

Para obtener copias de este Documento de Trabajo contactar:

Jose Albiac
Unidad Economía Agraria
CITA-DGA
Avenida de Montañana 930
50.059 Zaragoza
España

Correo electrónico: maella@unizar.es
Teléfono: +34 976716351
Fax: +34 976716335

Executive Summary

Climate change is a major challenge for the sustainable agricultural production of crops and livestock. This challenge will be difficult to manage in a context of rising world food demand driven by the growth of global population and income. Climate change not only threatens agricultural production, but also the natural environment and the services provided by ecosystems. The livestock sector is a significant source of greenhouse gases, accounting for 15% of global emissions and 10% of emissions in Europe. The livestock sector is also an important source of nutrient pollution to water bodies and ammonia emissions to the atmosphere.

Livestock in the European Union is an important economic sector generating 160.000 million Euros in revenues. The spatial distribution of the livestock herds indicates the regions where the efforts of improving the management of manure should concentrate. The areas with high density of livestock herds are Belgium-Netherlands-Northern Germany-Denmark; Northwestern France; Northeastern Spain; Northern Italy; Ireland-Western UK; and Central Poland.

Livestock production is linked to the environment and the use of natural resources, such as land and water resources, and livestock consumes a large share of agricultural crops. Also, livestock activities in Europe generate 1.400 million t of manure. This manure is responsible for the pollution of soils, water bodies and the atmosphere with very large environmental damages. The GHGs emissions in Europe from livestock and crop production are important amounting to 460 million $tCO_2eq/year$, and the main emissions are generated by France, Germany, UK and Spain. The costs of these emissions are estimated at 18.400 million Euros. The costs of the direct GHGs emissions from livestock production are 5.900 million Euros from enteric fermentation, and 2.900 million from manure management. However, livestock is responsible for most of the GHGs emissions from crop production, which is mostly used as animal feed.

An important question for the management of manure is that it contains 7 million tN which can be used as organic fertilizer to substitute a considerable part of the 11 million tN contained in mineral fertilizers applied to crops in Europe. If all this manure

is used for crop fertilization, the use of mineral fertilizer could possibly decrease by half curbing the entry of nitrogen in soils. The consequence would be a considerable reduction of emissions of nitrous oxide to the atmosphere, and also the reduction of nitrogen loads to water bodies. At present, the total nitrogen loads to European rivers are 4 million tN, and the environmental damages from this pollution is above 5.200 million Euros. Also, using less mineral fertilizer would reduce the GHG emissions from the production processes of the mineral fertilizer industry.

The purpose of the MANEV project is to assess the implementation of different manure management systems for the abatement of GHGs pollution to the atmosphere, the nitrogen pollution to water bodies, and the ammonia emissions to the atmosphere in a sustainable manner. The potential of benefits from the MANEV project depends on the uptake of these technologies by the different regions and countries in the EU. The ultimate goal would be to eliminate the GHGs emissions from manure, with a potential benefit of 2.900 million Euros. Furthermore, the substitution of mineral fertilizer by manure could achieve similar or larger benefits, because the 11 million tN of mineral fertilizers generate GHGs emissions worth 9.600 million Euros in damages. The benefit potential of eliminating the nitrogen pollution in rivers is 5.200 million Euros, and part of this benefit can be achieved by reducing the nitrogen loads from manure that end up in rivers. Finally, the benefits of eliminating the ammonia emissions to the atmosphere could be estimated at 4.200 million Euros, which are the value of damages to ecosystems.

The MANEV project has developed a tool for selecting the combination of manure management technologies by the stakeholders of the livestock sector (farmers, technicians, industries, administration,...). These technologies are based in biological processes such as anaerobic digestion, nitrification/denitrification and composting which have a higher investment and operating costs, and physical-chemical processes such as solid-liquid separation with lower costs depending on the scale of operation. In some cases, individual farmers can recover the investment and operating costs of the pollution abatement technologies. But in other cases, they can hardly recover these costs.

Since the emissions are nonpoint pollution (different from the Emission Trading System which deals with point pollution), the abatement of emissions is not a private

good that could be traded in markets. The only private goods that can be traded by farmers investing in manure management technologies are the energy generated and the fertilizer products.

Depending on the specific management technologies chosen and location, individual farmers would be able to cover costs, given the large scope of available technologies and costs. A good alternative for individual farmers would be to select the management technology which makes the abatement of emissions profitable. This alternative can be encouraged through the energy subsidies available in some countries for energy produced from manure.

Another alternative would be to get the collaboration of stakeholders in order to achieve the collective action of pollution abatement. This requires the cooperation among all stakeholders in the sector: individual farmers, professional associations, transformation and distribution industries, environment organizations, and local, regional and national authorities responsible for agricultural, environmental and water policies. The challenge is not easy and requires the organization of the use of manure as organic fertilizer in order to substitute mineral fertilization.

The MANEV project is key for attaining this collaboration, because it provides a complete information on manure management technologies to users and stakeholders. **The solutions should be tailored to local conditions and must ensure the financial viability by covering the costs of the selected combination of technologies.**

A detailed analysis has been made on the benefits that can provide the MANEV project in the case of the Aragon region in Spain. This analysis examines how to improve manure management for abating GHGs emissions, nitrogen pollution in water bodies, and ammonia emissions to the atmosphere. The larger GHGs emission loads take place in counties concentrating intensive crop irrigated production and large swine and cattle herds.

The benefits of the MANEV project are given by the abatement achieved in four components of the pollution costs: i) GHGs abatement in manure management, with emissions costs around 81 million Euros (of which 72 methane and 9 nitrous oxide); ii) the GHGs abatement from substitution of mineral fertilizer by manure, with the GHGs emissions costs of current mineral fertilizers amounting to 40 million Euros; iii)

abatement of nitrogen loads in water bodies, with current damage costs estimated at 30 million Euros; and iv) the abatement of ammonia loads in the atmosphere, which damages worth 54 million Euros.

The solution for manure management is to achieve the collaboration of stakeholders to use manure as fertilizer which could cover 80% of crop requirements in Aragon. To analyze this solution, three counties have been chosen with high livestock density. Results show that after substituting mineral fertilizers with manure, there is a large quantity of manure remaining which cannot be used as fertilizer. Therefore the only alternative under large remnants of manure is to use biological treatment techniques to eliminate nutrients, and composting techniques followed by exportation of the compost. The MANEV project allows the evaluation of the combination of biological technologies and composting, and their profitability. These technologies have high investment and operating costs, which leads to taking advantage of the economies of scale. This calls for the association of farmers with the support of the rest of stakeholders to ensure the establishment of facilities, and the equitable share of costs and benefits.

The MANEV project provides the analysis and evaluation of the combination of technologies depending on the objectives sought in each area or region. These objectives could prioritize different alternatives such as abating the GHGs emissions of methane and nitrous oxide, abating nitrogen loads in water bodies, or abating ammonia emissions to the atmosphere.

The MANEV project has important benefits for society, since it makes contributions to enhancing the sustainability of the agricultural sector, the mitigation of climate change, the protection of the environment and good conditions for ecosystems, the quality of drinking water and inhaled air, the employment in the livestock sector, and rural development.

Índice

0. Executive Summary.....	1
1. Introducción.....	7
2. Importancia del sector ganadero en la Unión Europea.....	8
3. Producción ganadera, recursos naturales y medio ambiente.....	10
4. Estimación de los costes de las emisiones contaminantes de la producción ganadera.....	11
5. Beneficios económicos del Proyecto MANEV.....	14
6. Relevancia del Proyecto MANEV para las políticas medioambientales europeas.....	17
7. Repercusión y beneficios económicos y medioambientales del Proyecto MANEV: el caso de la Comunidad Autónoma de Aragón.....	19
7.1 La utilización de estiércoles como abonado orgánico.....	29
7.2 Las emisiones de GEI y amoníaco de la gestión de estiércoles.....	33
8. Beneficios sociales del Proyecto MANEV.....	34
9. Replicabilidad, demostración, transferibilidad y cooperación del Proyecto MANEV.....	36
10. Resumen y conclusiones.....	37
Referencias bibliográficas.....	44

Evaluación Socio-Económica del Proyecto MANEV

1. Introducción

El cambio climático constituye un gran desafío para la sostenibilidad de la agricultura y la ganadería en las próximas décadas. Este desafío se presenta en un periodo especialmente crítico, porque la demanda global de alimentos casi se duplicará en 2050 (aumentos del 60-70%) como consecuencia del crecimiento de la población y la renta mundiales (Alexandratos y Bruinsma 2012).

