ellos, financiado por la Unión Europea, tuvo lugar en Castilla y León bajo el nombre de LIFE SMART FERTIRRIGATION<sup>7</sup>. Además, el Gobierno de Aragón realiza informes referentes a la gestión del estiércol con el fin de optimizar su uso y reducir emisiones.

Existen una gran variedad de actividades para mitigar las emisiones producidas por el estiércol, aunque las más relevantes pueden ser agrupadas en tres categorías:

- Unidades de almacenamiento de estiércol.
- Tratamiento del estiércol: procesos anaeróbicos para la captura del biogás, ventilación, acidificación, separación de sólidos.
- Aplicación del estiércol como fertilizante orgánico. La reducción de emisiones se debería al menor uso de fertilizantes sintéticos, optimizando así los recursos existentes.

<sup>7</sup> <http://smartfertirrigation.eu/>

### Unidades de almacenamiento

El almacenamiento del estiércol en fosas permite reducir las emisiones de metano y amoníaco. Además, las emisiones de óxido nitroso son prácticamente nulas (excepto en el caso concreto de que se produzca una costra en el exterior) [21].

Para optimizar las unidades de almacenamiento de estiércol, es necesario evitar la agitación y cubrir los depósitos. Para ello, existe una gran variedad de soluciones: cubiertas rígidas, costras, plásticos, etc.

En la Figura 18 se presentan las diferentes medidas existentes de mitigación de las emisiones del estiércol, así como su coste asociado:

Medida de reducción de emisiones	% reducción emisiones NH <sub>3</sub>	Aplicabilidad	Coste (€/m <sup>3</sup> -año)	Coste adicional (€/kg NH <sub>3</sub> -N red.)
Almacenamiento sin cobertura	0			
Cubierta rígida, techo o estructura de tienda.	80	Tanques de hormigón o acero. Puede no ser adecuado para otros sistemas de almacenamiento ya existentes en la granja.	2,0-4,0	1,0-2,5
Cubierta de plástico flotante	60	Pequeñas balsas.	1,5-3,0	0,6-1,3
Costra natural. Favorecer su formación reduciendo al máximo la agitación y realizando la carga y descarga de purín por debajo de la superficie (cubierta flotante)	40	Sólo para el caso de purines con un elevado contenido en fibra. No es aplicable a granjas donde es necesaria una agitación frecuente para la posterior aplicación al campo. La costra puede tener problemas de formación en climas fríos con el purín porcino.	0	0
Bolsa (cat. 1)	100	Disponible para un tamaño de almacenamiento limitado.	2.50 (incluye coste de almacenamiento)	
Bolas LECA flotantes	60	No adecuado en casos de formación de costra	1,0-4,0	1,0-5,0
Lámina de plástico (cubierta flotante)	60	Balsas grandes de hormigón o tanques de acero. La gestión y otros factores pueden limitar el uso de esta técnica.	1,5-3,0	0,5-1,3
Cubiertas flotantes simples (paja, turba, corteza, etc.)	40	Tanques de hormigón, acero o silos. Probablemente no es útil para grandes balsas y se debe tener cuidado con los problemas de manejo que los materiales utilizados pueden ocasionar.	1,5-2,5	0,3-0,9

Figura 18: Métodos de reducción de emisiones de amoníaco a través de unidades de almacenamiento de estiércol [21] [22]

Las unidades de almacenamiento también consiguen reducir las emisiones de metano si se controla la temperatura del estiércol. A menor temperatura, menor será la cantidad de metano emitido a la atmósfera. No obstante, el control de la temperatura supone costes muy altos, por lo que el único método viable para controlar la temperatura es el de vaciar las unidades de almacenamiento con regularidad. Por tanto, la reducción de la temperatura del estiércol almacenado no será incluido en el modelo ya que no es posible estimar con fiabilidad la reducción de emisiones debidas a esta práctica. Sin embargo, se recomienda a los ganaderos que intenten reducir la temperatura del estiércol ya que se estima que una

reducción de 10°C podría suponer una reducción del 30% de las emisiones de metano [21].

El almacenamiento del estiércol en sí mismo puede llegar a reducir las emisiones de metano en un 50%. Además, si se consigue mantener en reposo el estiércol, la reducción puede llegar a alcanzar el 25% adicional [23]. Otros estudios estiman esta reducción entre un 10% y un 65% [24].

#### *Tratamiento del estiércol – digestión anaeróbica*

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico por el cual la materia orgánica se transforma en un biogás [21]. Este biogás contiene más de un 60% de metano se considera biogás y energía renovable.

De esta forma, al convertir los residuos en forma de estiércol en un combustible renovable, se reducen las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> de dos maneras distintas:

- Reducción de las emisiones de metano a la atmósfera al no almacenar estiércol.
- Reducción de las emisiones por consumo de combustible fósil, que será remplazado por el biogás. La gran ventaja del biogás es que no emite SO<sub>2</sub>.

La reducción estimada por tonelada de estiércol (en comparación con un uso del estiércol como fertilizante tras un período de almacenamiento de 4-6 meses<sup>8</sup>) es de 50kt de CO<sub>2</sub> equivalente [25].

En la Figura 19 se muestra el esquema de una planta de digestión anaeróbica y en la Figura 20 ejemplos de plantas de digestión anaeróbica en explotaciones ganaderas.

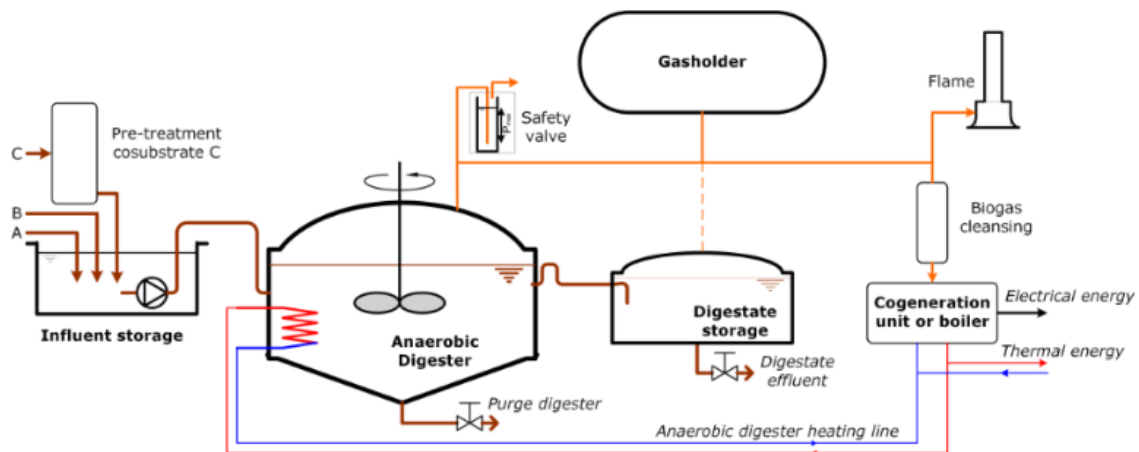


Figura 19: Esquema general de una planta de digestión anaeróbica [21]

<sup>8</sup> Los períodos de almacenamiento pueden variar entre 2 meses y 15 meses. Se consigue mejorar la cantidad de nutrientes para períodos de 6 meses de almacenamiento [51]



*Figura 20: Ejemplo de sistemas de digestión anaeróbica en explotaciones ganaderas [21]*

Los beneficios ecológicos de la captura del biogás parecen evidentes. Por ello, es necesario conocer el coste económico que supondría instalar este tipo de sistemas.

En Europa existen actualmente más de 17.000 plantas de biogás en explotaciones ganaderas, mientras que en España apenas se han instalado 50 [26].

La realidad es que los países punteros en desarrollo de plantas de biogás (Alemania, Reino Unido y Francia) dedican esfuerzos económicos en forma de subvenciones que fomentan su desarrollo. En cambio, en España desde el establecimiento del Real Decreto 1/2012 [27] las ayudas han descendido. Además, el escándalo tras la cancelación de las subvenciones a las renovables ya emitidas ha provocado un clima de inseguridad que está minando la inversión de este tipo de energía renovable. Finalmente, la regulación actual sobre el autoconsumo en España tampoco beneficia el desarrollo del biogás (muchos ganaderos utilizarían su propio biogás como fuente de energía).

Según la Asociación Española del Biogás (AEBIG), la rentabilidad de una planta de biogás es del 10%, aunque con altos riesgos de suministro y operacionales. Según AEBIG, estos riesgos alejan a los inversores que se decantan por la energía fotovoltaica. Además, consideran plantas de gran potencia, que debido al efecto de escala consiguen reducir el coste de inversión por kW drásticamente en comparación con las pequeñas plantas de biogás.

No obstante, la creación de plantas de biogás para pequeñas explotaciones agrícolas tiene un coste mucho mayor debido al factor de escala, como se puede comprobar en la Figura 21.

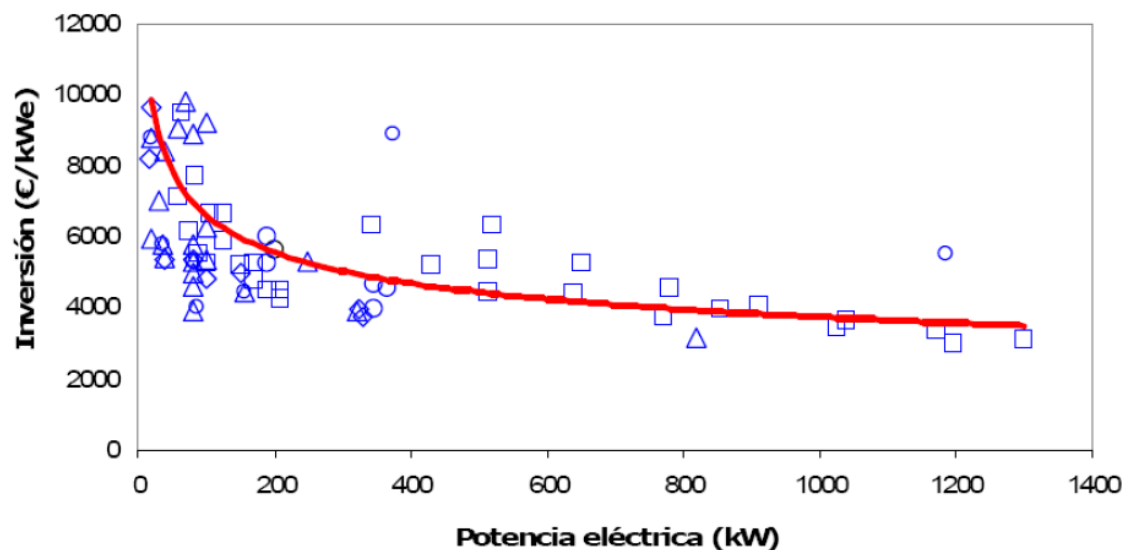


Figura 21: LCOE de las plantas de biogás según la Agencia Andaluza de la Energía [28]

Es por ello que, por el momento, las subvenciones son necesarias para el desarrollo de plantas de biogás de pequeño tamaño. Un estudio de la Universidad de Cantabria demuestra la inviabilidad de las plantas de pequeña potencia (50kW en el estudio) con los costes de inversión actuales [29]. En el estudio también se demuestra que plantas de 1000kW conseguir recuperar la inversión, pero distan mucho de generar una rentabilidad suficiente para el inversor.

Teniendo en cuenta estos datos, y que en Alemania, uno de los países con mayor número de plantas de biogás de Europa, el coste por kW varía entre 2000 y 4000 €/kW<sup>9</sup> [30], se necesitarían subvenciones de al menos 50% del coste inicial.

Energylab<sup>10</sup> es centro tecnológico de carácter privado y sin ánimo de lucro que desarrolla actividades de investigación para la evolución de la eficiencia y sostenibilidad energética. Energylab está patrocinado tanto por la administración pública (Xunta de Galicia, INEGA), universidades (Universidad de Santiago de Compostela, Universidade Da Coruña, Universidad de Vigo) y empresas privadas (Inditex y Naturgy entre otras). Según sus estudios, una granja de 110 cabezas de ganado vacuno debería invertir entre 300.000€ y 500.000€; esta inversión debería reducirse hasta 150.000€ para obtener rentabilidad.

En conclusión, las plantas de biogás pueden ser una gran medida de mitigación, pero aún hacen falta esfuerzos económicos y de desarrollo tecnológico grandes. Se incluirá en el estudio, pero a corto plazo no serán una medida viable.

#### *Aplicación del estiércol como fertilizante orgánico*

El proyecto LIFE MANEV, financiado por la Unión Europea, desarrolló un software, llamado Manev<sup>11</sup>, para la gestión del estiércol gratuito para todos los ganaderos. Aconseja a los ganaderos cómo utilizar el estiércol como abono, reduciendo el uso del abonado

<sup>9</sup> Suponiendo un 80% de deuda.

<sup>10</sup> <https://energylab.es>

<sup>11</sup> Vídeo tutorial oficial: [https://www.youtube.com/watch?time\\_continue=88&v=7Wr5jBwdE7o](https://www.youtube.com/watch?time_continue=88&v=7Wr5jBwdE7o)

mineral. Al reducir el uso del abonado mineral (fertilizantes sintéticos), se eliminan las emisiones asociadas a la fabricación y transporte de dichos fertilizantes. Sin embargo, estas emisiones se contabilizan como emisión industrial y de transporte, por lo que queda fuera del marco de este estudio.

Esta técnica está cogiendo fuerza en el sector agrícola con el fin de gestionar la gran cantidad de residuos que generan los estiércoles, y en algún caso reducir los costes de fertilizantes (el coste de transporte de del estiércol es de 0,53€/m<sup>3</sup>, por lo que para distancias menores de 25km es rentable adquirir estiércol en comparación a adquirir fertilizantes [31]). No obstante, no se consiguen reducir las emisiones por gestión de estiércol, ya que sigue produciéndose y emitiendo igualmente.

Algunos estudios afirman que se ha conseguido reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes<sup>12</sup>, pero la realidad es que se consiguió a través de técnicas de optimización del uso de los fertilizantes, que no pertenece a esta actividad agrícola y ganadera, y se presentará a continuación.

### *Resumen*

La gestión de estiércol es una de las actividades del sector agrícola y ganadero más importante, tanto en emisiones de gases GEI como en gases contaminantes. Los métodos más comunes han sido presentados con anterioridad, y son:

- Unidades de almacenamiento: parecen la opción más eficaz.
- Digestión anaeróbica: en España no es viable debido a su alto coste. En otros países, como Alemania, debido a las subvenciones y al mayor uso del biogás, es muy común su uso.
- Aplicación como fertilizante orgánico: existen estudios que aseguran su capacidad de mitigación de emisiones. A pesar de ello, dicha reducción de emisiones no corresponde a la gestión de los estiércoles sino a la disminución de la utilización de fertilizantes.

### **3.2.3. Suelos agrícolas**

Las emisiones emitidas por las actividades de los suelos agrícolas suponen la tercera causa más importante de las emisiones agrícolas totales en España. Las emisiones de los suelos agrícolas se manifiestan en forma de óxido nitroso. Además, esta actividad es la que más genera gases contaminantes, en forma de amoníaco (NH<sub>3</sub>).

Según las directrices de la Guía IPCC 2006 [32], las emisiones clave derivadas de la actividad de los suelos agrícolas se dividen en emisiones directas e indirectas:

- Emisiones directas: son la consecuencia de cambios en la cantidad de N en los suelos agrícolas. Un aumento de N incrementa las tasas de nitrificación y desnitrificación, derivando en un aumento de las emisiones de óxido nitroso. A continuación, se enumeran las principales actividades que aumentan los niveles de N en los suelos agrícolas:
  - Fertilizantes sintéticos de nitrógeno.

---

<sup>12</sup> <http://smartfertilirrigation.eu/es/resultados/resultados-7.html>

- Nitrógeno orgánico de estiércoles y orina utilizados como fertilizantes.
- Lodos.
- Compost.
- Pastoreo.
- Residuos agrícolas que contienen nitrógeno.
- La mineralización de nitrógeno relacionada con la pérdida de materia orgánica del suelo como resultado de cambios en el uso de la tierra o en la gestión de suelos minerales.
- La gestión de los suelos orgánicos.
- Emisiones indirectas: en este caso las emisiones no se deben a una alteración de los niveles de nitrógeno en los suelos agrícolas, sino en dos procesos del nitrógeno ya depositado en los suelos:
  - Deposición atmosférica de nitrógeno.
  - Lixiviación y escurrentía de nitrógeno desde los suelos.

Las emisiones directas e indirectas son producto de las diferentes actividades agrícolas y ganaderas. De una forma u otra, se están alterando y modificando las proporciones y cantidades de nitrógeno en los suelos, derivando en dichas emisiones. Este movimiento de nitrógeno en los suelos es conocido como el ciclo de nitrógeno, y se resume brevemente en la Figura 22:

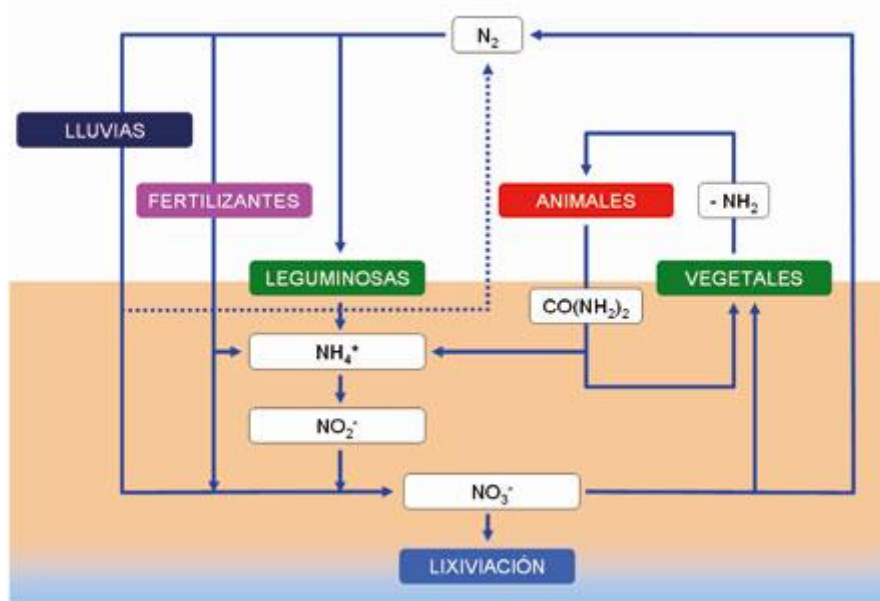


Figura 22: Ciclo del nitrógeno [33]

Desde 1990, se ha producido un aumento del 8,2% de las emisiones por la actividad de los suelos agrícolas tanto en las emisiones directas (ascenso del 7,8%) como indirectas (ascenso del 11,6%).

Estas emisiones están directamente relacionadas con la cantidad de nitrógeno que se deposita en los suelos, que a su vez dependerá de la gestión de los fertilizantes nitrogenados y las técnicas de pastoreo. En la Figura 23, Figura 24 y Figura 25 se muestra la evolución de estas emisiones desde el año 1990, diferenciando las emisiones directas e



indirectas [3]. Además, se puede observar que las actividades con más emisiones son las consecuentes a los fertilizantes y el pastoreo como se preveía.

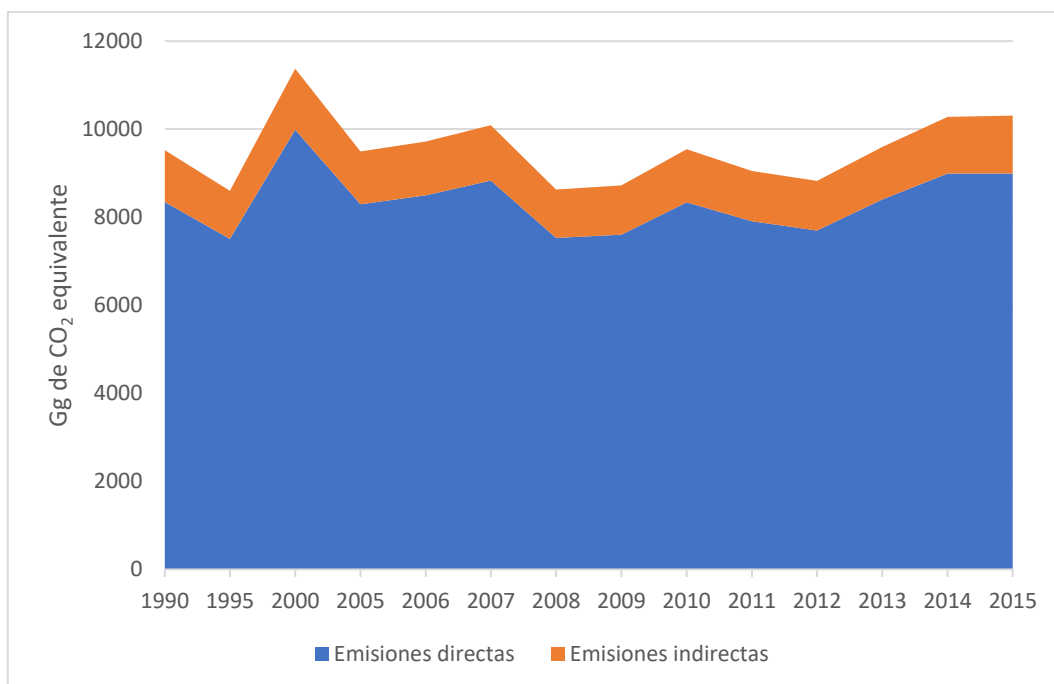


Figura 23: Evolución de las emisiones por la actividad en los suelos agrícolas (1990-2015) [3]

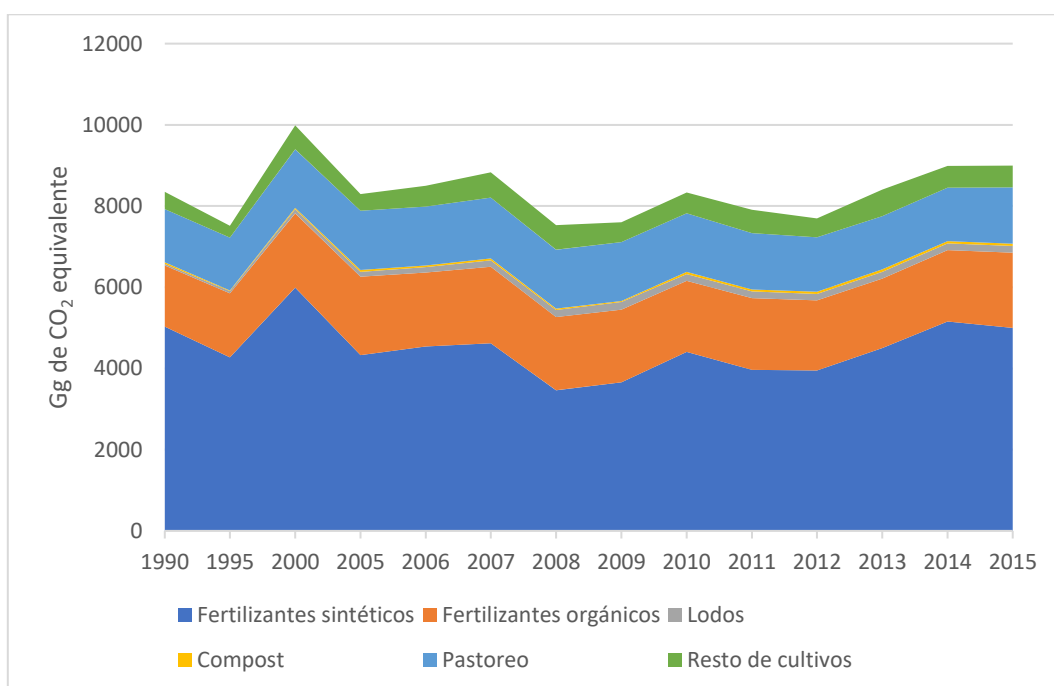


Figura 24: Evolución de las emisiones directas por la actividad de suelos agrícolas (1990-2015) [3]

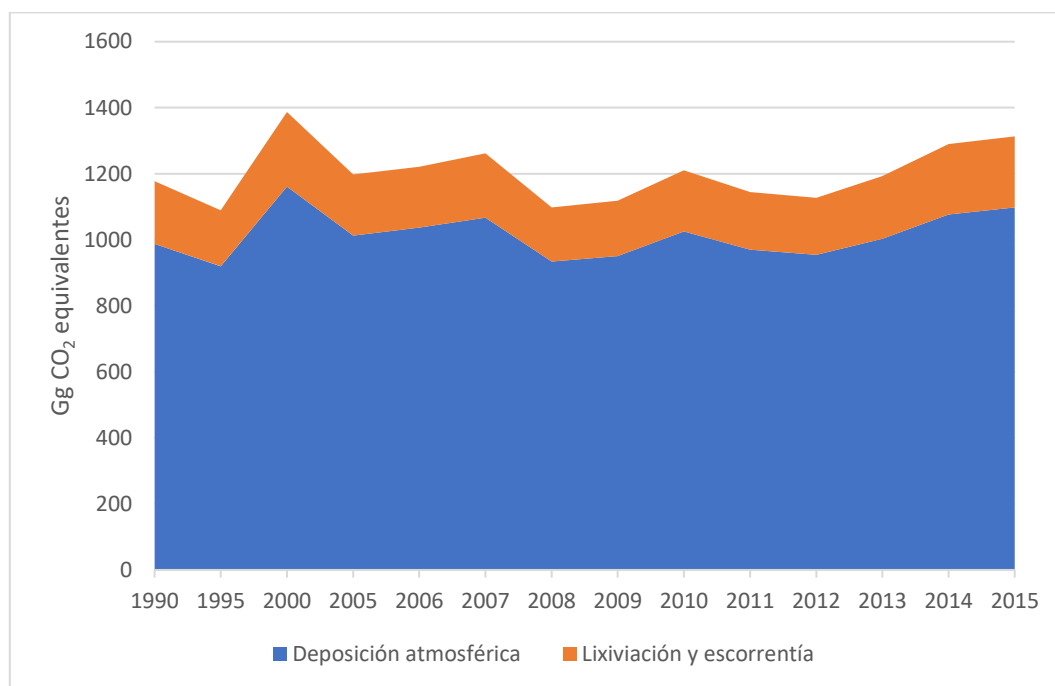


Figura 25: Evolución de las emisiones indirectas por la actividad de suelos agrícolas (1990-2015) [3]

La mayor parte de las emisiones de los suelos agrícolas son causadas por el uso de los fertilizantes. No obstante, el uso de los fertilizantes en los cultivos de todo el mundo es imprescindible para poder mantener los niveles de producción actuales. De hecho, se estima que el 50% de la producción agrícola mundial depende del uso de los fertilizantes [34]. Los fertilizantes aportan nutrientes a los suelos agrícolas que evitan la necesidad de utilizar el barbecho para recuperar dichos nutrientes. Por tanto, no es posible plantear la eliminación de los fertilizantes.

El uso de fertilizantes nitrogenados, los más comunes y contaminantes, no deben ser remplazados ya que permiten aumentar la eficiencia de la producción a cotas muy altas. Sin su existencia, la cantidad de cultivos necesarios para mantener la demanda de alimentos a nivel mundial supondría un incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes [35].

Las soluciones existentes que recomienda el Ministerio para la Transición Ecológica para mitigar las emisiones de los suelos agrícolas se enumeran a continuación [6]:

- Uso adecuado y optimización de la fertilización, combinando correctamente los fertilizantes sintéticos (nitrogenados y no nitrogenados) y los fertilizantes orgánicos.
- Rotación de cultivos que optimicen el uso de los recursos.
- Uso de leguminosas: plantaciones con una alta capacidad para regenerar los suelos agrícolas.
- Uso de técnicas de gestión que evitan las pérdidas de carbono orgánico de los suelos.

A continuación, se detallarán en qué consisten este tipo de actividades de mitigación de emisiones.

### *Optimización del uso de fertilizantes*

La optimización de la gestión de los fertilizantes permitiría reducir la cantidad utilizada, reduciendo así las emisiones óxido nitrógeno, sin afectar la producción total de los cultivos.

La optimización del uso de los fertilizantes se basa en aportar de la cantidad óptima de los mismos a los suelos. El objetivo es el de aportar únicamente los nutrientes consumidos por los cultivos, evitando así depositar un exceso de nitrógeno en los suelos agrícolas. Además, se aseguraría también que el aporte de nitrógeno consigue satisfacer los nutrientes necesarios para la correcta recuperación del suelo agrícola.

Principalmente existen tres métodos:

- Control y automatización del aporte de fertilizantes.
- Biofertilizantes.
- Nanofertilizantes.

Los biofertilizantes y nanofertilizantes se encuentran en fase de estudio aún, por lo que no son implementables [36].

Para el control y automatización del aporte de fertilizantes existen softwares de gestión como Smart Fertilizer<sup>13</sup>. Es muy difícil de estimar el ahorro de emisiones debido al uso de estos sistemas ya que cada agricultor puede beneficiarse en mayor o menor medida de estos softwares (dependiendo de su gestión actual de los fertilizantes).

Según los creadores de este tipo de softwares, los beneficios ecológicos y económicos pueden llegar a ser enormes. Evidentemente, la subjetividad de las afirmaciones hace dudar de sus posibles resultados. Con el fin de mantener la verosimilitud, se supondrá que el ahorro ecológico solo podrá alcanzar el 5%; o lo que es lo mismo, se supondrá un ahorro del 5% del fertilizante utilizado. El coste medio por hectárea de estos sistemas es de 3€/hectárea al año.

La optimización del uso de los fertilizantes también se puede realizar manualmente, midiendo regularmente los nutrientes contenidos en los suelos agrícolas. No obstante, el precio de estos sistemas es muy bajo, por lo que probablemente sea más sencillo y común su aplicación.

### *Elección de fertilizantes nitrogenados*

Existen distintos tipos de fertilizantes nitrogenados. Su objetivo es enriquecer los suelos agrícolas con la cantidad necesaria de nutrientes para el crecimiento de los cultivos. Esta actividad entraña emisiones de óxido nitrógeno principalmente, que se debe al aporte innecesario de nitrógeno en los suelos agrícolas.