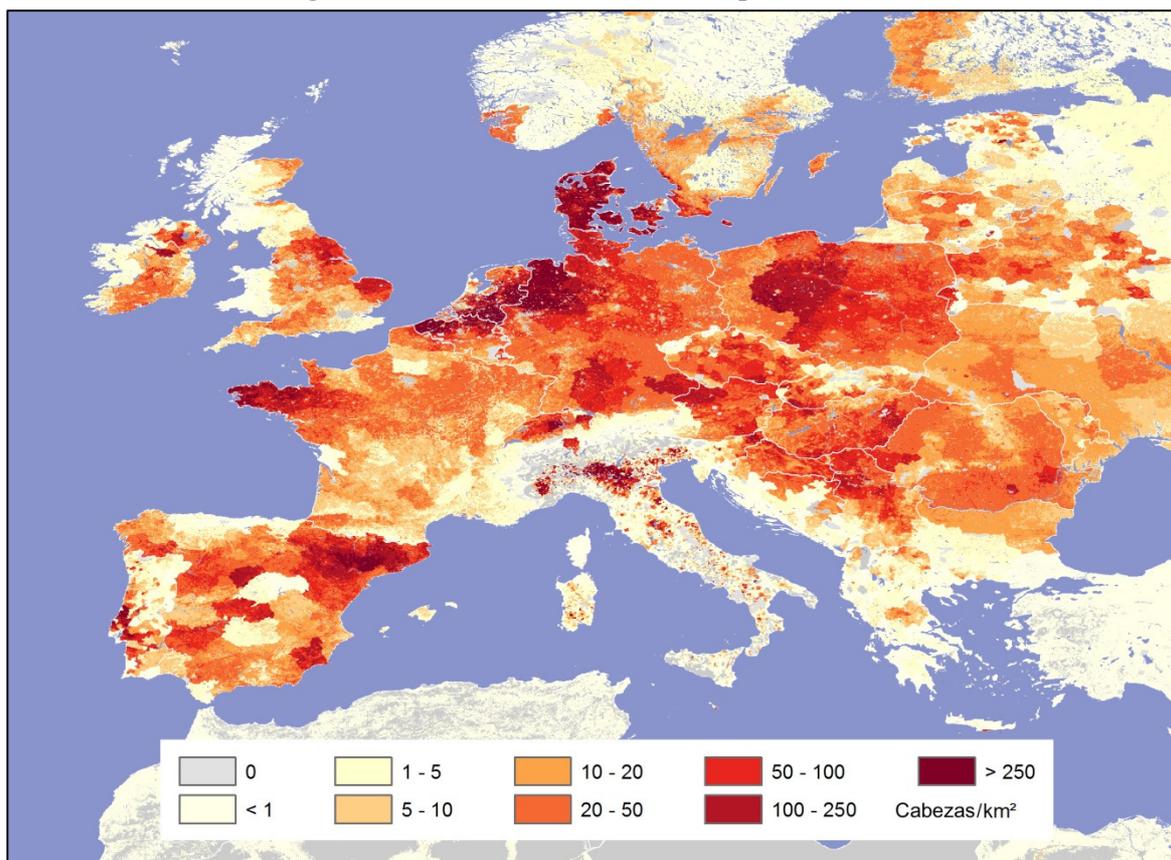
La amenaza del cambio climático sobre los sectores agrícola, ganadero y forestal en Europa es importante por sus efectos sobre el aumento de temperaturas, el cambio de régimen de precipitaciones, la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos, y los daños de las enfermedades y plagas en las especies ganaderas, agrícolas, y forestales. Las pérdidas del cambio climático no sólo afectan a la producción ganadera y agrícola, sino también al medio natural y a los ecosistemas.

La ganadería es uno de principales sectores que contribuyen a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en forma de metano y de óxido nitroso, alcanzando el 15% de las emisiones a nivel mundial (FAO 2013) y el 10% de las emisiones en la Unión Europea (Lesschen et al. 2010). Por otra parte la ganadería también genera emisiones de nutrientes que contaminan las masas de agua, y de amoníaco a la atmósfera que provoca acidificación.

El proyecto MANEV analiza y evalúa las distintas tecnologías disponibles para la gestión de estiércoles para alcanzar cuatro objetivos: i) recuperación de nutrientes, ii) eliminación de nutrientes, iii) valorización agronómica y energética mediante compostaje y biogás, y iv) mejora del manejo mediante la separación sólido-líquido. Estas tecnologías de gestión de estiércoles contribuyen a la reducción de emisiones de GEI, de la contaminación por nutrientes de las masas de agua, y de la acidificación. Además de reducir las emisiones contaminantes, estas tecnologías pueden generar bienes comercializables como abonado orgánico o energía.

La adopción de estas tecnologías supone por tanto una contribución importante a la sostenibilidad del sector ganadero y agrícola, ya que su implantación mitiga el cambio

Figura 1. Densidad de la cabaña de porcino en la UE.



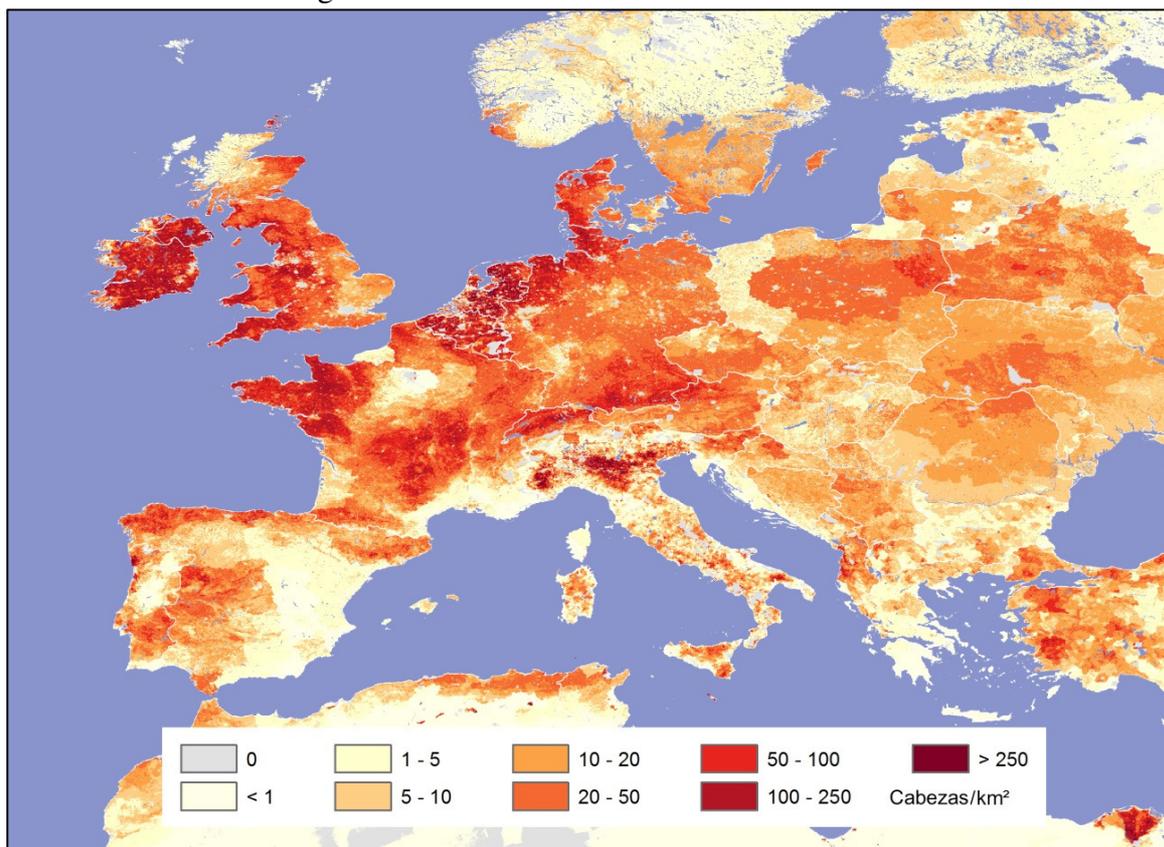
Fuente: Robinson et al. (2014).

climático, mejora la calidad de los recursos hídricos, y aumenta la eficiencia del uso de los recursos naturales contribuyendo al logro de una economía circular. En este contexto, la integración entre la gestión de estiércoles de la ganadería y la producción de los cultivos agrícolas es una cuestión importante, ya que la gestión de estiércoles puede sustituir una gran parte del abonado mineral, generando importantes beneficios medioambientales, económicos y sociales.

2. Importancia del sector ganadero en la Unión Europea

El valor anual de la producción ganadera en la UE alcanza los 165.000 millones de Euros, lo que representa el 41% del sector agrícola y ganadero, con un censo de 150 millones de cabezas de porcino, 100 millones de cabezas de bovino, y 80 millones de cabezas de ovino. Las producciones anuales alcanzan los 150 millones t de leche con un valor de 50.000 millones de Euros, 22 millones t de carne de porcino con un valor de 40.000 millones de Euros, 7 millones t de carne de vacuno con un valor de 30.000 millones de Euros, 13 millones t de carne de ave con un valor de 20.000 millones, y 1

Figura 2. Densidad de la cabaña de bovino en la UE.



Fuente: Robinson et al. (2014).

millón t de carne de ovino con un valor de 6.000 millones de Euros (Eurostat 2013). A nivel regional los principales países productores son: en producción láctea Alemania, Francia, Reino Unido, Polonia y Holanda; en carne de vacuno Francia, Alemania, Italia y Reino Unido; en carne de porcino Alemania, España, Francia, Polonia, Italia y Dinamarca; y en carne de ave Francia, Reino Unido y Polonia.

La distribución espacial de las producciones es importante porque indica las regiones en las que se deber realizar un mayor esfuerzo de gestión de estiércoles. Las zonas con mayor densidad de ganado porcino están localizadas en Holanda-Norte de Alemania-Dinamarca, Noreste de España, Noroeste de Francia, y Polonia Central (Figura 1). En ganado vacuno, las zonas de mayor densidad se localizan en Bélgica-Holanda-Norte de Alemania, Noroeste de Francia, Irlanda-Oeste de Reino Unido, y Norte de Italia (Figura 2). Estas zonas de elevada densidad de ganado porcino y vacuno generan problemas medioambientales serios por las emisiones de gases de efecto invernadero y amoníaco a la atmósfera, y las emisiones de nutrientes a las masas de agua por percolación y escorrentía.

3. Producción ganadera, recursos naturales y medio ambiente

Las producciones ganaderas están asociadas con el uso de los recursos naturales y con el medio ambiente. La ganadería utiliza en la alimentación del ganado un gran volumen de producciones agrícolas que se transforman para la elaboración de piensos compuestos, así como cultivos forrajeros y pastos, lo que supone un consumo elevado de los recursos tierra y agua. Por otra parte la ganadería europea genera un enorme volumen de estiércoles cercano a los 1.400 millones de t-año (Foged et al. 2011) que provocan daños considerables en el medio ambiente, ya que contaminan los suelos, las masas de agua, y la atmósfera. Los principales contaminantes GEI de la ganadería son las emisiones de metano y óxido nitroso de los estiércoles, y las emisiones de metano de la fermentación entérica del vacuno y el ovino. Otra contaminación importante de los estiércoles es la que generan las emisiones de amoníaco a la atmósfera que causan la acidificación.¹

Además, la ganadería también contribuye a las emisiones de óxido nitroso que generan los cultivos que se utilizan en la alimentación animal, como consecuencia de los procesos de nitrificación y desnitrificación en los suelos de estos cultivos.

Las emisiones de la fermentación entérica son emisiones directas de metano a la atmósfera, mientras que las emisiones de metano y óxido nitroso de los estiércoles alcanzan la atmósfera en los procesos de almacenamiento y disposición del estiércol. El estiércol puede aplicarse directamente como abonado a los suelos, o someterse a distintos tratamientos. La carga de estas emisiones a la atmósfera depende de la gestión del estiércol y de las técnicas de recuperación de nutrientes, eliminación de nutrientes, compostaje y biogás, y manejo del estiércol con procedimientos como la separación sólido-líquido.

Los estiércoles también contaminan los cursos de agua degradando la calidad de agua con nutrientes que contienen nitrógeno y fósforo, provocando eutrofización que daña los ecosistemas acuáticos y generando problemas de calidad para el abastecimiento urbano. El lixiviado de nitrógeno de los estiércoles no solo contamina los cursos de agua, sino que una vez en los cursos de agua también genera emisiones indirectas de óxido nitroso a la atmósfera.

¹ Las emisiones de amoníaco de los estiércoles en la UE alcanzan 1,4 millones t N-NH₃-año (Leip 2011).

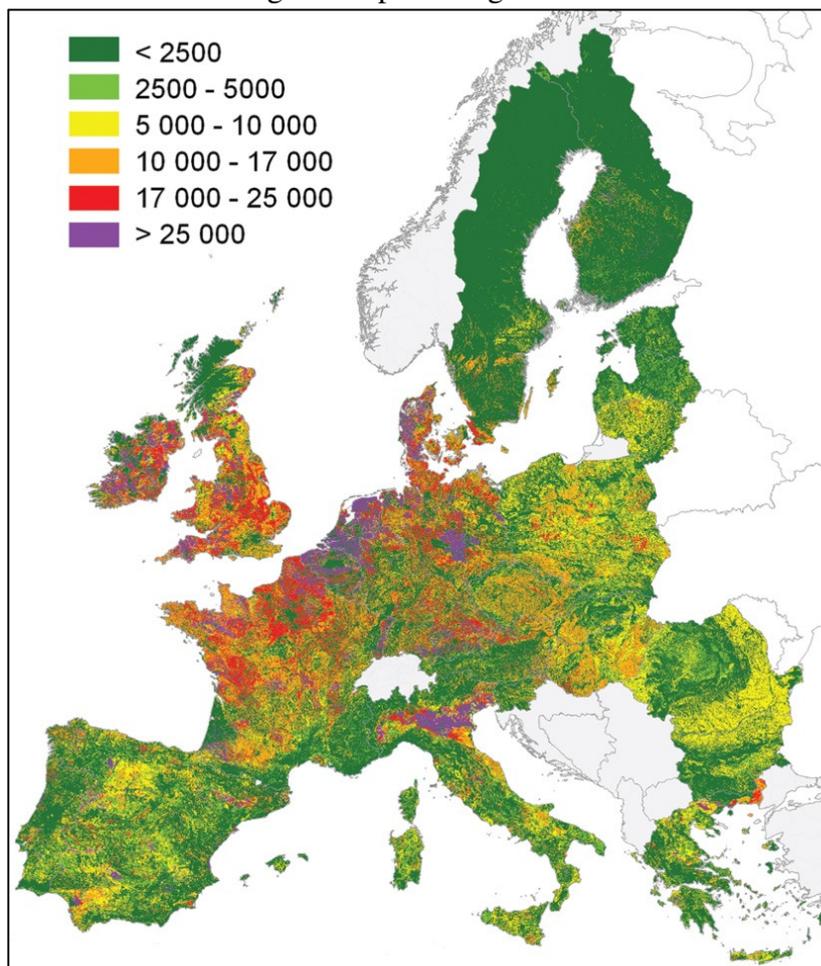
Las emisiones GEI de la agricultura y la ganadería en la Unión Europea alcanzan los 460 millones $tCO_2eq/año$ lo que representa un 10% del total de emisiones, y se dividen entre 190 millones tCO_2eq de metano y 270 millones tCO_2eq de óxido nitroso (Eurostat 2013). Las emisiones de la producción de cultivos alcanzan los 240 millones tCO_2eq y las emisiones de la ganadería 220 millones tCO_2eq (147 fermentación entérica, y 73 gestión de estiércol). Los países con mayores emisiones de la agricultura y la ganadería son Francia ($90 \cdot 10^6 tCO_2eq$), Alemania ($70 \cdot 10^6$), Reino Unido ($46 \cdot 10^6$) y España ($37 \cdot 10^6$).