No obstante, el uso de este tipo de fertilizantes también provoca, en menor medida, emisiones de amoníaco (NH<sub>3</sub>). Estas emisiones de metano pueden reducirse con una correcta elección de los fertilizantes nitrogenados. Los fertilizantes nitrogenados más comunes son la urea y los nitrato de amonio (ver Figura 26 y Figura 27):

---

<sup>13</sup> <https://www.smart-fertilizer.com>

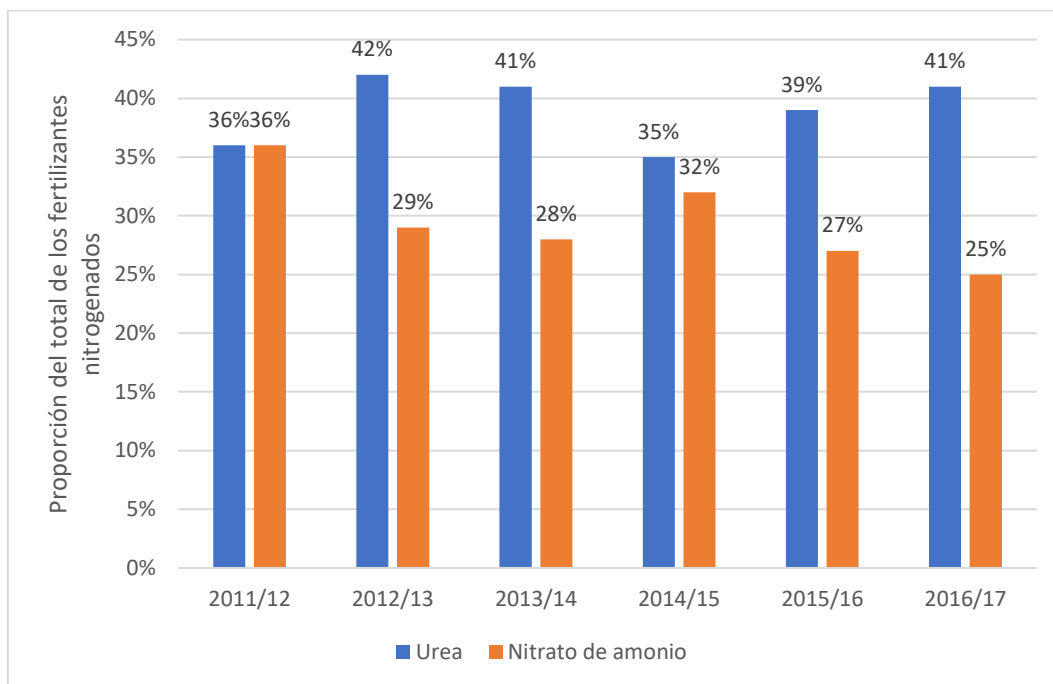


Figura 26: Comparación del uso de urea y nitrato de amonio en España [37] [38]

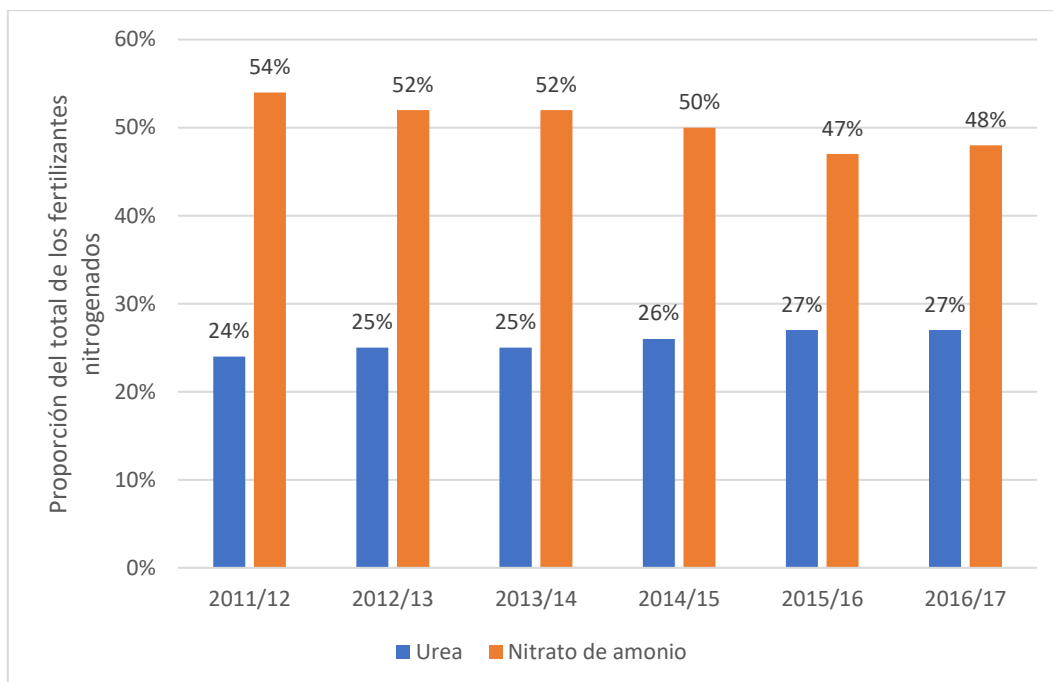


Figura 27: Comparación del uso de urea y nitrato de amonio en Europa [37]

La urea tiene un coste menor al de los nitratos de amonio (18% más costoso<sup>14</sup>), la razón por la cual en España su consumo es mayor. Sin embargo, desde hace años en Europa los agricultores se decantan por los nitratos de amonio debido a la mejora de la eficiencia de los cultivos comparado con el uso de la urea.

<sup>14</sup> El coste no se compara por medida de masa de fertilizante, sino por la cantidad de nitrógeno por medida de masa.



utilizada en este documento proviene de los libros del CFA Institute, una organización cuyo objetivo es acreditar conocimientos financieros y económicos de aquellos que realizan sus exámenes. A través de la Tabla 11 se presenta la explicación a modo de ejemplo.

Además de esta explicación puramente económica, hay que tener en cuenta que los cultivos en Europa están determinados por las subvenciones europeas. Por ello, la rotación de cultivos o el uso de leguminosas no son posibles mientras sigan existiendo estas directrices.

<b>Ejemplo de ventaja relativa y absoluta</b>		
	<b>Capacidad de producción de sillas</b>	<b>Capacidad de producción de mesas</b>
Región 1	15	12
Región 2	5	9

*Tabla 11: Ejemplo de ventaja relativa y absoluta*

Como se muestra en la Tabla 11, la región 1 tiene una ventaja absoluta tanto en la producción de sillas como de mesas, pero solo tiene ventaja relativa en la producción de sillas. La región 2 tiene ventaja relativa en la producción de mesas. Esto se debe a que el coste de oportunidad, para la región 2, de producir una mesa es menor que el coste de oportunidad de la región 1 de producir mesas. En los cultivos ocurre lo mismo; el beneficio económico será mayor si se especializa en el cultivo en el cual tiene ventaja relativa.

Es cierto que las diferentes propuestas detalladas en este informe tienen asociados costes extra al igual que la rotación de cultivos o el uso de leguminosas. Sin embargo, estas actividades no son “accesorios” que produzcan mejoras ecológicas; son renovaciones profundas en el negocio para las que grandes inversiones, de dinero y tiempo, serían necesarias. Además, choca directamente contra los principios económicos actuales. Por esto, se consideran de difícil implementación en el sector agrícola, y por tanto no se tendrán en cuenta en el informe.

### *Resumen*

Las medidas propuestas, y en concordancia con las recomendaciones del Ministerio para la Transición Ecológica, se resumen a continuación. Cabe destacar que el uso de la rotación de cultivo y el uso de leguminosas se ha descartado por las razones explicadas previamente.

- Optimización de la fertilización: a través de softwares de gestión es posible optimizar el uso de los fertilizantes, reduciendo las emisiones de N<sub>2</sub>O. La dificultad reside en cuantificar el potencial de mitigación ya que no es posible determinar el grado de eficiencia con el que se trabaja en las explotaciones agrícolas españolas.
- Elección de los fertilizantes nitrogenados: ha sido demostrado que la urea, en comparación con el nitrato de amonio, genera más emisiones contaminantes, en

forma de  $\text{NH}_3$ . Otros países europeos ya apuestan por el nitrato de amonio, a pesar de su mayor coste, ya que reduce las emisiones y es capaz de mejorar la eficacia de los cultivos.

#### **3.2.4. Cultivos de arroz**

El cultivo del arroz es una de las mayores fuentes de emisión de metano del mundo. En España, su impacto no es tan importante ya que no se produce tanta cantidad de arroz. De esta forma, las emisiones por cultivo de arroz apenas representan el 0,13% de las emisiones totales en España, y el 1,32% de las emisiones agrícolas totales. En España, la superficie cultivada es de aproximadamente 110.00 hectáreas, concentradas principalmente en Andalucía y Extremadura [3].

El origen de las emisiones de metano producidas por los cultivos de arroz es la descomposición anaeróbica de material orgánico de los arrozales inundados por medio de la acción de bacterias metanogénicas. Los niveles de producción de metano en los cultivos de arroz dependen de las propias características de las plantas de arroz y de varios factores biológicos y físicos del suelo de cultivo, que se enumeran a continuación [42]:

- Temperatura.
- Fuentes de carbono.
- Nutrientes.
- Fertilización utilizada (orgánica o sintética).
- Conductividad eléctrica.
- pH.
- Los microorganismos del suelo.
- Régimen del agua.

Aunque la producción de metano está determinada por estos factores, la reducción o aumento de las emisiones de metano por los cultivos de arroz está directamente relacionado con la cantidad de arroz producido. A mayor número de hectáreas de arroz, mayor será la cantidad de emisiones. En la Figura 28 [3] [43] se puede observar la evolución de las emisiones de metano por el cultivo de arroz desde 1990, comparándolo con la producción anual de arroz en España.

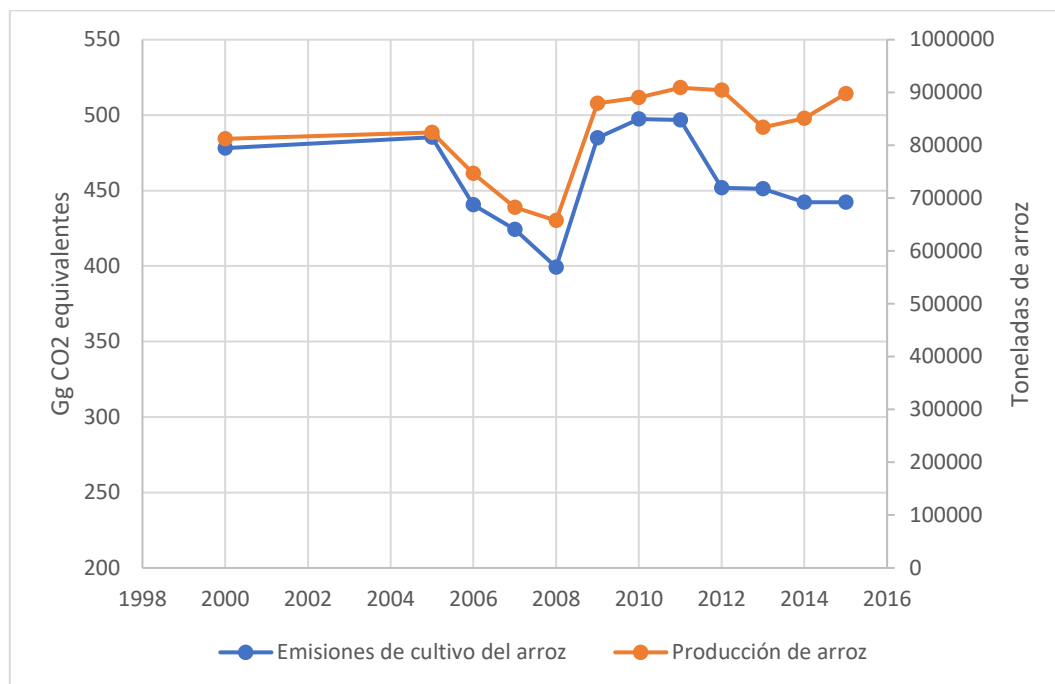


Figura 28: Evolución de las emisiones por el cultivo de arroz vs. la producción anual de arroz (1990-2015) [3] [43]

Actualmente no existen sistemas implantados que permitan mitigar la cantidad de metano emitida por los cultivos de arroz. Sin embargo, se está realizando un proyecto piloto en el Delta del Ebro con el objetivo de estudiar posibles medidas de mitigación.

Este proyecto realizado por investigadores del IRTA (Institute of Agrifood Research and Technology) se llama EBRO ADMICLIM<sup>17</sup> y cuenta con el apoyo de Kellogg's, Ebro Foods y la Unión Europea (a través del programa LIFE+).

El proyecto se basa en el riego intermitente y en el momento de la incorporación de la paja. A continuación, se explicará en mayor detalle las propuestas de este estudio, así como su capacidad de mitigación y costes asociados.

Este estudio fue desarrollado por IRTA en colaboración con Ebro Foods, Kellogg's y la Unión Europea. Dicho estudio concluyó que se podía llegar a conseguir una reducción de hasta el 90% de las emisiones de metano producidas por el cultivo del arroz y hasta un 30% de reducción del consumo de agua gracias a la implantación del riego intermitente [44].

El riego intermitente consiste en intercalar períodos de inundación y drenaje durante el cultivo del arroz. Así, hay períodos en los que, al no haber agua, no se emiten metano.

No obstante, la reducción de metano “puede ser menor en otras condiciones por lo que son necesarios estudios en más campos, teniendo en cuenta la variabilidad geofísica y agronómica de los arrozales” [44]. Para confirmar y verificar estos resultados, se ha contactado a diferentes trabajadores del IRTA, sin obtener (aún) respuesta.

<sup>17</sup> <http://www.lifeebroadmiclim.eu/es/>



A pesar de la lógica detrás del concepto de no emisión de metano si los arrozales no se encuentran inundados, era necesario confirmar este hecho, así como obtener un valor fiable de la reducción real de emisión de metano. Según otro estudio realizado en Uruguay por Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), con el riego intermitente, se redujeron las emisiones en un 55% [45].

Este método de mitigación no tiene costes asociados ya que solo se trata de aplicar menos riego con el fin de drenar los cultivos durante ciertos períodos. Incluso podría suponer un ahorro económico debido al ahorro de agua.

En resumen, el riego intermitente es una medida muy adecuada para reducir las emisiones de metano en España, ya que es eficaz y económica. La cuantificación de la reducción de las emisiones, sin embargo, no ha podido ser verificada con el IRTA. Por ello, tomará el valor del 55% de reducción de emisiones de metano obtenido por el INIA uruguayo.

### 3.2.5. *Quema en campo de residuos agrícolas*

La quema en campo de residuos agrícolas está compuesta por la quema directa de los restos de cultivos agrícolas herbáceos (rastros y restos de cosecha). En cambio, los restos de poda de cultivos leñosos (como el olivo y la vid) no están considerados dentro de este apartado, sino dentro del apartado de emisiones por residuos (externo a las emisiones agrícolas y ganaderas).

La quema en campo de residuos era una práctica habitual hasta los primeros años de la década de los 2000. Sin embargo, desde entonces se ha reducido drásticamente debido a nueva normativa y reglamentaciones establecidas por las diferentes CC.AA.. Consecuentemente, las emisiones han sido reducidas hasta casi ser eliminadas. En la Figura 29 [3] se observa la evolución de dichas emisiones desde 1990.

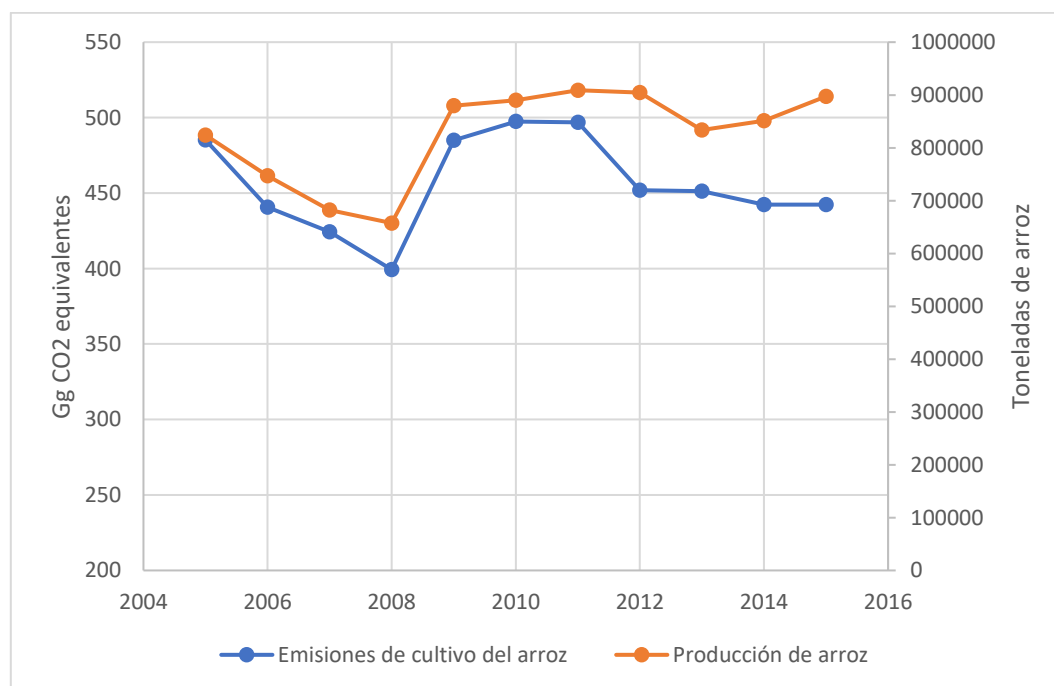


Figura 29: Evolución de las emisiones por quema de residuos agrícolas (1990-2015) [3]

Debido a esta enorme reducción y a que el porcentaje de emisiones por quema de residuos agrícolas es despreciable en comparación con las emisiones totales del sector agrícola (ver Tabla 1), no se considerarán estas emisiones en el modelo final.

### 3.2.6. Aplicación de urea

La urea, o carbamida, es utilizada para la elaboración de fertilizantes agrícolas. Proviene de la orina excretada por los mamíferos tras su proceso de metabolismo [46]. Las emisiones por aplicación urea se manifiestan en forma de CO<sub>2</sub>.

Consecuentemente, las emisiones por aplicación de urea dependen de la utilización de dichos fertilizantes. En la Figura 30 se muestra la evolución de la emisiones debido a la aplicación de urea desde 1990 [3]:

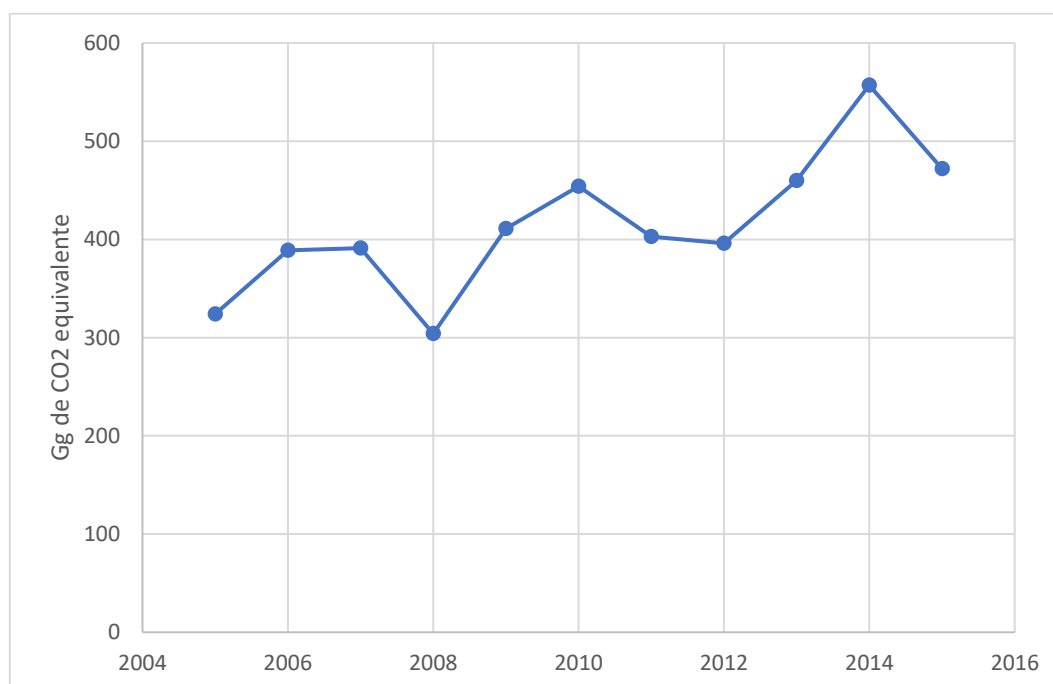


Figura 30: Evolución de las emisiones por aplicación de urea (1990-2015) [3]

Los fertilizantes con base de urea se comenzaron a utilizar debido tres factores [47] [48] [49]:

- Alta concentración de nitrógeno.
- Alta solubilidad, y por tanto mayor facilidad de incorporación y absorción.
- Menor coste: es el factor más importante a la hora de seleccionar este tipo de fertilizantes.

Sin embargo, los fertilizantes a base de urea son mucho más invasivos con los suelos agrícolas, elevan en mayor medida los niveles de nitrógeno y son por tanto más contaminantes.

Debido a que la solución está relacionada con la sustitución de este tipo de fertilizantes, al igual que la actividad de suelos agrícolas, en donde se concluyó que se debería sustituir los fertilizantes a base de urea por fertilizantes de nitrato de amonio, la reducción de emisiones de por aplicación de urea está supeditada a las decisiones por suelos agrícolas.

En resumen, la mitigación de emisiones de CO<sub>2</sub> por aplicación de urea, al no ser especialmente significativas en el total de emisiones GEI del sector agrícola y ganadero español, dependerá de la reducción de emisiones en los suelos agrícolas, ya que la técnica de mitigación coincide.

### 3.2.7. *Enmienda caliza*

El encalado sirve para corregir la acidez de los suelos agrícolas y mejorar el crecimiento de los cultivos [50]. Debido a esta actividad, se emite a la atmósfera gases CO<sub>2</sub> que, sin embargo, apenas tienen impacto en el total de emisiones en España ni en el total de emisiones agrícolas en España (ver Tabla 1).

En la Figura 31 se muestra la evolución de este tipo de emisiones desde 1990.

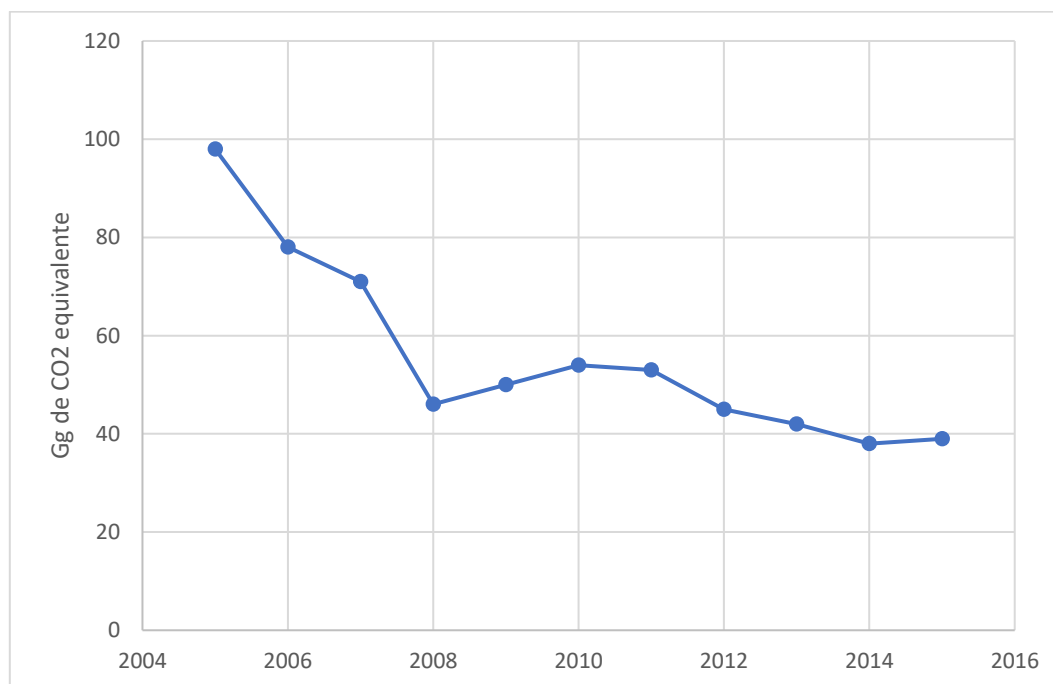


Figura 31: Evolución de las emisiones por enmienda caliza (1990-2015) [3]

Debido a la poca relevancia de este tipo de emisiones, especialmente en los últimos años, no se tendrán en cuenta en este estudio.

### 3.3. *Resumen de las técnicas de mitigación presentadas*

En esta sección se ha presentado la situación del sector agrícola y ganadero español, referente a las emisiones GEI y contaminantes, así como las distintas técnicas de mitigación de emisiones existentes. Para ello, se ha hecho uso de distintos artículos científico e informes nacionales, evitando al máximo la subjetividad de ciertos estudios y organizaciones.

Debido a la gran cantidad de información aportada anteriormente, se expondrán diferentes ilustraciones en las que se comparará cada una de las medidas de reducción de emisiones según su potencial de reducción de emisiones GEI y contaminantes, en función del coste

unitario de reducir un kg de emisiones GEI (en kg de CO<sub>2</sub> equivalente) o contaminantes (en kg de NH<sub>3</sub>).

Para ello, se separarán las medidas contra las emisiones GEI y las emisiones contaminantes. Esto se debe a que las emisiones contaminantes no se miden según **kt de CO<sub>2</sub> equivalentes**, sino simplemente en cantidad del gas contaminante emitido. Esto hace imposible su comparación. En cambio, las emisiones GEI sí se miden en **kt de CO<sub>2</sub> equivalentes**, por lo que su comparación sí es posible y válida, a pesar de emitir gases GEI diferentes (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O).

Además, no se comparará el potencial unitario de reducción de emisiones, sino el potencial real. Esto es, la capacidad de reducción unitaria de cada técnica de mitigación multiplicado por el porcentaje de emisiones GEI de la actividad sobre el total de emisiones GEI del sector agrícola y ganadero. De esta forma, una actividad que pudiese eliminar por completo las emisiones de una actividad emisora que supone el 1% del total de las emisiones GEI, tendría menos potencial que una actividad que solo pudiese eliminar el 50% de una actividad emisora que suponga el 99% de las emisiones GEI totales.

Los costes unitarios a la implantación de las técnicas de mitigación serán las emisiones potenciales a reducir, entre los costes totales que ello supondría. La razón es que el coste unitario de las diferentes actividades no es comparable; €/kg de estiércol, €/cabeza de ganado, etc. Por ello, es necesario comparar los costes según la cantidad de emisiones que pueden ser reducidas por €.

Los cálculos necesarios para realizar esta comparación serán explicados detalladamente en la siguiente sección. Se ha creído necesario presentar esta comparativa antes de la explicación de los cálculos porque es una sencilla manera de resumir esta sección. También aporta una primera idea del mix de soluciones óptimo que será presentado en el siguiente apartado.

En la Figura 32 se muestra la comparativa de las técnicas de mitigación para las emisiones GEI:

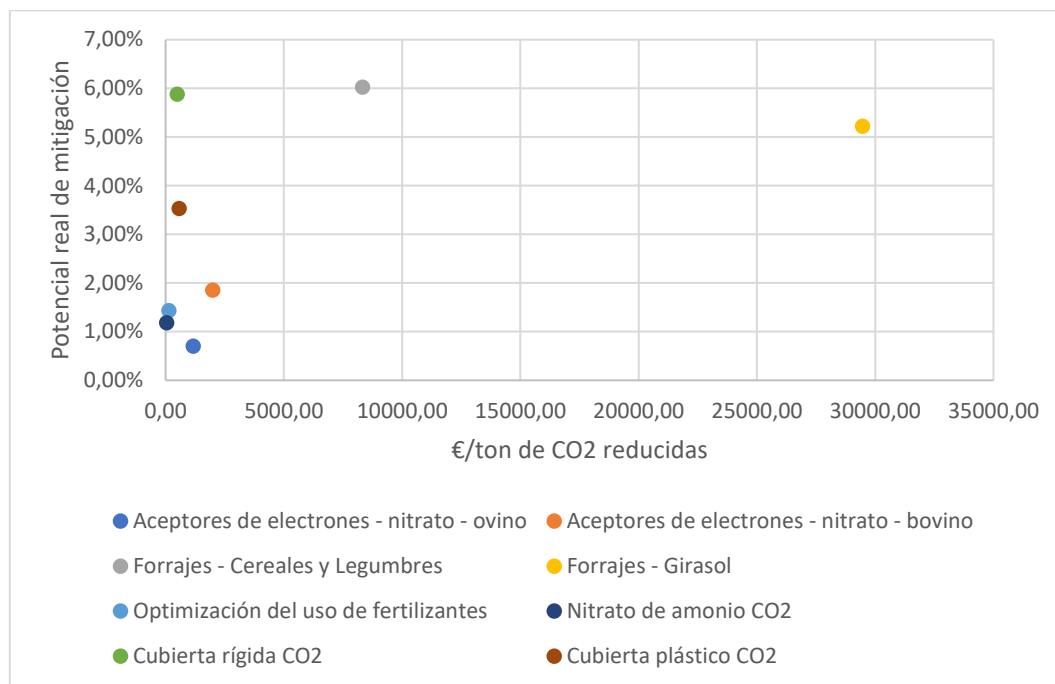


Figura 32: Comparación del potencial de las medidas de mitigación de CO<sub>2</sub> en función del coste

El riego intermitente no está incluido al no tener ningún coste asociado.

En la Figura 33 se muestra la misma gráfica excluyendo el nitrato de amonio y la optimización del uso de los fertilizantes para obtener un mayor detalle del resto de las medidas.

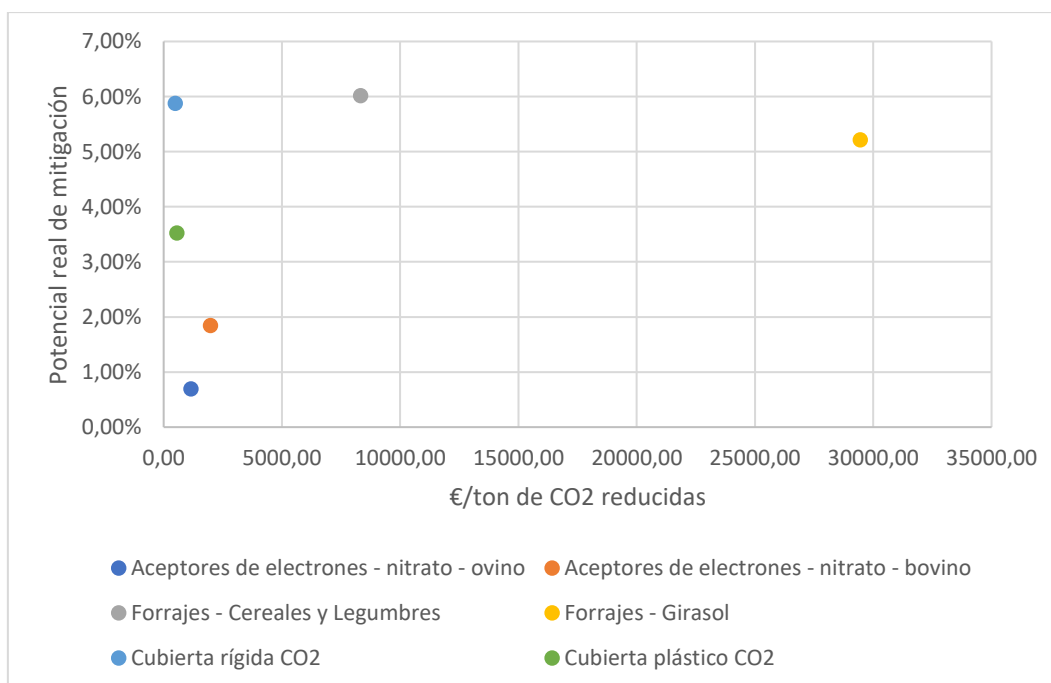


Figura 33: Detalle de la comparación de potencial de las medidas de mitigación de CO<sub>2</sub> en función del coste

Como ya se ha explicado, las medidas de reducción de emisiones contaminantes no se pueden incluir en la misma gráfica comparativa que las emisiones GEI al ser registradas en unidades de medida distintas. Por ello que en las siguientes figuras se muestra la misma comparativa para las medidas de reducción de emisiones contaminantes, que solo incluye el gas NH<sub>3</sub> (ver Figura 34 y Figura 35).