4. Estimación de los costes de las emisiones contaminantes de la producción ganadera

Para estimar los costes medioambientales que tienen las emisiones de gases de efecto invernadero se pueden utilizar distintos procedimientos, como son el coste social del carbono, el coste marginal de la reducción de emisiones de carbono, y el valor del carbono del mercado de emisiones ETS (Sistema de Comercio de Emisiones) de la Unión Europea. En esta evaluación socio-económica se utiliza el coste social del carbono para valorar los daños de las emisiones GEI para la sociedad, que la OCDE estima en 40 €/tCO₂ (Smith y Braathen 2015). El coste social del carbono es el coste del daño de las emisiones GEI para la sociedad, es decir los daños que provocan las emisiones al conjunto de los sectores económicos y al medio ambiente. Este coste social se puede calcular a partir de los modelos globales que estudian el cambio climático, como los de Nordhaus (2008) y de Stern (2007), entre otros. El coste social del carbono lo toma la OCDE de los valores de daño que están utilizando los países para las políticas de cambio climático.

Con este coste social del carbono, los daños medioambientales de las emisiones de GEI de la agricultura y la ganadería en la Unión Europea alcanzan los 18.400 millones €. Como los beneficios económicos de la producción agrícola y ganadera alcanzan los 150.000 millones €, al restar los daños medioambientales de las emisiones GEI, los beneficios netos económicos y medioambientales de la producción agrícola y ganadera se reducen a 131.600 millones de €. Los daños medioambientales de las emisiones de GEI representan un 12% de los beneficios económicos del sector, y el elevado valor de los daños justifica la introducción de políticas y medidas de reducción de las emisiones GEI.

Figura 3. Densidad de la carga del input nitrógeno en los suelos de la UE (kgN/km²).



Fuente: Leip et al. (2011).

La producción ganadera en la Unión Europea genera daños medioambientales por las emisiones de la fermentación entérica y de la gestión de estiércoles, y también por las emisiones de la producción de cultivos utilizados en la alimentación del ganado. Los daños de las emisiones de la fermentación entérica alcanzan los 5.900 millones de € ($40 \text{ €/tCO}_2 \cdot 147 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2\text{eq}$), y los daños de la gestión de estiércoles 2.900 millones de € ($40 \text{ €/tCO}_2 \cdot 73 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2\text{eq}$).

En relación a las emisiones de óxido nítrico de la producción de cultivos ($240 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2\text{eq}$), los estiércoles podrían utilizarse como abonado orgánico para sustituir parte de los 11 millones tN del abonado mineral que se aplica en los cultivos. Esta sustitución de abonado mineral por abonado orgánico reduciría sustancialmente las emisiones de óxido nítrico en la UE. Este potencial de sustitución del abonado mineral por orgánico es especialmente elevado en Francia y Alemania con un input de nitrógeno superior a los 2 millones tN de abonado mineral, y en Reino Unido y España con un input superior a 1 millón tN de abonado mineral.

Las entradas de nitrógeno en los suelos agrícolas de la UE alcanzan los 25 millones tN por abonado mineral y orgánico, estiércol en pastos, y otros. La densidad de los inputs totales de nitrógeno en los suelos agrícolas se muestra en la figura 3 (Leip et al. 2011). Se observa que la mayor densidad de carga de nitrógeno, superior a los 250 kgN/ha, se da en las regiones de Bélgica-Holanda-Dinamarca, Noreste de Alemania, y Norte de Italia. La elevada entrada de nitrógeno en los suelos genera contaminación de los cursos de agua por lixiviado de nitrógeno en los procesos de percolación y escorrentía.

La carga de contaminación de nitrógeno en los ríos de la UE alcanza los 4 millones de tN (Seitzinger et al. 2009), lo que provoca la eutrofización de las masas de agua y daños significativos a los ecosistemas acuáticos. No existen estimaciones detalladas de los daños medioambientales a los ecosistemas acuáticos de la contaminación de nitrógeno, y una estimación disponible es el coste de depuración del nitrato del agua como aproximación al daño medioambiental. Este coste puede estimarse en 1,3 €/kgN (Martínez y Albiac 2006). Esta cifra tiene un orden de magnitud similar al estimado en estudios sobre el daño del nitrógeno a los servicios medioambientales de los ecosistemas (Brink et al. 2011), con un rango entre 2-5 €/kgN. Utilizando el coste de 1,3 €/kgN, el daño medioambiental de la contaminación de nitrógeno en los ríos podría alcanzar los 5.200 millones € ($4 \cdot 10^6 \text{ tN} \cdot 1.300 \text{ €/tN}$). La contaminación de nitrógeno de los ríos proviene de fuentes puntuales urbanas e industriales, y de fuentes difusas de la agricultura y la ganadería. La ganadería contribuye de forma directa a esta contaminación por las pérdidas de nitrógeno por escorrentía y percolación de los estiércoles, ya sean aplicados como abonado orgánico o solo depositados en los suelos. La ganadería también contribuye de forma indirecta a través de la contaminación que genera la producción de cultivos utilizados en alimentación animal.

Las emisiones de amoníaco de los estiércoles generan el problema de la acidificación, cuyos costes de daño a los ecosistemas son significativos. Brink y Van Grinsven (2011) dan una estimación de estos costes en unos 3.000 €/tN-NH₃. Dado que las emisiones de amoníaco de los estiércoles alcanzan los 1,4 millones tN-NH₃-año, la estimación de los daños a los ecosistemas en la Unión Europea supondrían 4.200 millones € ($1,4 \cdot 10^6 \text{ tN-NH}_3 \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ €/tN-NH}_3$). La evaluación de estos daños medioambientales por acidificación es compleja y no ha sido muy estudiada. En este trabajo estos daños no se han analizado debido a la falta de datos disponibles.

5. Beneficios económicos del Proyecto MANEV

El proyecto MANEV plantea la evaluación de la implementación de distintas tecnologías de tratamiento y gestión de estiércol con las que se pretende recuperar nutrientes, eliminar nutrientes, obtener valor añadido mediante compostaje y biogás, y mejorar el manejo de los estiércoles. El potencial de beneficios del proyecto depende de la adopción por los ganaderos de estas tecnologías en los distintos países y regiones de la UE.

En principio, el objetivo ideal sería que la utilización de estas tecnologías consiguiera eliminar las emisiones GEI de los estiércoles de la ganadería en la UE. Como ya se ha señalado, las emisiones GEI de metano y óxido de nitrógeno de los estiércoles alcanzan los 73 millones tCO₂eq. Los beneficios potenciales de eliminar estas emisiones en la UE son 2.900 millones de € al año ($40 \text{ €/tCO}_2 \cdot 73 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2\text{eq}$).

Por otra parte la sustitución del abonado mineral de los cultivos por abonado orgánico tendría unos beneficios que podrían ser al menos similares, ya que en la UE se utilizan 11 millones tN de abonado mineral que generan unos daños por emisiones GEI de 9.600 millones de € ($40 \text{ €/tCO}_2 \cdot 240 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2\text{eq}$), y este abonado mineral podría sustituirse en parte con el input de nitrógeno que contienen los estiércoles estimado en 7 millones tN (Leip 2011). Estos 7 millones de tN corresponden a los 1.400 millones t de estiércol que genera la ganadería, ya que el contenido de nitrógeno total del estiércol es de unos 5 kg N/t-estiércol (Iguacel 2006).

Además, si se redujera la carga de nitrógeno procedente de los estiércoles que acaba en los cursos de agua, también se reduciría una parte de los 4 millones tN de contaminación de nitrógeno en los ríos, que tienen un coste que podría alcanzar los 5.200 millones € como se ha señalado anteriormente ($4 \cdot 10^6 \text{ tN} \cdot 1.300 \text{ €/tN}$). Aunque la contribución de la carga de nitrógeno procedente de los estiércoles es significativa, es bastante menor que la contribución del abonado mineral junto a la de fuentes puntuales urbanas e industriales.

El proyecto MANEV ha desarrollado una herramienta que sirve para orientar la elección del sistema de gestión de estiércoles a los ganaderos y agricultores. La herramienta examina tecnologías de gestión de estiércoles basadas en procesos biológicos, físico-químicos, y en la aplicación directa a los suelos.

Las decisiones sobre la selección de la combinación de tecnologías de gestión de estiércol son complejas. La técnica de gestión en la agricultura tradicional era la aplicación directa de los estiércoles en la producción de cultivos por su valor en nutrientes y para mejorar la calidad de los suelos. El aumento de la cabaña y la concentración espacial de la producción ganadera hace más difícil equilibrar la aplicación de estiércoles con las necesidades de los cultivos. En muchas zonas de producción este desequilibrio tiene como consecuencia la aplicación de un exceso de nutrientes y la contaminación de las masas de agua y de la atmósfera.

Las técnicas de gestión basadas en procesos biológicos, como la digestión anaeróbica y la nitrificación/desnitrificación, pueden tener elevados costes de instalación y funcionamiento. La técnica de separación mecánica sólido-liquido tiene unos costes menores que dependen de la escala de operación.

Pero los agricultores difícilmente pueden recuperar los costes de inversión y mantenimiento de las tecnologías de reducción de emisiones, ya que la reducción de emisiones no es un bien privado que pueda venderse en los mercados. Es un caso distinto al del mercado de emisiones ETS (Sistema de Comercio de Emisiones de la UE) en el que la contaminación es puntual (localizada) y se puede medir. La contaminación que generan los estiércoles es una contaminación difusa, y su control es prácticamente imposible, por lo que no se pueden utilizar los mercados para recuperar los costes en que incurren los agricultores para reducir las emisiones.

Los únicos bienes privados que se pueden comercializar con las técnicas de gestión de estiércol son la venta de energía generada (en forma de electricidad), y la venta de productos fertilizantes que sean estables, bien caracterizados y con precios razonables para que puedan acceder a los mercados. En algunos casos las técnicas de gestión de estiércol podrían ser rentables para el ganadero individual, porque consiga cubrir los costes de inversión y mantenimiento con la venta de energía o productos fertilizantes. En otros casos, el ganadero individual podría cubrir los costes de la inversión con una rentabilidad interna basada en la utilización de la energía y los productos fertilizantes en la propia explotación.

Pero en general, la venta en el mercado de los productos derivados del tratamiento de los estiércoles (energía y fertilizantes) no cubre los elevados costes de las tecnologías de gestión de estiércoles. La consecuencia es que el ganadero individual no puede cubrir

los costes de inversión y funcionamiento de las tecnologías de reducción de las emisiones contaminantes.

Como ejemplo del efecto que la economía de escala puede tener sobre la rentabilidad financiera de las inversiones en tecnologías de tratamiento, se ha evaluado el caso de una instalación con un proceso de digestión anaerobia, separación, compostaje y tratamiento biológico de nitrificación/desnitrificación. Los productos comercializables son la energía (electricidad o calor) y el compost. Se han considerado dos tipos de instalación según la escala de operaciones, a pequeña escala para tratar 3.000 m³ purín-año y a mayor escala para tratar 80.000 m³ purín-año. La rentabilidad financiera en ambos casos es negativa, pero se observan economías de escala, ya que la rentabilidad estimada de la instalación a pequeña escala es -11 €/m³ purín y la rentabilidad a mayor escala es -3 €/m³ purín.

Una posible solución sería subvencionar con financiación pública los costes de inversión y funcionamiento de las tecnologías de gestión de estiércoles en cada explotación individual, de forma que la adopción de estas tecnologías le resultara rentable al ganadero. Pero el problema es la dificultad de mantener indefinidamente estas subvenciones públicas. Ahora bien, el coste de gestión de estiércoles es un coste implícito de la actividad ganadera. El objetivo consiste en la correcta gestión del purín, alcanzando la mejor rentabilidad financiera posible.

La alternativa de establecer impuestos a las emisiones siguiendo el principio de “quien contamina paga”, no parece que pueda aplicarse a cada explotación individual porque la contaminación es difusa y no se puede conocer el origen y la carga de contaminación de cada explotación.

Otra solución consiste en lograr la colaboración y cooperación de todos los agentes implicados para construir instalaciones de tratamiento más grandes y aprovechar las economías de escala. Para ello se necesitan acuerdos entre los ganaderos y agricultores individuales, asociaciones de productores, comunidades de regantes, empresas de transformación del sector, grupos medioambientalistas, y las autoridades locales, regionales, nacionales y europeas responsables del sector agrario, el medio ambiente y los recursos hídricos. Esta alternativa consiste en conseguir la acción colectiva de los agentes implicados en el sector para la reducción de las emisiones contaminantes de los estiércoles de la ganadería.

Esta alternativa requiere organizar de manera apropiada la utilización de los estiércoles como abonado orgánico, que sustituya al abonado mineral de la producción de cultivos. El objetivo es lograr una economía circular entre la ganadería y la producción de cultivos, como ocurría en la agricultura tradicional. El potencial en la Unión Europea es sustancial, ya que como se ha señalado anteriormente el contenido de nitrógeno de los estiércoles alcanza los 7 millones de tN frente a una utilización de abonado mineral de 11 millones de tN. Una organización más eficiente de la gestión de estiércoles por los agentes implicados es indispensable para poder sustituir una parte significativa de los 11 millones de tN de abonado mineral.

El impacto del proyecto MANEV en este sentido es clave porque pone a disposición de los usuarios y agentes implicados toda la información existente de las tecnologías de tratamiento de estiércoles disponibles. La selección de la combinación de tecnologías para la recuperación y eliminación de nutrientes, y para la obtención de valor añadido de los fertilizantes orgánicos y el biogás, solo puede realizarse a nivel local con el apoyo decidido de los agentes implicados. Estas soluciones locales deben tener viabilidad financiera para poder cubrir los costes de inversión y operación de la combinación de tecnologías seleccionada.

6. Relevancia del Proyecto MANEV para las políticas medioambientales europeas

La herramienta MANEV tiene por tanto una gran relevancia para las políticas europeas sobre sostenibilidad de la agricultura y ganadería, como instrumento para lograr la reducción de las emisiones contaminantes a la atmósfera, los suelos y el agua. Estas políticas son básicamente la Política Agrícola Común (PAC), la Directiva de Prevención y Control Integrado de la Contaminación (IPPC), la Directiva Marco del Agua, la Directiva de Nitratos, y la nueva política de desarrollo rural 2014-2020 de la Comisión Europea (EC 2013).