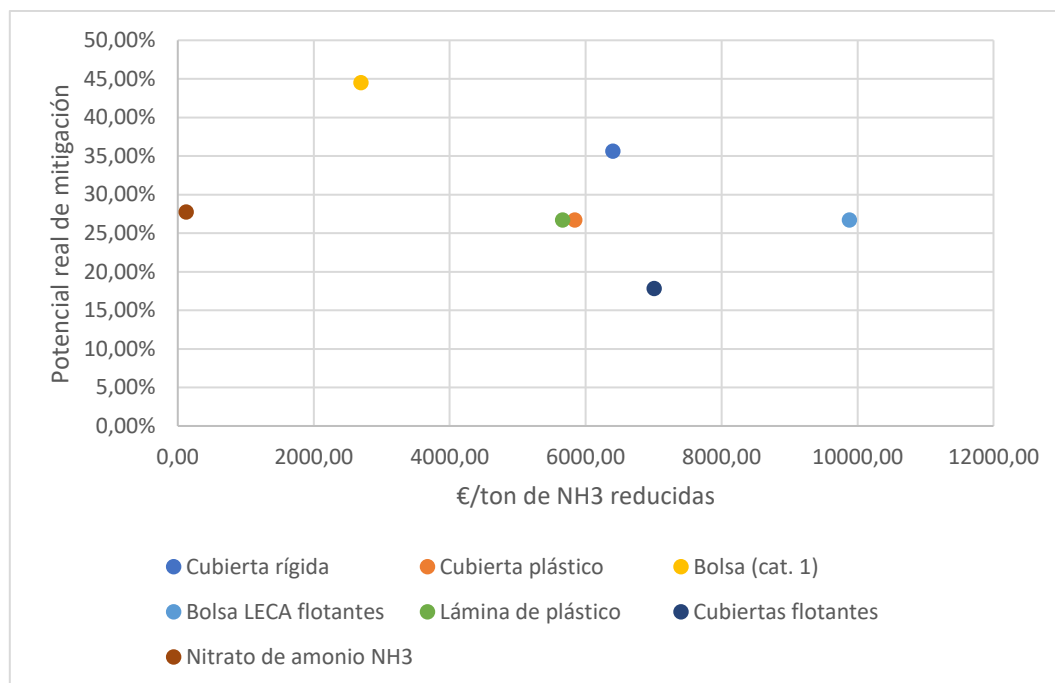


Figura 34: Comparación de potencial de las medidas de mitigación de NH<sub>3</sub> en función del coste

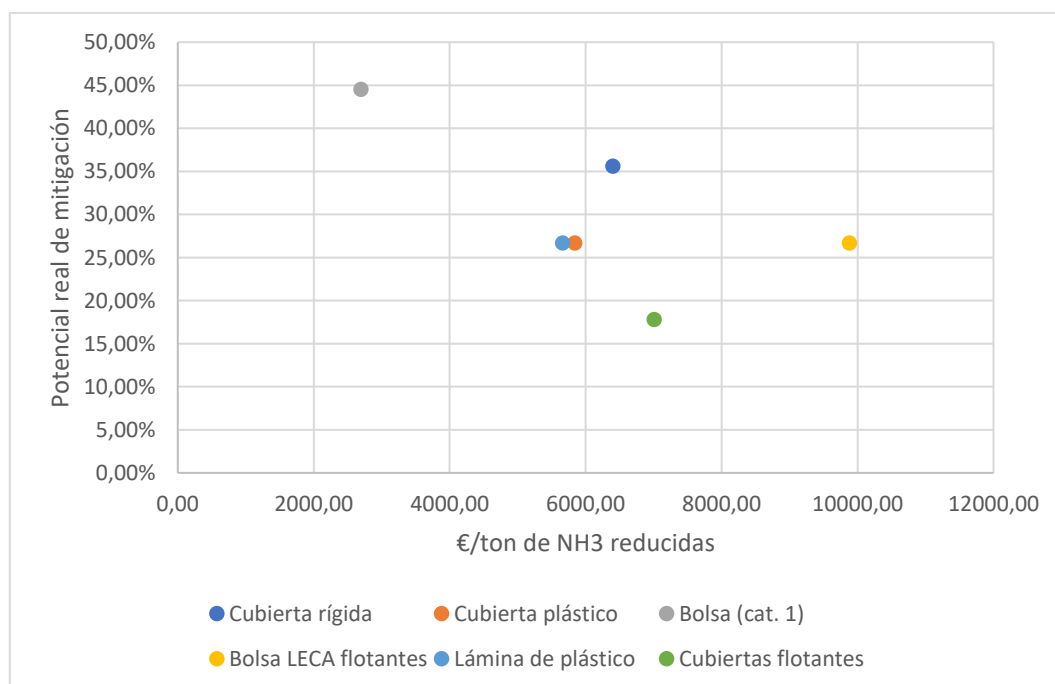


Figura 35: Detalle de la comparación de potencial de las medidas de mitigación de NH<sub>3</sub> en función del coste

El método de la costra no está en las gráficas ya que no tiene ningún coste asociado. El método de la costra consistente en dejar crecer una costra natural en la parte superior del estiércol. Solo es posible en el caso de purines de alto contenido en fibra y asegurando que no exista una agitación frecuente que pueda romper la costra. Tampoco es recomendable en ambientes fríos. Esta costra hace las veces de cubierta del estiércol.

La utilización de bolsas (cat. 1, es decir, una medida de la máxima categoría para la reducción de emisiones según [21], [22]) son claramente la mejor opción por coste y por potencial (excluyendo los nitratos de amonio, aunque al no ser incompatibles pueden coexistir). La función de estas bolsas es la de almacenar en su interior el estiércol, por lo que no es necesario construir una fosa. Sin embargo, solo pueden ser utilizadas en aquellos casos en los que el volumen de estiércol sea pequeño. Así, deberán entrar en juego otras técnicas de mitigación para la gestión del estiércol.

En esta sección se ha presentado la situación actual del sector agrícola y ganadero, así como las distintas medidas de reducción de emisiones GEI y contaminantes. En el siguiente apartado se utilizarán los datos recogidos para elegir las medidas de reducción más eficaces a la hora de cumplir con los objetivos de emisión del PNIEC. Para ello, se desarrollarán distintos escenarios según las técnicas elegidas y su grado de penetración.

## 4. Reducción de emisiones en el sector agrícola y ganadero español

En este apartado se generarán diferentes escenarios de emisiones GEI y contaminantes, utilizando las técnicas de mitigación presentadas en el apartado anterior. El objetivo será comparar dichas medidas de reducción de emisiones con los objetivos de emisión establecidos en el PNIEC.

Gracias a estos escenarios, se establecerá un mix óptimo de medidas de reducción de emisiones para el sector agrícola y ganadero español. Con este mix se desarrollará una gráfica de escalones en la que cada escalón representará la introducción de una de las medidas de reducción, con su coste asociado. Cada escalón supondrá la introducción de otra técnica de mitigación en el sector agrícola y ganadero español (los escalones serán ordenados según el coste asociado a cada técnica, de más económico a más costoso), pudiendo fácilmente determinar el coste asociado a la reducción de una cantidad determinada de emisiones GEI (en kt de CO<sub>2</sub> equivalentes).

### 4.1. Metodología para el desarrollo de los escenarios

Primeramente, debe calcularse el potencial real de reducción de emisiones y el coste asociado a su implantación de cada medida de reducción de emisiones propuesta. Este paso es el que se mencionó en la subsección Resumen de las técnicas de mitigación presentadas.

Para el cálculo del potencial real de reducción de emisiones es simplemente multiplicar su capacidad de reducción unitaria por el porcentaje de emisiones de cada actividad con respecto al total de emisiones (tanto emisiones GEI como contaminantes). En la Tabla 12 se muestra este cálculo:



Tipo	Solución	Potencial de reducción unitaria	Gas a reducir	Emisiones actuales del gas (kt)	Potencial real de reducción
Fermentación entérica	Aceptores de electrones - nitrato - ovino	25%	CH4	3.136	1%
Fermentación entérica	Aceptores de electrones - nitrato - bovino	10%	CH4	9.788	2%
Fermentación entérica	Forrajes - Cereales y Legumbres	15%	CH4	14.441	6%
Fermentación entérica	Forrajes - Girasol	13%	CH4	14.441	5%
Gestión de estiércoles	Cubierta rígida CH4	25%	CH4	8.462	6%
Gestión de estiércoles	Cubierta plástico CH4	15%	CH4	8.462	4%
Gestión de estiércoles	Cubierta rígida	80%	NH3	204	36%
Gestión de estiércoles	Cubierta plástico	60%	NH3	204	27%
Gestión de estiércoles	Costra	40%	NH3	204	18%
Gestión de estiércoles	Bolsa (cat. 1)	100%	NH3	204	45%
Gestión de estiércoles	Bolsa LECA flotantes	60%	NH3	204	27%
Gestión de estiércoles	Lámina de plástico	60%	NH3	204	27%
Gestión de estiércoles	Cubiertas flotantes	40%	NH3	204	18%
Suelos agrícolas	Optimización del uso de fertilizantes	5%	N2O	10.309	0%
Suelos agrícolas	Nitrato de amonio NH3	50%	NH3	254	1%
Cultivo de arroz	Riego intermitente	55%	CH4	442	28%
Aplicación de urea	Nitrato de amonio CO2	90%	CO2	472	1%

Tabla 12: Cálculo del potencial real de reducción de emisiones de cada actividad emisora

De igual manera, es necesario obtener el coste anual asociado a la reducción de un kg de emisión de gas GEI (en kg de CO<sub>2</sub> equivalente) y contaminante (en kg de NH<sub>3</sub>). Para ello, se debe dividir la cantidad de emisiones reducidas con cada actividad entre el coste que ellos supondría.

Para cada solución propuesta, se comentará cómo se ha calculado el coste de reducción. No obstante, el método es similar en todos los casos. A cada medida de reducción le corresponde un coste unitario, luego solo es necesario determinar a qué parámetro corresponde ese coste unitario.

- Fermentación entérica – uso de nitrato y mejora de la calidad de forraje: el coste unitario se basa en la cantidad de alimento ingerido por el animal (4kg diarios de alimento por el ganado ovino y 40kg por el ganado bovino). Una vez calculado la cantidad de alimento, con el coste del nitrato o de la mejora de la calidad de los forrajes, se obtiene el coste anual por cabeza de ganado. Multiplicando este dato por el número de cabezas de ganado se obtiene el coste total.
- Gestión de estiércoles – unidades de almacenamiento: el coste de las unidades de almacenamiento depende del volumen de estiércol a almacenar. Aproximadamente, el ganado bovino genera 70L de estiércol diarios, mientras que el ganado porcino genera 5,5L. Con estos datos y el número de cabezas de ganado, se obtiene el volumen de estiércol anual generado. Sin embargo, no es necesario crear fosas para todo el estiércol anual, ya que se suele almacenar el estiércol por 6 meses, no todo el año. De esta forma, se supondrán fosas que puedan almacenar el estiércol de 9 meses únicamente.
- Suelos agrícolas – optimización del uso de los fertilizantes: en este caso, el coste depende de las hectáreas monitorizadas con el sistema de optimización Smart Fertilizer, o algún otro sistema similar. Por lo tanto, ya que en España hay 23.229.753 hectáreas dedicadas a la explotación agrícola [15] y el coste por hectárea del sistema es conocido, calcular el coste total es sencillo.
- Suelos agrícolas – nitrato de amonio: el coste de los fertilizantes a base de nitrato de amonio es mayor que el de los fertilizantes a base de urea, tal y como se explicó en Elección de fertilizantes nitrogenados. Así, es necesario determinar la cantidad de fertilizante utilizado en España, ya que la proporción de los fertilizantes nitrogenados a base de urea con respecto a los fertilizantes a base de nitrato de amonio se presentó igualmente en Elección de fertilizantes nitrogenados. La cantidad de fertilizante nitrogenado utilizado en España es 1.075.000 toneladas según la Asociación Nacional Fabricantes Fertilizantes (ANFFE).
- Cultivo de arroz – riego intermitente: no tiene costes asociados.
- Aplicación de urea – nitrato de amonio: no tiene costes asociados debido a que el coste será incurrido en la actividad de suelos agrícolas. No debe computarse dos veces.

De esta forma, se obtiene el coste asociado a la implantación de las soluciones propuestas. Al dividirse el coste total entre la cantidad de emisiones potencialmente reducibles, se obtiene el coste de reducción de emisiones en €/tonelada de gas reducido. Cabe recordar que la cantidad de gases se mide en ton de CO<sub>2</sub> equivalentes para las emisiones GEI y en ton de NH<sub>3</sub> para las emisiones contaminantes. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 13 y la Tabla 14:

Tipo	Solución	Potencial real de reducción de CO2 equivalente	€/ton CO2
Fermentación entérica	Aceptores de electrones - nitrato - ovino	1%	1161
Fermentación entérica	Aceptores de electrones - nitrato - bovino	2%	1988
Fermentación entérica	Forrajes - Cereales y Legumbres	6%	8324
Fermentación entérica	Forrajes - Girasol	5%	29458
Gestión de estiércoles	Cubierta rígida CH4	6%	494
Gestión de estiércoles	Cubierta plástico CH4	4%	564
Suelos agrícolas	Optimización del uso de fertilizantes	1%	135
Cultivo de arroz	Riego intermitente	28%	-
Aplicación de urea	Nitrato de amonio CO2	1%	37

Tabla 13: Potencial real de reducción de emisiones GEI y su coste asociado para cada medida de reducción de emisiones GEI

Tipo	Solución	Potencial real de reducción de NH3	€/ton NH3
Gestión de estiércoles	Cubierta rígida	36%	6400
Gestión de estiércoles	Cubierta plástico	27%	5838
Gestión de estiércoles	Costra	18%	-
Gestión de estiércoles	Bolsa (cat. 1)	45%	2964
Gestión de estiércoles	Bolsa LECA flotantes	27%	9880
Gestión de estiércoles	Lámina de plástico	27%	5658
Gestión de estiércoles	Cubiertas flotantes	18%	7006
Suelos agrícolas	Nitrato de amonio NH3	1%	125

Tabla 14: Potencial real de reducción de emisiones contaminantes y su coste asociado para cada medida de reducción de emisiones contaminantes

Con estos resultados ya es posible generar las gráficas comparativas expuestas en Resumen de las técnicas de mitigación presentadas. También es posible generar los distintos escenarios de reducción de emisiones GEI y contaminantes. Con estos escenarios se comparará las nuevas emisiones con los objetivos de emisión establecidas en el PNIEC.

A la luz de los resultados obtenidos, para desarrollar los distintos escenarios algunas de las medidas de reducción de la Tabla 13 y Tabla 14 no serán utilizadas. Esas medidas son aquellas que pretenden reducir las emisiones de una misma actividad que otra medida de reducción con más potencial y más barata. Por ejemplo, la mejora de los forrajes con semillas de girasol o las cubiertas flotantes.

Por otro lado, existen medidas en las que la decisión no es tan evidente, ya que son medidas que, para una misma actividad, una de ellas es más económica mientras que la otra tiene mayor potencial de reducción de emisiones. Por ejemplo, el uso de nitratos en la dieta del ganado es más económico, aunque menos potente que mejorar la calidad del forraje con cereales y legumbres. Este tipo de medidas permitirán generar escenarios económicos y escenarios de mayor potencial.

#### ***4.2. Escenarios de reducción de emisiones GEI***

Se realizarán separadamente los estudios de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente y NH<sub>3</sub>, sin olvidar que el nitrato de amonio participa en ambos casos.

Para desarrollar los diferentes escenarios de reducción de emisiones GEI, se utilizarán los resultados obtenidos de potencia real de reducción de emisiones y el coste de reducción de una tonelada de CO<sub>2</sub> (Tabla 13) de las diferentes técnicas de mitigación presentadas. Se realizarán seis escenarios diferentes:

- Tres escenarios con medidas de reducción económicas con diferentes porcentajes de penetración de las medidas: 50%, 75% y 100%.
- Tres escenarios con medidas de reducción de mayor potencial con diferentes porcentajes de penetración de las medidas: 50%, 75% y 100%.

Según el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, el sector agrícola y ganadero deben emitir en 2020 34.629 kt de CO<sub>2</sub> equivalentes (32.202 y 29.975 kt de CO<sub>2</sub> equivalentes, para 2025 y 2030 respectivamente) [4]. Estos datos serán utilizados para comparar los distintos escenarios obtenidos con las diferentes medidas de mitigación presentadas en este informe.