La PAC determina la evolución de la agricultura europea. Las últimas reformas de la PAC promueven la sostenibilidad de la agricultura, la protección del medio ambiente, y unas mejores condiciones de la sanidad y el bienestar animal. Los principales cambios para la protección del medio ambiente y la mitigación del cambio climático son las medidas agroambientales, el desacoplamiento de las ayudas y la eco-condicionalidad, la

modulación, y el establecimiento de sistemas de asesoramiento a las explotaciones. La PAC actual incluye medidas específicas para explorar el potencial de la agricultura para la mitigación de las emisiones GEI y para la adaptación al cambio climático (2010a y 2010b).

La Directiva IPPC está orientada a reducir las emisiones contaminantes de fuentes industriales y agrarias. La Directiva regula las actividades industriales y agrarias de elevado potencial contaminante, como los sectores energético, químico y ganadero. Estas actividades están sujetas a un procedimiento de autorización que establece requisitos mínimos en todos los permisos, en especial las emisiones contaminantes. La Directiva incluye las instalaciones ganaderas intensivas de aves y porcino. La principal recomendación para reducir la contaminación de las instalaciones ganaderas es la utilización de las mejores tecnologías disponibles de prevención de la contaminación, el uso eficiente de la energía, el establecimiento de límites de emisión, y medidas de gestión de residuos.

La Directiva Marco del Agua regula los recursos hídricos en Europa. La Directiva promueve la política de precios del agua, la combinación de límites en la carga de contaminantes y estándares de calidad de agua, y también la gestión participativa de las cuencas. La mejora de la gestión del agua puede tener efectos positivos sobre las emisiones GEI. Esta Directiva se considera un instrumento clave para la adaptación y mitigación del cambio climático (EC 2009 y 2012).

La Directiva de Nitratos pretende proteger la calidad del agua en Europa evitando que los nitratos de fuentes agrarias contaminen las masas de agua superficiales y subterráneas. Las principales medidas son la identificación de zonas vulnerables, el establecimiento de buenas prácticas agrarias, y el establecimiento de límites a la fertilización. Los objetivos son reducir la contaminación de nitrógeno de las masas de agua y mitigar las emisiones GEI generadas por el excesivo uso de fertilizantes nitrogenados y la sobreaplicación de estiércoles. La figura 3 muestra la escasa efectividad de la Directiva durante los últimos veinticinco años, ya que la carga de nitrógeno del abonado mineral y orgánico en la UE alcanza los 18 millones de tN. Los datos de la OCDE muestran que la carga de nitrógeno en la desembocadura de los principales ríos europeos no ha disminuido, y en algunos casos ha aumentado (Albiac 2009). La efectividad de la Directiva de Nitratos parece muy pobre, si se tiene en cuenta

además el efecto de reducción de la carga de nitrógeno en los cursos de agua como consecuencia de las enormes inversiones de la Directiva de Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas.

La repercusión que puede tener la herramienta informática del proyecto MANEV en estas políticas puede ser importante, ya que se trata de un instrumento que facilita la cooperación entre los agentes implicados para la adopción de las tecnologías de gestión de estiércoles. La herramienta MANEV facilita la negociación a nivel local entre los responsables de la generación (ganaderos) y utilización (agricultores y otros usuarios) de los estiércoles y sus organizaciones, junto a los responsables públicos de las políticas agrarias, medioambientales y de recursos hídricos, y otras partes interesadas. La herramienta MANEV permite seleccionar la combinación de tecnologías más adecuada a las condiciones locales de producción ganadera y agrícola, de forma que se puedan equilibrar los costes y los beneficios económicos y medioambientales de la adopción de las tecnologías, garantizando la viabilidad financiera de las inversiones.

7. Repercusión y beneficios económicos y medioambientales del Proyecto MANEV: el caso de la Comunidad Autónoma de Aragón

En España, las emisiones GEI del sector agrario alcanzan los 40 millones t CO₂eq, lo que representa el 11% de las emisiones totales. Las principales emisiones GEI de origen agrario provienen de las emisiones de metano (CH₄) y de óxido nitroso (N₂O) de la fermentación entérica y del manejo de estiércol. Estas emisiones alcanzan los 20,4 millones t CO₂eq, de los que 12,4 millones corresponden a la fermentación entérica y 8 millones al manejo del estiércol. En segundo lugar están las emisiones de óxido nitroso (N₂O) de los fertilizantes nitrogenados que alcanzan 18,8 millones t CO₂eq, en forma de emisiones directas de los suelos agrícolas y emisiones indirectas de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación y escorrentía.

Las alternativas de mitigación de emisiones de la agricultura y la ganadería dependen de las tecnologías y las prácticas de cultivo y cría del ganado. En la ganadería vacuna y ovina, donde se generan las emisiones de metano de la fermentación entérica, las propuestas consisten en la gestión de la alimentación del ganado mediante la modificación de la dieta y el uso de aditivos, así como la sustitución de forrajes por piensos compuestos. En cuanto a la gestión del estiércol de las especies ganaderas, las

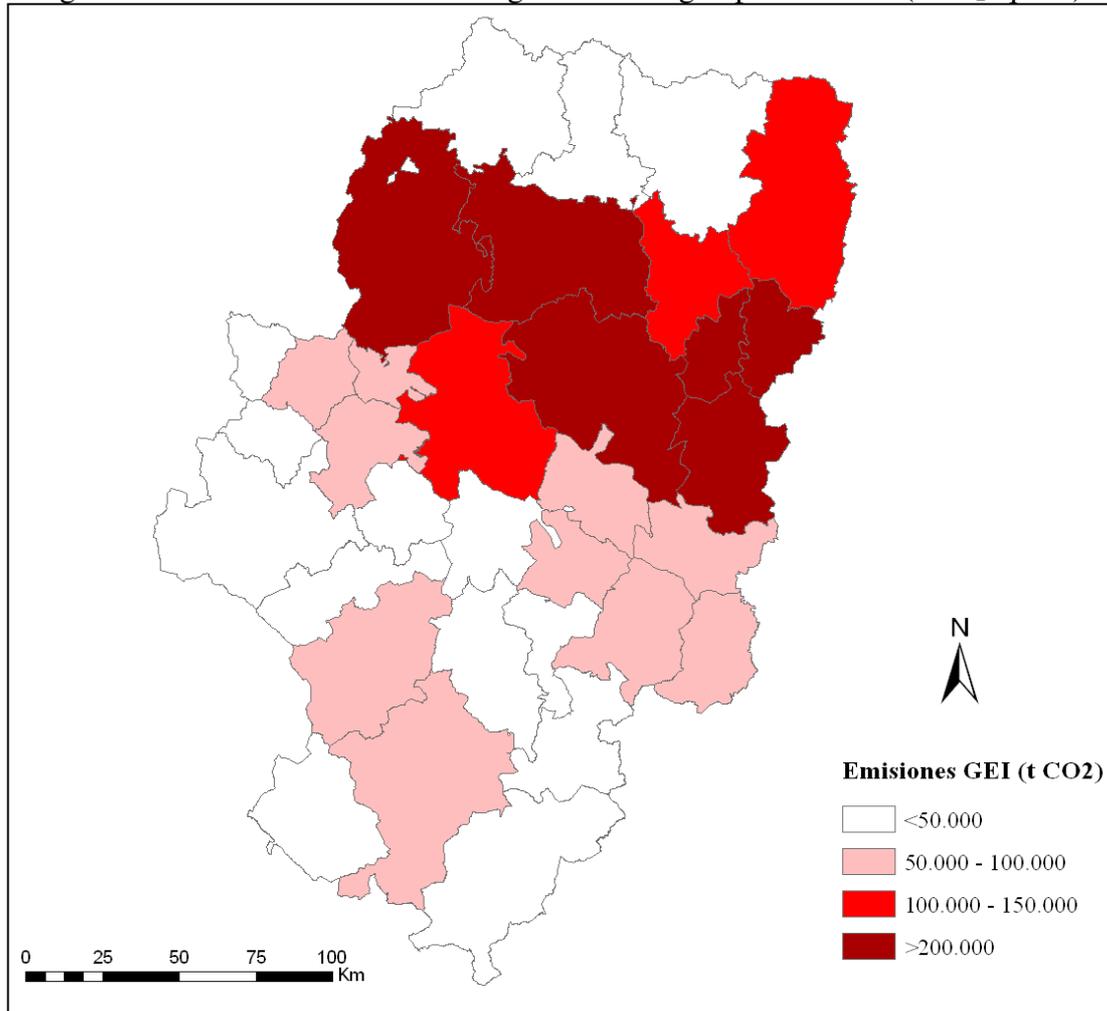
propuestas consisten en cubrir los depósitos de estiércol, el desecado del estiércol, el tratamiento del estiércol para reducir las emisiones de óxido de nitrógeno, a la vez que se capturan las emisiones de metano como fuente de energía, y la utilización del estiércol como sustituto del abonado mineral (Smith et al., 2007).