A continuación, se mostrará las medidas seleccionadas para cada escenario, así como el grado de penetración considerado. No obstante, previamente se mostrará cómo se obtiene la cantidad de emisiones totales del sector agrícola y ganadero tras la implantación de las medidas elegidas. Gracias a los resultados de la Tabla 13, se ha homogeneizado el cálculo para todas las técnicas de mitigación. Por ello, únicamente se presentará la metodología de cálculo de una sola medida. Esa medida será el uso de nitrato en la dieta del ganado ovino:

1. Con el potencial real de reducción de emisiones (en este caso reducción de emisiones GEI) y el porcentaje de penetración (se supondrá un 100%), al ser multiplicados se obtiene el porcentaje de reducción del escenario. En este caso 1%.

2. El porcentaje de reducción del escenario se multiplica por las emisiones actuales del gas para esa medida (ver Tabla 12). De esta manera, se obtiene la cantidad de emisiones reducidas, en kt de CO<sub>2</sub> equivalentes.
3. Una vez se ha calculado las emisiones reducidas por esa actividad, el resultado es multiplicado por el coste de reducción de una tonelada de CO<sub>2</sub> (ver Tabla 13). De esta forma, se obtiene el coste total asociado a esa medida de reducción.

En la Tabla 15 y Tabla 16 se muestran los diferentes escenarios supuestos, aplicando los cálculos previamente explicados:

Tipo	Solución	ESCENARIO ECONÓMICO								
		Penetración 1	Reducción total 1	Coste total 1	Penetración 2	Reducción total 2	Coste total 2	Penetración 3	Reducción total 3	Coste total 3
Fermentación entérica	Aceptores de electrones - nitrato - ovino	50%	392 kt	455 M€	75%	588 kt	682 M€	100%	784 kt	910 M€
Fermentación entérica	Aceptores de electrones - nitrato - bovino	50%	489 kt	973 M€	75%	734 kt	1.459 M€	100%	979 kt	1.946 M€
Fermentación entérica	Forrajes - Cereales y Legumbres	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€
Fermentación entérica	Forrajes - Girasol	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Cubierta rígida CO2	50%	1.058 kt	523 M€	75%	1.587 kt	784 M€	100%	2.115 kt	1.046 M€
Gestión de estiércoles	Cubierta plástico CO2	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Cubierta rígida	50%	82 kt	0 M€	75%	123 kt	0 M€	100%	163 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Cubierta plástico	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Costra	10%	8 kt	0 M€	75%	61 kt	0 M€	50%	41 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Bolsa (cat. 1)	40%	82 kt	220 M€	10%	20 kt	55 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Bolsa LECA flotantes	0%	0 kt	0 M€		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Lámina de plástico	0%	0 kt	0 M€		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Cubiertas flotantes	0%	0 kt	0 M€		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Plantas de biogás		0 kt			0 kt			0 kt	
Suelos agrícolas	Optimización del uso de fertilizantes	50%	258 kt	35 M€	75%	387 kt	52 M€	100%	515 kt	70 M€
Suelos agrícolas	Nitrato de amonio NH3	50%	64 kt	8 M€	75%	95 kt	12 M€	100%	127 kt	16 M€
Cultivo de arroz	Riego intermitente	50%	122 kt		75%	182 kt		100%	243 kt	
Aplicación de urea	Nitrato de amonio CO2	50%	213 kt	8 M€	75%	319 kt	12 M€	100%	425 kt	16 M€

Tabla 15: Escenarios económicos para la reducción de emisiones GEI

Tipo	Solución	ESCENARIO MAYOR POTENCIAL								
		Penetración 1	Reducción total 1	Coste total 1	Penetración 2	Reducción total 2	Coste total 2	Penetración 3	Reducción total 3	Coste total 3
Fermentación entérica	Aceptores de electrones - nitrato - ovino	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€
Fermentación entérica	Aceptores de electrones - nitrato - bovino	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€
Fermentación entérica	Forrajes - Cereales y Legumbres	50%	1.083 kt	9.016 M€	75%	1.625 kt	13.523 M€	100%	2.166 kt	18.031 M€
Fermentación entérica	Forrajes - Girasol		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Cubierta rígida CO2	50%	1.058 kt	523 M€	75%	1.587 kt	784 M€	100%	2.115 kt	1.046 M€
Gestión de estiércoles	Cubierta plástico CO2	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Cubierta rígida	50%	82 kt	0 M€	75%	123 kt	0 M€	100%	163 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Cubierta plástico	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€	0%	0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Costra		0 kt	0 M€	75%	61 kt	0 M€	50%	41 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Bolsa (cat. 1)	50%	102 kt	275 M€	10%	20 kt	55 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Bolsa LECA flotantes		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Lámina de plástico		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Cubiertas flotantes		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€		0 kt	0 M€
Gestión de estiércoles	Plantas de biogás		0 kt			0 kt			0 kt	
Suelos agrícolas	Optimización del uso de fertilizantes	50%	258 kt	35 M€	75%	387 kt	52 M€	100%	515 kt	70 M€
Suelos agrícolas	Nitrato de amonio NH3	50%	64 kt	8 M€	75%	95 kt	12 M€	100%	127 kt	16 M€
Cultivo de arroz	Riego intermitente	50%	122 kt		75%	182 kt		100%	243 kt	
Aplicación de urea	Nitrato de amonio CO2	50%	213 kt	8 M€	75%	319 kt	12 M€	100%	425 kt	16 M€

Tabla 16: Escenarios de mayor potencial para la reducción de emisiones GEI

Con la implantación de las diferentes actividades más económicas para cada tipo de emisión agrícola (fermentación entérica, gestión de estiércoles, etc.) presentadas con anterioridad en la Tabla 15 y Tabla 16, se obtienen los resultados presentados en la Tabla 17 y la Tabla 18. Dichas tablas muestran las emisiones resultantes de cada actividad emisora del sector agrícola y ganadero, así como el total de las emisiones del sector. Se distinguen 3 casos: 50%, 75% y 100% de penetración; como se explicó con anterioridad, la penetración se refiere al grado de implantación de las medidas propuestas. Además, también se muestra el porcentaje de reducción obtenido con las medidas económicas (ver Tabla 17) y de mayor potencial (ver Tabla 18).

En la Tabla 17, las medidas más económicas son las siguientes:

- Aceptores de electrones: nitrato.
- Cubiertas rígidas.
- Costra (coste cero; no se utiliza en los escenarios de mayor potencial ya que las bolsas cat. 1 tienen más capacidad de reducción de emisiones).
- Bolsa (cat. 1).
- Optimización del uso de fertilizantes.
- Riego intermitente.
- Nitrato de amonio.

En la Tabla 18, las medidas con mayor potencial son:

- Mejora de los forrajes.
- Cubiertas rígidas.
- Bolsa (cat. 1).
- Optimización del uso de fertilizantes.
- Riego intermitente.
- Nitrato de amonio.

No existen mayores diferencias ya que la mayoría de medidas fueron desechadas en el primer filtro realizado en la sección 3. Estado del arte, dejando sin alternativas medidas de mitigación para distintas actividades emisoras como los suelos agrícolas, cultivo de arroz o aplicación de urea. Además, otras medidas de mitigación se repiten en ambos casos ya que, como se comprueba en la Tabla 13, hay técnicas de reducción de emisiones para una misma actividad emisora más barata y eficiente que sus “competidores”, careciendo de sentido prescindir de ellos en cualquiera de los escenarios; es el caso de las cubiertas rígidas.

Tipo	ESCENARIO ECONÓMICO (CO <sub>2</sub> equivalente)			
	Gas reducido	50% penetración	75% penetración	100% penetración
Fermentación entérica	CH <sub>4</sub>	13.560 kt	13.119 kt	12.678 kt
Gestión de estiércoles	CH <sub>4</sub>	9.608 kt	9.291 kt	8.974 kt
Cultivo de arroz	CH <sub>4</sub>	320 kt	260 kt	199 kt
Suelos agrícolas	N <sub>2</sub> O	10.051 kt	9.922 kt	9.794 kt
Quema de residuos	-	31 kt	31 kt	31 kt
Enmienda caliza	-	39 kt	39 kt	39 kt
Urea	CO <sub>2</sub>	259 kt	153 kt	47 kt
<b>Emisiones totales</b>		<b>33.869 kt</b>	<b>32.815 kt</b>	<b>31.761 kt</b>
% reducción emisiones		<b>5,86%</b>	<b>8,79%</b>	<b>11,72%</b>
<b>Coste total</b>		<b>2.056.412.997 €</b>	<b>3.024.089.757 €</b>	<b>3.848.696.226 €</b>

Tabla 17: Previsión de las emisiones agrícolas de CO<sub>2</sub> equivalentes y su costes asociado para distintas penetraciones de las soluciones más económicas propuestas

Los resultados que se muestran en la Tabla 18 corresponden a las medidas de mitigación con mayor potencial:

ESCENARIO CON MAYOR POTENCIAL (CO <sub>2</sub> equivalente)				
Tipo	Gas reducido	50% penetración	75% penetración	100% penetración
Fermentación entérica	CH <sub>4</sub>	13.358 kt	12.816 kt	12.275 kt
Gestión de estiércoles	CH <sub>4</sub>	9.185 kt	8.656 kt	8.128 kt
Cultivo de arroz	CH <sub>4</sub>	320 kt	260 kt	199 kt
Suelos agrícolas	N <sub>2</sub> O	10.051 kt	9.922 kt	9.794 kt
Quema de residuos	-	31 kt	31 kt	31 kt
Enmienda caliza	-	39 kt	39 kt	39 kt
Urea	CO <sub>2</sub>	259 kt	153 kt	47 kt
<b>Emisiones totales</b>		<b>33.244 kt</b>	<b>31.878 kt</b>	<b>30.512 kt</b>
% reducción emisiones		7,60%	11,39%	15,19%
<b>Coste total</b>		<b>9.864.132.837 €</b>	<b>14.603.604.633 €</b>	<b>19.288.049.394 €</b>

Tabla 18: Previsión de las emisiones agrícolas de CO<sub>2</sub> equivalentes y su costes asociado para distintas penetraciones de las soluciones con mayor potencial propuestas

Las soluciones propuestas para la mitigación de las emisiones GEI tienen unos costes asociados con una gran variación debido a su diferencia de potencial de reducción. A pesar de ello, esa diferencia de potencial de reducción no parece justificar su alto coste, ya que no se transmite en una reducción de emisiones tan superior. Por ello, se recomienda la utilización e implantación de las medidas más económicas: aceptores de electrones en forma de nitrato como aditivo de la dieta de los rumiantes (la única variación entre ambos escenarios ya que, como se explicó con anterioridad, el resto de técnicas no variaban en los diferentes escenarios).

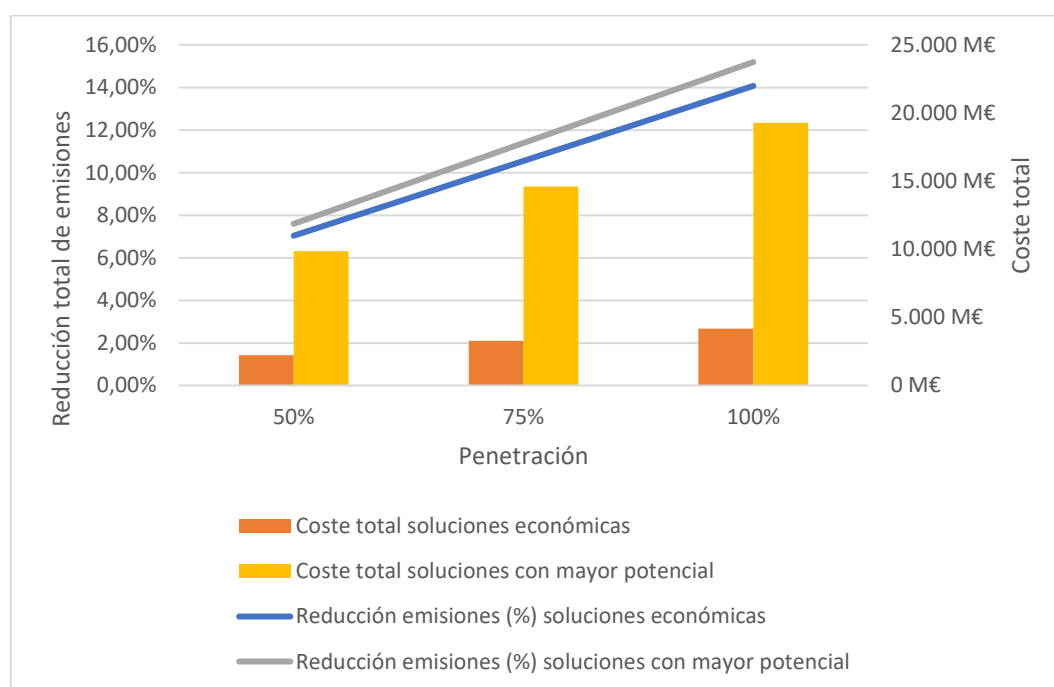


Figura 36: Comparativa de las soluciones económicas y las de mayor potencial para CO<sub>2</sub> equivalente

Una vez que se han obtenido las emisiones para los diferentes escenarios, se compararán con los objetivos del PNIEC para comprobar si las medidas de reducción son necesarias para cumplir con dichos objetivos. En ambas tablas (ver Tabla 19 y Tabla 20) se muestra primeramente las emisiones totales del sector agrícola y ganadero en los diferentes escenarios de penetración de las medidas económicas (Tabla 19) y las medidas de mayor potencial (Tabla 20). Estos valores coinciden con los mostrados en la Tabla 17 y la Tabla 18 respectivamente. A continuación, se muestran los objetivos de emisiones del PNIEC en 2020, 2025 y 2030, coincidiendo con los datos presentados con anterioridad en la Figura 8. Con ambos datos (las emisiones de los distintos escenarios y los objetivos de emisiones) se obtiene el déficit de reducción de emisiones en aquellos casos que las medidas propuestas, con el grado de penetración establecido, no son capaces de cumplir con los objetivos del PNIEC. Por último, se presenta ese déficit de emisiones como porcentaje de las emisiones totales del sector tras la implantación de las medidas propuestas.

Gracias a la Tabla 19 y Tabla 20 se puede determinar si es posible cumplir con los objetivos del PNIEC y si para ello es necesario implantar al 100% las medidas o si se puede realizar la implantación de las mismas gradualmente.

	ESCENARIO ECONÓMICO (CO <sub>2</sub> equivalente)		
	50% penetración	75% penetración	100% penetración
<b>Emisiones totales</b>	33.446 kt	32.180 kt	30.915 kt
% reducción emisiones	7,04%	10,55%	14,07%
PNIEC 2020	34.629 kt	34.629 kt	34.629 kt
PNIEC 2025	32.202 kt	32.202 kt	32.202 kt
PNIEC 2030	29.975 kt	29.975 kt	29.975 kt
<b>Reducción necesaria 2020</b>	-	-	-
<b>Reducción necesaria 2025</b>	1.244 kt	-	-
<b>Reducción necesaria 2030</b>	3.471 kt	2.205 kt	940 kt
Reducción necesaria 2020 (%)	0,00%	0,00%	0,00%
Reducción necesaria 2025 (%)	3,46%	0,00%	0,00%
Reducción necesaria 2030 (%)	9,65%	6,13%	2,61%

*Tabla 19: Necesidades extra de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente para el escenario con las soluciones económicas según el PNIEC*



<b>ESCENARIO CON MAYOR POTENCIAL (CO<sub>2</sub> equivalente)</b>			
	<b>50% penetración</b>	<b>75% penetración</b>	<b>100% penetración</b>
<b>Emisiones totales</b>	33.244 kt	31.878 kt	30.512 kt
% reducción emisiones	7,60%	11,39%	15,19%
PNIEC 2020	34.629 kt	34.629 kt	34.629 kt
PNIEC 2025	32.202 kt	32.202 kt	32.202 kt
PNIEC 2030	29.975 kt	29.975 kt	29.975 kt
<b>Reducción necesaria 2020</b>	-	-	-
<b>Reducción necesaria 2025</b>	2.431 kt	-	-
<b>Reducción necesaria 2030</b>	3.269 kt	1.903 kt	537 kt
Reducción necesaria 2020 (%)	0,00%	0,00%	0,00%
Reducción necesaria 2025 (%)	2,90%	0,00%	0,00%
Reducción necesaria 2030 (%)	9,09%	5,29%	1,49%

*Tabla 20: Necesidades extra de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente para el escenario con las soluciones de mayor potencial según el PNIEC*

El objetivo de reducción de emisiones para 2030 según en PNIEC no es por tanto alcanzable con las medidas propuestas, ya que, tanto en la Tabla 19 como en la Tabla 20 ni con el 100% de penetración de las medidas propuestas las emisiones totales (primera fila) es menor a los objetivos del PNIEC para 2030. Cabe resaltar que en los diferentes escenarios propuestos se ha mantenido la demanda de producto agrícolas y ganaderos, siendo las medidas de reducción de emisiones propuestas las únicas fuentes de mitigación de emisiones en este sector. No obstante, para un 100% de penetración (tanto para las medidas económicas como las de mayor potencial) los objetivos del PNIEC no quedan lejos, menos de un 3%. Además, hay que recordar que en este estudio se ha sido muy conservador a la hora de establecer el potencial de reducción de determinadas técnicas de mitigación. Es, por tanto, posible imaginar que, con las técnicas actuales, acompañado de una pequeña mejora de las mismas, sería posible alcanzar los objetivos establecidos en el PNIEC.