Los problemas más serios ocurren en las zonas de gran concentración de ganadería intensiva, por el coste elevado del transporte del estiércol a zonas distantes como abonado, y porque las plantas de tratamiento deben alcanzar una mayor eficiencia de costes para conseguir una suficiente rentabilidad de mercado. El proyecto LIFE+ MANEV contribuye a lograr una mayor eficiencia de costes, ya que ayuda a los ganaderos y agricultores en la selección de las tecnologías de tratamiento de estiércoles más eficientes. Ahora bien, la rentabilidad de las plantas de tratamiento y del transporte de estiércol podría mejorarse si se establece algún mecanismo de compensación por la reducción lograda de emisiones GEI y de contaminación de nitrógeno de las masas de agua. Ejemplos de esta compensación son las primas de generación de electricidad con estiércoles, o la posibilidad de conseguir créditos de carbono para comercializarlos en el mercado de carbono (Emissions Trading Scheme).

En este apartado se analizan los beneficios económicos y los costes medioambientales de la agricultura y la ganadería en Aragón, examinando la contribución del Proyecto MANEV a una mejor gestión de estiércoles para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, y las emisiones de nitrógeno en los cursos de agua.

La producción final del sector agrario en Aragón alcanza los 3.500 millones de €, de los que 2.200 millones corresponden a la ganadería y 1.200 millones a la agricultura, y la renta agraria (o valor añadido neto del sector) supone 1.600 millones de € que constituyen el beneficio económico del sector agrario. Pero estas actividades de producción del sector agrario generan costes medioambientales en términos de emisiones GEI ($3,5 \cdot 10^6$ tCO₂eq), de contaminación de nitrógeno de los cursos de agua (23.000 tN), y de contaminación por amoníaco de la atmósfera (18.000 tN-NH₃). El valor de estos costes medioambientales puede estimarse en unos 224 millones de €, de los que 140 millones corresponden a las emisiones GEI ($40 \text{ €/tCO}_2 \cdot 3,5 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2\text{eq}$), 30 millones a la contaminación de los cursos de agua ($1.300 \text{ €/tN} \cdot 23 \cdot 10^3 \text{ tN}$), y 54 millones a los daños por acidificación ($3.000 \text{ €/tN-NH}_3 \cdot 18 \cdot 10^3 \text{ tN-NH}_3$).

Figura 4. Emisiones GEI del sector agrario en Aragón por comarca (t CO₂eq/año).



Fuente: Albiac y Kahil (2011).

Por lo tanto el beneficio conjunto económico y medioambiental del sector agrario se reduce a 1.376 millones de € (1.600-224 millones €), si se tienen en cuenta los costes medioambientales.

En Aragón, las emisiones GEI del sector agrario se acercan a los 3,5 millones t CO₂eq, lo que representa el 20 por cien de las emisiones totales de la región, y doblan en porcentaje a la contribución del sector a las emisiones totales de España (Figura 4 y Cuadro 1). Las principales emisiones GEI de origen agrario, provienen de las emisiones de metano (CH₄) y de óxido nitroso (N₂O) del manejo de estiércol y de la fermentación entérica, y alcanzan los 2,5 millones tCO₂eq (Albiac y Kahil 2011).

En segundo lugar están las emisiones de óxido nitroso (N₂O) de los fertilizantes nitrogenados utilizados en la producción de cultivos, que alcanzan 1 millón tCO₂eq de las que un 70 por cien son emisiones directas de los suelos agrícolas durante los

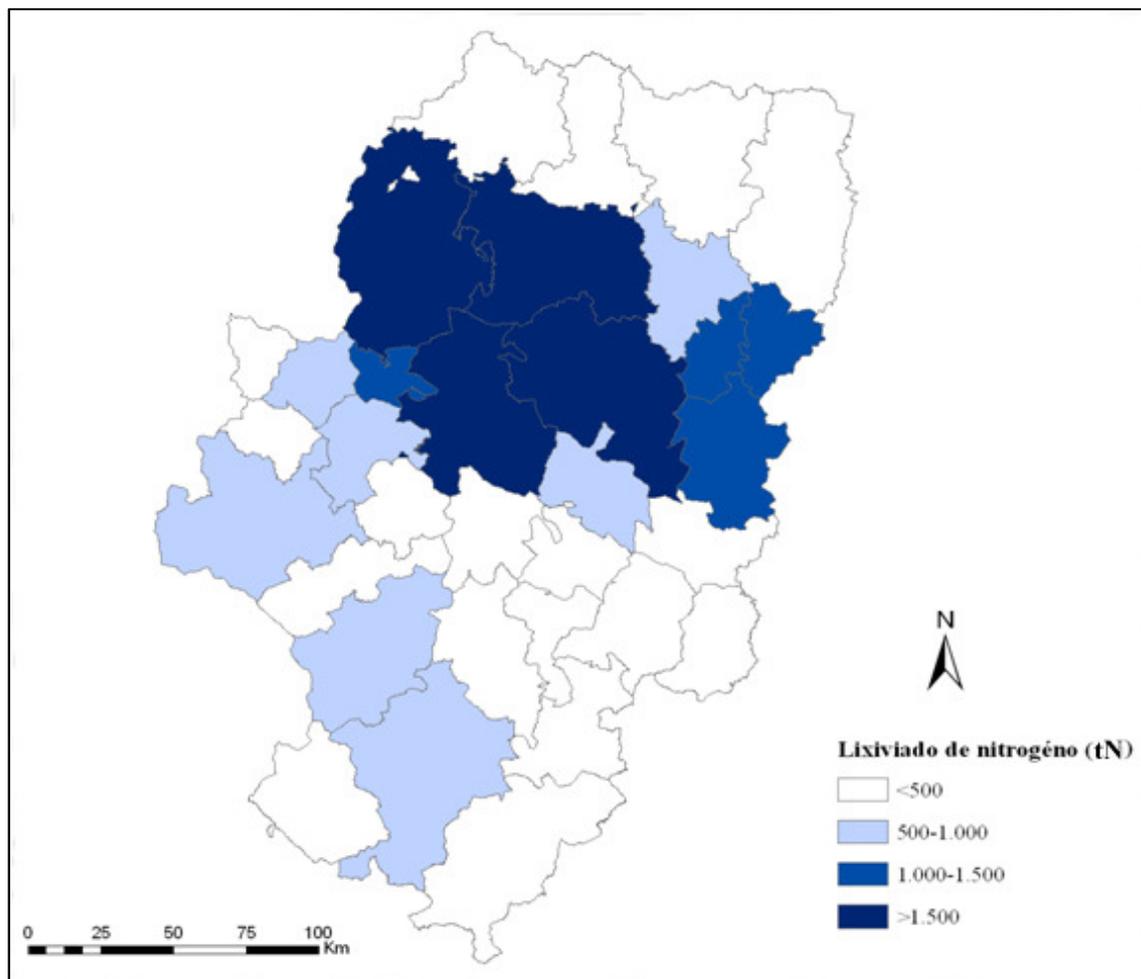
Cuadro 1. Emisiones GEI de origen agrario por comarca (t CO₂eq).