Sin embargo, las medidas prácticamente la totalidad de las medidas propuestas para la reducción de las emisiones del sector agrícola y ganadero superan un coste de 100€/ton CO<sub>2</sub>. Esto implica un altísimo coste en comparación con medidas de reducción de otros sectores (ver Tabla 13 y Figura 37). De esta forma, y ya que la lucha contra el cambio climático es una lucha transversal que afecta a todos los sectores, las medidas actuales para la reducción de emisiones del sector agrícola y ganadero no serán seleccionadas frente a otras medidas de otros sectores contaminantes.

Además, el alto coste de reducción implicaría a su vez un incremento del precio de los productos agrícolas y ganaderos. Por ejemplo, en el escenario económico con una penetración del 100%, los costes asociados suponen casi 3.900M€ anuales (ver Tabla 17), mientras que el mercado agrícola y ganadero supone alrededor del 2-3% del PIB español [15]; es decir alrededor de un 10% suponen los costes en comparación con el mercado agrícola y ganadero. Cabe recordar que la agricultura en Europa está fuertemente subvencionada por lo que un aumento tan alto de los costes podría suponer una grave crisis en el sector. Aún así, el coste podría llegar a ser asumible con mejoras de las técnicas

de mitigación. No obstante, el verdadero impedimento para su implantación es el alto coste medido en €/ton CO<sub>2</sub>.

Por último, se va a presentar una gráfica de escalones en la que se representará el coste asociado a diferentes “escalones” de reducción de emisiones GEI (ver Figura 37). Cada escalón corresponderá a una medida de reducción de emisiones GEI, siendo ordenadas de menos a más costosa. La Figura 37 es especialmente útil para determinar el coste asociado a reducir una cantidad determinada de emisiones de manera rápida. De esta forma, se podrá comparar las medidas propuestas con medidas de otros sectores contaminantes, pudiendo utilizar los recursos de la manera más eficiente en la lucha contra el cambio climático.

Para generar esta gráfica, se utilizarán todas las medidas propuestas en los escenarios económicos y de mayor potencial. Ya que los primeros escalones no son apreciables en la Figura 37 debido a la escala, en la Figura 38 se presenta en detalle estos primeros escalones.

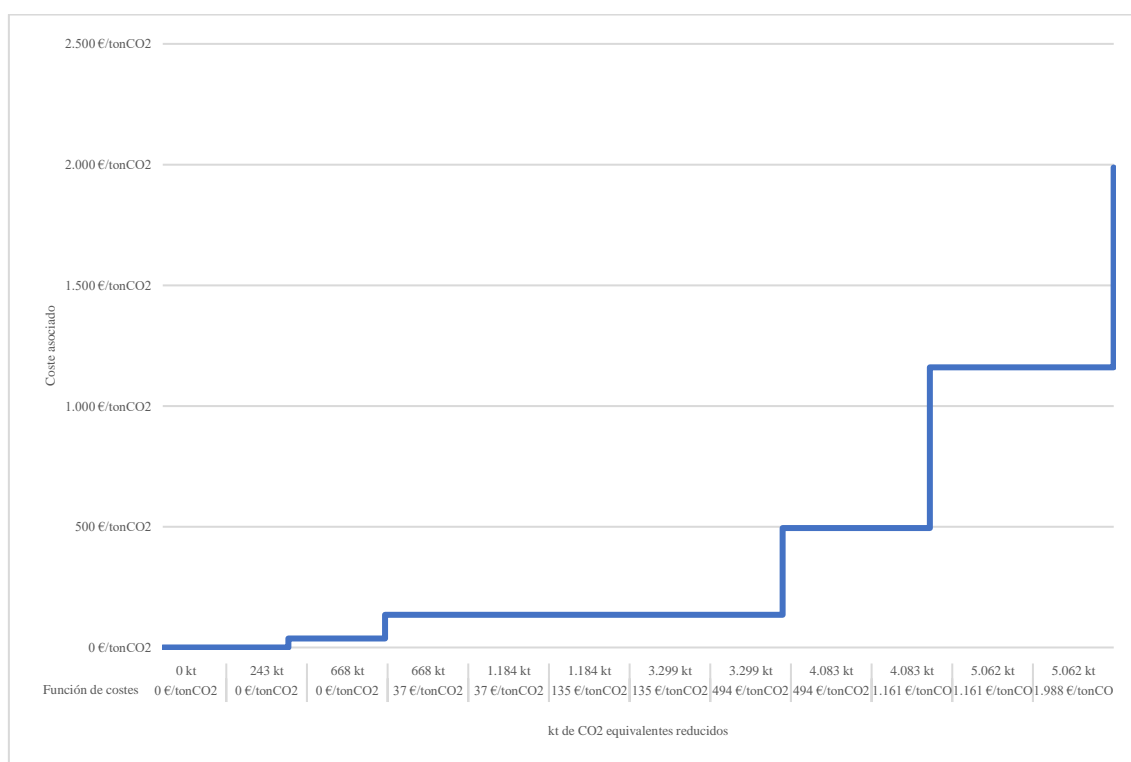


Figura 37: Función de costes de las medidas de reducción de emisiones GEI

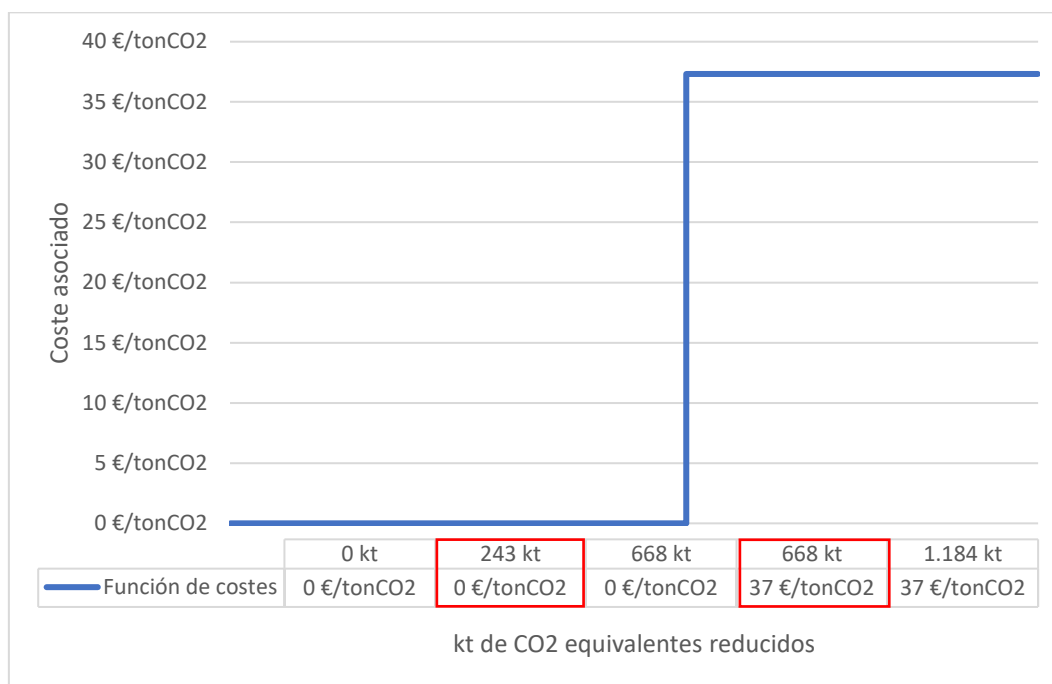


Figura 38: Detalle de la función de costes de las medidas de reducción de emisiones GEI

### 4.3. Escenarios de reducción de emisiones contaminantes

Contrariamente a las emisiones GEI, no existe una hoja de ruta del PNIEC. Ya que el PNIEC no incluye el objetivo de reducción de emisiones de metano, se supondrá un objetivo del 20% de emisiones de amoniaco.

Las medidas de reducción de NH<sub>3</sub> dependen de las decisiones tomadas para la reducción de CO<sub>2</sub> equivalente para suelos agrícolas y gestión de estiércoles. Para el cálculo de costes asociados a la reducción de emisiones de metano hay que evitar contabilizar de nuevo aquellas decisiones que, a pesar de ser tomadas para reducir las emisiones GEI, reduzcan las emisiones de amoniaco (las únicas emisiones contaminantes que se tienen en cuenta en este informe). Para el cálculo de los escenarios, se ha procedido de igual manera que en los escenarios de emisiones GEI, utilizando los datos de la Tabla 14. De esta manera, y para los diferentes casos supuestos, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 21 y Tabla 22:

Tipo	ESCENARIO ECONÓMICO (NH <sub>3</sub> )		
	50% penetración	75% penetración	100% penetración
Gestión de estiércoles	53 kt	0 kt	0 kt
Suelos agrícolas	191 kt	159 kt	127 kt
<b>Emisiones totales</b>	<b>223 kt</b>	<b>159 kt</b>	<b>127 kt</b>
% reducción emisiones	46,82%	65,33%	72,26%
<b>Coste total</b>	<b>220.108.140 €</b>	<b>55.027.035 €</b>	<b>0 €</b>

Tabla 21: Previsión de las emisiones agrícolas de NH<sub>3</sub> y su costes asociado para distintas penetraciones de las soluciones más económicas propuestas

Tipo	ESCENARIO CON MAYOR POTENCIAL (NH <sub>3</sub> )		
	50% penetración	75% penetración	100% penetración
Gestión de estiércoles	20 kt	0 kt	0 kt
Suelos agrícolas	191 kt	159 kt	127 kt
<b>Emisiones totales</b>	211 kt	159 kt	127 kt
% reducción emisiones	53,94%	65,33%	72,26%
<b>Coste total</b>	275.135.175 €	55.027.035 €	0 €

*Tabla 22: Previsión de las emisiones agrícolas de NH<sub>3</sub> y su costes asociado para distintas penetraciones de las soluciones con mayor potencial propuestas*

La reducción de amoníaco con las medidas propuestas llega a superar el 70%, siendo extremadamente satisfactorias.

Además, se comprueba que, a mayor penetración de las soluciones propuestas, menor es el coste asociado a su implantación. Esto es debido a que, a mayor penetración de fosas con cubiertas rígidas para almacenar los estiércoles, se hace innecesario la implantación de otras técnicas. El coste de las fosas con cubiertas rígidas se contabiliza en las medidas de reducción de emisiones GEI, por lo que la reducción de emisiones de NH<sub>3</sub> sale beneficiada de esta contabilidad.

De esta forma, y debido a los altos costes que supone reducir las emisiones de NH<sub>3</sub> en los escenarios de baja penetración, no se recomienda aplicar las medidas propuestas, sino esperar al desarrollo y la implantación de fosas con cubiertas rígidas.

## 5. Conclusiones

El sector agrícola aporta el 11% de las emisiones GEI en España, siendo uno de los sectores más contaminantes del país (y del mundo). Existen diferentes actividades dentro del sector que generan emisiones, aunque las más relevantes son la fermentación entérica, la gestión de estiércol y los suelos agrícolas.

En el presente documento se han presentado distintas medidas de mitigación para las actividades emisoras del sector, con el fin de estimar su potencial de reducción. El objetivo es comprobar si es posible, con las técnicas actuales, respetar los objetivos de emisiones para el sector agrícola hasta el año 2030 establecidos en el PNIEC.

Los objetivos de 2020 y 2025 son alcanzables con las técnicas actuales, gracias al gran potencial de las soluciones presentadas. En cambio, con las medidas propuestas será más complicado posible alcanzar los requisitos establecidos para 2030. Es importante recalcar que se considera que la demanda de los productos agrícolas y ganaderos se mantiene constante hasta 2030, lo cual no tiene porqué ser cierto. Es posible que la demanda de carne disminuya debido a los últimos informes de la ONU y la voluntad de algunos gobiernos europeos de aplicar impuesto más altos a la carne.

Debido a ello, es necesario que en los próximos años se preste más atención al desarrollo de nuevas técnicas de mitigación del sector agrícola y ganadero. Este sector es imprescindible para la subsistencia del ser humano y, sin embargo, no se están desarrollando suficientes medidas en el sector para luchar contra el cambio climático.

Aunque bien es cierto que los objetivos de emisión no están lejos de verse cumplidos, se considera que cambios en la dieta de los españoles serían altamente positivos de cara a continuar reduciendo las emisiones del sector. Al fin y al cabo, las emisiones del sector agrícola y ganadero dependen directamente de la demanda de sus productos. Luego, una adaptación de la dieta de los españoles podría mover la demanda (y por tanto la oferta) hacia productos cuya huella de emisiones sea menor.

Por ejemplo, sería interesante promover la carne de pollo, y otras aves, por delante de las carnes de cerdo, oveja y vaca. El ganado avícola no genera emisiones por fermentación entérica, y apenas producen emisiones por estiércol.

También podría promoverse una reducción de los productos lácteos, ya que el ganado bovino es claramente el más dañino para el medio ambiente.

Por último, también sería interesante promover aún más el consumo de legumbres. Como ya se ha mencionado, su cultivo permite regenerar los suelos agrícolas y reduciendo la necesidad del uso de fertilizantes.

El gran reto será conseguir reducir el coste de las diferentes técnicas de mitigación presentadas y desarrollar nuevas técnicas. Efectivamente como se ha mostrado con anterioridad, los costes de reducción en €/ton CO<sub>2</sub> son demasiado altos en comparación con otros sectores en los que valores a partir de 100€/ton CO<sub>2</sub> son considerados muy altos. También podría potenciarse aquellas medidas cuyo potencial de reducción es muy similar a las más punteras, pero que en cambio son mucho más económicas. De hecho, tal y como

se explicó anteriormente, la capacidad de reducción de emisiones de las medidas económicas es muy parecido a las de mayor potencial y deben priorizarse dichas medidas.

En el futuro, se espera que muchas de los métodos de mitigación de emisiones, que se encuentran en fase de estudio, puedan ser implementadas. Estas técnicas incluyen principalmente la modificación genética del ganado, permitiendo reducir casi por completo las emisiones por fermentación entérica y estiércoles.

Para concluir, se muestra la cantidad de emisiones “reducibles” gracias a las medidas propuestas junto con su coste de implantación. En la Figura 39 se resume las consecuencias de las medidas propuestas y, además, permite determinar fácil y rápidamente los costes que supondría implantar las medidas propuestas. Al fin y al cabo, la lucha contra el cambio climático es una lucha transversal y es posible que sea más eficiente centrar los recursos económicos en otros sectores.

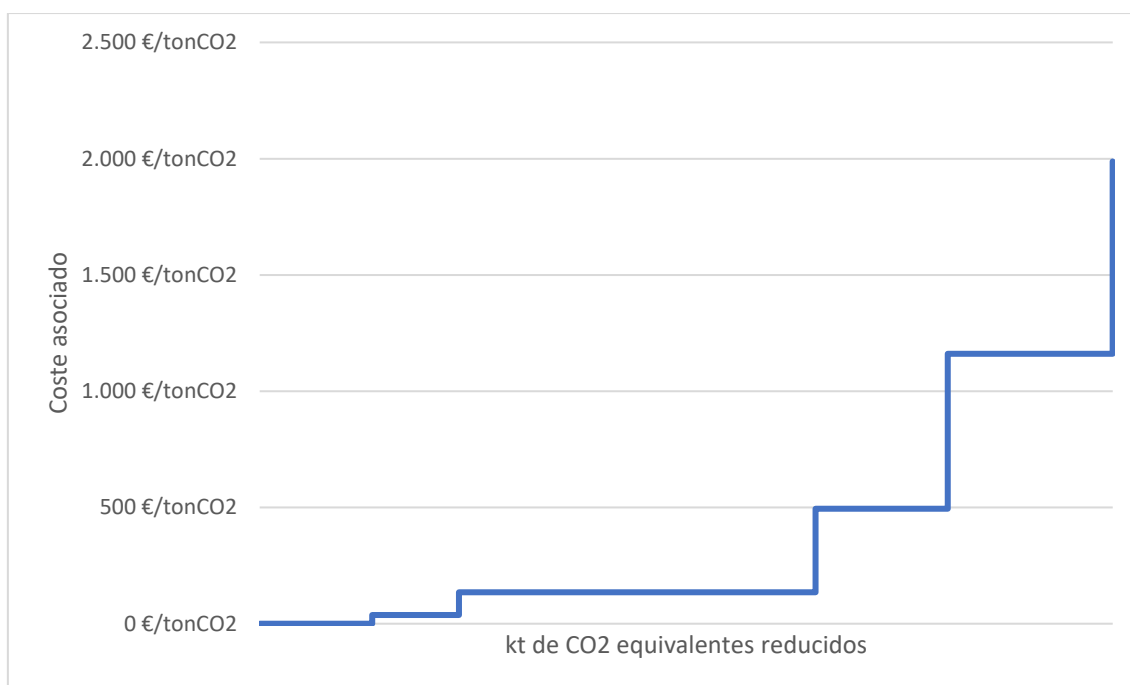


Figura 39: Función de costes de las medidas de reducción de emisiones GEI

## 6. Bibliografía

- [1] IPCC, *Climate Change 2014 Synthesis Report*. 2014.
- [2] C. Europea, “Comunicación 773,” 2018.
- [3] MAPAMA, “Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera,” *Minist. Agric. y Pesca, Aliment. y Medio Ambient. Inf. Resum.*, p. 6, 2018.
- [4] M. para la T. Ecológica, “Borrador del plan nacional integrado de energía y clima 2021-2030.”
- [5] INE, “España en cifras 2018,” 2018.
- [6] M. para la T. Ecológica, “Sector agrícola y ganadero.” [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/agricola.aspx>.
- [7] MAPAMA, “Inventario de emisiones de España. Emisiones contaminantes en el marco de la directiva de techos nacionales de emisión. Informe resumen,” 2017.
- [8] ganadería y pesca Ministerio de agricultura, “Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2015,” 2017.
- [9] IPCC, “Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol,” pp. 1–91, 2006.
- [10] D. Olijhoek and P. Lund, “Methane production by ruminants,” no. March, 2017.
- [11] N. Haque, “Dietary manipulation : a sustainable way to mitigate methane emissions from ruminants,” pp. 1–10, 2018.
- [12] M. Farooq, I. Æ. Y. Cheng, and W. Z. Æ. B. Zeshan, “Mitigation of ruminant methane production : Current strategies , constraints and future options Mitigation of ruminant methane production : current strategies , constraints and future options,” no. December, 2008.
- [13] S. M. Van Zijderveld, W. J. J. Gerrits, J. A. Apajalahti, J. R. Newbold, J. Dijkstra, and R. A. Leng, “Nitrate and sulfate : Effective alternative hydrogen sinks for mitigation of ruminal methane production in sheep,” *J. Dairy Sci.*, vol. 93, no. 12, pp. 5856–5866, 2010.
- [14] S. M. Van Zijderveld, W. J. J. Gerrits, J. Dijkstra, J. R. Newbold, R. B. A. Hulshof, and H. B. Perdok, “Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows,” *J. Dairy Sci.*, vol. 94, no. 8, pp. 4028–4038, 2011.
- [15] INE, “Anuario Estadístico de España 2018 - Agricultura, silvicultura, ganadería y pesca.”
- [16] D. A. Boadi and K. M. Wittenberg, “Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphur hexafluoride ( SF 6 ) tracer gas technique,” vol. d, 2002.
- [17] D. A. Boadi *et al.*, “Effect of low and high forage diet on enteric and manure pack greenhouse gas emissions from a feedlot,” 2004.

- [18] H. Archimède *et al.*, “Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes,” vol. 167, pp. 59–64, 2011.
- [19] C. Benchaar, C. Pomar, and J. Chiquette, “Evaluation of dietary strategies to reduce methane production in ruminants : A modelling approach,” 2001.
- [20] K. A. Beauchemin and S. M. McGinn, “Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets,” no. February 2016, 2005.
- [21] G. de Aragón, “INFORME CIENTÍFICO-TÉCNICO SOBRE EL ESTADO DEL ARTE EN SISTEMAS DE GESTIÓN DE ESTIÉRCOLES, TECNOLOGÍAS Y REDUCCIÓN DE EMISIONES.”
- [22] A. y M. A. Ministerio de Agricultura y Pesca, “Documento orientativo sobre la prevención y reducción de las emisiones de amoníaco de origen agropecuario,” pp. 1–96, 2014.
- [23] M. A. Hilhorst, R. W. Melse, H. C. Willers, C. M. Groenestein, and G. J. Monteny, “Reduction of Methane Emissions from Manure,” pp. 1–6, 1999.
- [24] P. Jun, M. Gibbs, and K. Gaffney, “CH<sub>4</sub> AND N<sub>2</sub>O EMISSIONS FROM LIVESTOCK MANURE,” pp. 321–338.
- [25] X. Flotats and J. Palatsi, “MANURE PROCESSING,” no. October 2014, 2012.
- [26] L. Martínez, “El coste de las plantas de biogás puede reducirse a 150.000 euros y ser rentable para las granjas.” [Online]. Available: <https://energylab.es/el-coste-de-las-plantas-de-biogas-puede-reducirse-a-150-000-euros-y-ser-rentable-para-las-granjas/>.
- [27] J. Pichel, “Por qué hay 18.000 plantas de biogás en Europa y apenas 50 en España.”
- [28] A. A. de la Energía, “Estudio básico del biogás,” 2011.
- [29] L. E. García, “Diseño de un digestor para una planta de biogás agroindustrial,” 2017.
- [30] C. Kost, S. Shammugam, V. Jülch, H. Nguyen, and T. Schlegl, “Levelized Cost of Electricity- Renewable Energy Technologies,” no. March, 2018.
- [31] J. Albiac, M. T. Kahil, E. Calvo, and E. Esteban, “Evaluación Socio-Económica del proyecto ‘LIFE-MANEV Gestión y Tecnologías de Tratamiento de Estiércol para la Protección Medioambiental y la Sostenibilidad de la Ganadería en Europa.’”
- [32] IPCC, “Directrices de la Guía IPCC 2006.” [Online]. Available: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/>.
- [33] N. R. y R. M. José M. Durán, “El papel del nitrógeno en la agricultura y la contaminación por nitrato.” [Online]. Available: <http://www.interempresas.net/Agricultura/Articulos/39819-El-papel-del-nitrogeno-en-la-agricultura-y-la-contaminacion-por-nitrato.html>.
- [34] F. Europe, “Industry facts and figures,” 2018.
- [35] ANFFE, “Mercado nacional de abonos presente y futuro del sector de los



- fertilizantes,” 2015.
- [36] M. Calabi-floody *et al.*, “Smart Fertilizers as a Strategy for Sustainable Agriculture Smart Fertilizers as a Strategy for Sustainable Agriculture,” no. January, 2018.
- [37] P. García-Serrano, “Ventajas de los fertilizantes a base de nitrato amónico frente a la urea.” [Online]. Available: <https://www.fertiberia.com/es/blog/2018/enero/ventajas-nitrato-amonico-frente-a-la-urea/>.
- [38] MAPAMA, “MERCADO DE FERTILIZANTES MES : MARZO,” 2017.
- [39] F. Europe, “La Agricultura y la Calidad del Aire.”
- [40] FAO, *Soils and pulses.* .
- [41] CFA Institute, “CFA Level I.”
- [42] E. Sanchis Jiménez, “Emisiones de gases en el cultivo del arroz: efecto de la gestión de la paja,” 2014.
- [43] C. Agro-alimentarias, “Datos de producción de arroz en España 2018-2019,” 2019.
- [44] IRTA, “Innovador estudio sobre emisiones de metano de los arrozales españoles,” pp. 1–3, 2017.
- [45] INIA, “Cuantificación de emisiones de metano y óxido nitroso bajo dos manejos del riego contrastantes en el cultivo del arroz,” 2015.
- [46] S. E. de I. de Emisiones, “Emisiones de CO2 debidas a la fertilización con urea,” pp. 1–7, 2006.
- [47] M. Fernández, “La urea, fertilizantes nitrogenado,” pp. 26–28, 1984.
- [48] M. de A. Chileno, “La urea: características, ventajas y desventajas de esta fuente nitrogenada.” .
- [49] Lostiempos.com, “Ventajas y riesgos de la urea.”
- [50] S. E. de I. de Emisiones, “Aplicación al suelo de enmiendas calizas en agricultura,” vol. 4, pp. 1–7, 2013.
- [51] A. Barrós Torres *et al.*, “Estiércoles. Caracterización, analítica e implicaciones sobre su aprovechamiento fertilizante,” 2018.

## 7. Anexo I: Normativas y reglamentaciones para la quema de residuos agrícolas

La siguiente recopilación ha sido preparada por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente [3]:

- Andalucía
  - Orden de 21 de mayo de 2009
  - Sección Segunda del Decreto 247/2001, de 13 de noviembre
  - Orden de 22 de junio de 2009
- Aragón
  - Orden de 14 de febrero de 2014
  - Orden de 4 de febrero de 2013
- Asturias
  - Resolución de 4 de junio de 2013
  - Resolución de 30 de enero de 2012
- Cantabria
  - Orden DES/44/2007, de 8 de agosto
- Castilla y León
  - Orden FYM/511/2013, de 26 de junio
  - Orden FYM/510/2013, de 25 de junio
  - Orden FYM/335/2013, de 9 de mayo
- Castilla-La Mancha
  - Orden de 16/05/2006
  - Orden de 26/09/2012
  - Corrección de errores de la Orden de 26/09/2012
- Cataluña
  - Decreto 64/1995, de 7 de marzo
- Comunidad Valenciana
  - Resolución de 10 de marzo de 2014
- Estatal
  - RD 4/2001, de 12 de enero
  - RD 1322/2002, de 13 de diciembre
  - RD 486/2009, de 3 de abril
- Extremadura
  - Orden de 14 de mayo de 2014
- Galicia
  - Ley 3/2007, de 9 de abril
- Islas Baleares
  - Artículo 7.1.d del Decreto 125/2007, de 5 de octubre
- Islas Canarias
  - Decreto 100/2002, de 26 de julio
- La rioja
  - Orden nº 7/2013, de 28 de mayo
- Madrid

- Decreto 58/2009, de 4 de junio
- Orden 3816/2003, de 22 de mayo
- Murcia
  - Orden de 24 de mayo de 2010
- Navarra
  - Orden Foral 248/2013, de 5 de julio
- País Vasco
  - Orden Foral 558/2012, de 3 de diciembre

## 8. Anexo II: Composiciones químicas de los forrajes de mayor calidad

- Methane production from dairy and beef heifers fed forages differing in nutrient density using the sulphurhexafluoride (SF6) tracer gas technique. D. A. Boadi and K. M. Wittenberg [16]:

**Table 1. Chemical composition (DM basis) of forage treatments fed to heifers**

Treatment Forage type	High Legume/grass	Medium Grass	Low Grass
Organic matter (%)	91.4	90.8	90.8
CP (%)	17.9	12.1	11.1
ADF (%)	31.8	38.7	43.2
NDF (%)	41.8	58.1	68.8
IVOMD (%)	61.5	50.7	38.5
GE (kJ g <sup>-1</sup> )	18.4	18.1	18.1

Tabla 23: Composición química de los forrajes utilizados en el estudio [16]

- Effect of low and high forage diet on enteric and manure pack greenhouse gas emissions from a feedlot. D. A. Boadi, K. M. Wittenberg, S. L. Scott, D. Burton, K. Buckley, J. A. Small, and K. H. Ominski.

**Table 1. Ingredient and chemical composition (DM basis) of diets fed to steers in the feedlot**

Ingredient	Low forage:grain diet	High forage:grain diet
Barley silage (%)	11.5	41.8
Barley grain (%)	83.5	41.7
Whole sunflower seed (%)	–	14.0
Soybean meal (%)	2.5	–
Mineral supplement (%) <sup>z</sup>	2.5	2.5

*Chemical composition (DM basis)*

DM (%)	73.9	55.6
CP (%)	13.2	12.0
ADF (%)	10.2	18.5
NDF (%)	19.6	29.1
EE (%)	2.2	8.3
Ash (%)	4.78	7.23
Ca (%)	0.49	0.69
P (%)	0.44	0.43
IVOMD (%)	80.6	70.7
GE (kJ g <sup>-1</sup> )	17.79	18.78

<sup>z</sup>Mineral supplement contains (as fed basis): crude protein, 15%; calcium, 24%; salt, 10%; sulfur, 1%; copper, 0.6 g kg<sup>-1</sup>; manganese, 1.2 g kg<sup>-1</sup>; zinc, 2.4 g kg<sup>-1</sup>; Monensin, 1.2 g kg<sup>-1</sup>; selenium, 6 mg kg<sup>-1</sup>; iodine, 30 mg kg<sup>-1</sup>; cobalt, 10 mg kg<sup>-1</sup>; vitamin A, 200 KIU kg<sup>-1</sup>; vitamin D, 12 KIU kg<sup>-1</sup>; vitamin E 3500 IU kg<sup>-1</sup>.

Tabla 24: Composición química de los forrajes utilizados en el estudio [17]

- Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. H. Archimède, M. Eugène, C. Marie Magdeleine, M. Boval, C. Martin, D.P. Morgavi, P. Lecomte, M. Doreau.

	Parameter	Grasses		Legumes	
		C3 type	C4 type	Cold	Warm
		n	58	28	14
NDF (g/kg DM)	Mean	557.3	646.4	447.2	568.2
	SD	84.81	97.89	114.67	98.94
	Minimum	361.0	415.0	252.0	441.0
	Maximum	754.0	753.0	684.0	690.0
CP (g/kg DM)	Mean	169.5	110.3	198.6	156.6
	SD	55.94	62.80	38.40	56.91
	Minimum	44.0	24.0	141.0	93.0
	Maximum	314.0	254.0	269.0	236.0
OM intake (g/kg LW)	Mean	19.8	17.7	17.8	18.6
	SD	5.48	6.98	6.00	4.57
	Minimum	10.6	7.4	9.3	7.3
	Maximum	33.9	31	28.8	25.2
OM intake (g/kg LW <sup>0.9</sup> )	Mean	34.4	27.4	31.4	25.6
	SD	8.27	11.81	9.30	6.44
	Minimum	15.7	10.7	13.8	10.7
	Maximum	48.9	56.9	51.1	36.3
OM apparent total tract digestibility	Mean	0.70	0.62	0.63	0.48
	SD	0.075	0.057	0.010	0.053
	Minimum	0.56	0.51	0.38	0.42
	Maximum	0.83	0.71	0.79	0.57

Tabla 25: Composición química de los forrajes utilizados en el estudio [18]