Comarca	Emisiones
Alto Gallego	11.460
Andorra Sierra de Arcos	15.450
Aranda	4.400
Bajo Aragón	98.800
Bajo Aragón-Caspe	78.730
Bajo Cinca	230.160
Bajo Martín	55.190
Campo de Belchite	44.710
Campo de Borja	71.000
Campo de Cariñena	24.450
Campo de Daroca	31.990
Cinca Medio	209.840
Cinco Villas	396.070
Calatayud	48.090
Teruel	72.430
Cuencas Mineras	19.860
Zaragoza	128.930
Gúdar-Javalambre	21.700
Hoya de Huesca	217.100
Jiloca	99.390
Jacetania	22.910
Litera	368.720
Ribagorza	104.470
Monegros	469.750
Maestrazgo	33.740
Matarraña	82.480
Ribera Alta del Ebro	82.480
Ribera Baja del Ebro	78.530
Sierra de Albarracín	8.000
Sobrarbe	45.420
Somontano de Barbastro	135.210
Tarazona y Moncayo	19.620
Valdejalón	53.710
Total	3.384.750

Fuente: Albiac y Kahil (2011).

procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación, y un 30 por cien son emisiones indirectas de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación y escorrentía. Estas emisiones de óxido nítrico de la fertilización de cultivos superan ampliamente a las emisiones de óxido nítrico del manejo del estiércol (215.000 tCO₂eq). La mayor parte de la fertilización de cultivos se realiza con abonado mineral (80%), y por lo tanto a las emisiones GEI del abonado de cultivos habría que sumar las emisiones GEI de la producción del abonado mineral.

Figura 5. Emisiones N de la producción de cultivos a los cursos de agua por comarca (tN).



Fuente: Albiac y Kahil (2011).

La mayor carga de emisiones GEI de la agricultura y ganadería en Aragón se da en las comarcas de Monegros (470.000 tCO₂eq), Cinco Villas (400.000), La Litera (370.000), Bajo Cinca (230.000), Hoya de Huesca (220.000) y Cinca Medio (210.000), donde se localizan los cultivos intensivos de regadío (maíz, arroz, melocotón) y donde también se concentran las cabañas de porcino y vacuno.

Por otra parte la producción de cultivos está muy ligada a la producción ganadera, ya que una parte importante de los cultivos se utilizan en alimentación animal. Esta producción de cultivos genera una carga de contaminación de nitrógeno de 23.000 tN en los cursos de agua por escorrentía y percolación de nitrógeno (Figura 5).

Las emisiones de la ganadería están compuestas por óxido nitroso del manejo de estiércol con 215.000 tCO₂eq, metano del manejo de estiércol con 1,8 millones tCO₂eq, y metano de la fermentación entérica con 480.000 tCO₂eq. Las mayores emisiones de

Cuadro 2. Emisiones de N₂O del manejo de estiércol por comarca (t CO₂eq).

Comarca	Emisiones Porcino	Emisiones Vacuno	Total emisiones
Alto Gallego	30	2.070	2.100
Andorra Sierra de Arcos	140	80	220
Aranda	30	0	30
Bajo Aragón	790	3.490	4.280
Bajo Aragón-Caspe	730	510	1.240
Bajo Cinca	1.610	15.530	17.140
Bajo Martín	310	5.390	5.700
Campo de Belchite	290	2.020	2.310
Campo de Borja	500	2.810	3.310
Campo de Cariñena	110	150	260
Campo de Daroca	160	700	860
Cinca Medio	1.290	16.160	17.450
Cinco Villas	2.870	6.800	9.670
Calatayud	210	1.260	1.470
Teruel	370	1.950	2.320
Cuencas Mineras	100	1.290	1.390
Zaragoza	460	9.010	9.470
Gúdar-Javalambre	60	3.810	3.870
Hoya de Huesca	1.310	9.820	11.130
Jiloca	720	2.380	3.100
Jacetania	60	2.960	3.020
Litera	1.930	46.210	48.140
Ribagorza	670	11.300	11.970
Monegros	3.620	11.900	15.520
Maestrazgo	250	3.100	3.350
Matarraña	820	1.880	2.700
Ribera Alta del Ebro	320	7.170	7.490
Ribera Baja del Ebro	470	4.380	4.850
Sierra de Albarracín	20	910	930
Sobrarbe	140	8.550	8.690
Somontano de Barbastro	850	7.500	8.350
Tarazona y Moncayo	120	220	340
Valdejalón	270	2.680	2.950
Total	21.600	194.000	215.600

Fuente: Albiac y Kahil (2011).

óxido nitroso del manejo de estiércol se emiten en La Litera (48.100 tCO₂eq), Cinca Medio (17.500) y Bajo Cinca (17.100), donde se concentran las emisiones del bovino de carne (Cuadro 2). Las mayores emisiones de metano del manejo de estiércol se emiten en Monegros (293.000 tCO₂eq), Cinco Villas (232.000), La Litera (162.000) y Bajo Cinca (132.000), donde se concentran las emisiones de porcino (Cuadro 3). En cuanto a las emisiones de metano de la fermentación entérica, las mayores emisiones corresponden a La Litera (114.000 tCO₂eq), Cinca Medio (40.000) y Bajo Cinca (38.000), por bovino de carne.

Cuadro 3. Emisiones de CH₄ del manejo de estiércol por comarca (t CO₂eq).

Comarca	Emisiones porcino	Emisiones vacuno	Total emisiones
Alto Gallego	2.030	280	2.310
Andorra Sierra de Arcos	11.550	10	11.560
Aranda	2.430	0	2.430
Bajo Aragón	63.550	470	64.020
Bajo Aragón-Caspe	58.540	70	58.610
Bajo Cinca	130.030	2.100	132.130
Bajo Martín	25.040	740	25.780
Campo de Belchite	23.130	280	23.410
Campo de Borja	39.890	380	40.270
Campo de Cariñena	8.550	20	8.570
Campo de Daroca	12.620	100	12.720
Cinca Medio	104.220	2.180	106.400
Cinco Villas	231.060	830	231.890
Calatayud	16.570	170	16.740
Teruel	29.990	260	30.250
Cuencas Mineras	8.230	180	8.410
Zaragoza	36.770	1.190	37.960
Gúdar-Javalambre	4.890	520	5.410
Hoya de Huesca	105.730	1.300	107.030
Jiloca	58.260	320	58.580
Jacetania	4.690	410	5.100
Literna	155.700	6.220	161.920
Ribagorza	53.750	1.530	55.280
Monegros	291.330	1.580	292.910
Maestrazgo	20.350	420	20.770
Matarraña	66.190	260	66.450
Ribera Alta del Ebro	25.350	940	26.290
Ribera Baja del Ebro	37.790	590	38.380
Sierra de Albarracín	1.470	120	1.590
Sobrarbe	11.030	1.160	12.190
Somontano de Barbastro	68.260	1.020	69.280
Tarazona y Moncayo	9.820	30	9.850
Valdejalón	21.400	370	21.770
Total	1.740.220	26.050	1.766.270

Fuente: Albiac y Kahil (2011).

Los beneficios potenciales del proyecto MANEV vienen dados por los costes que se evitarían al eliminar las emisiones GEI del manejo del estiércol, que alcanzarían 81 millones de €, de los que 8,6 millones corresponderían a la eliminación de óxido nítrico ($40 \text{ €/tCO}_2 \cdot 215 \cdot 10^3 \text{ tCO}_2\text{eq}$) y 72 millones corresponderían a la eliminación de metano ($40 \text{ €/tCO}_2 \cdot 1.800 \cdot 10^3 \text{ tCO}_2\text{eq}$).

Cuadro 4. Nitrógeno en los estiércoles de porcino y vacuno por comarca (t N).

Comarca	Nitrógeno disponible del porcino	Nitrógeno disponible del vacuno	Total nitrógeno disponible
Alto Gallego	0	200	200
Andorra Sierra de Arcos	340	10	350
Aranda	60	0	60
Bajo Aragón	1.640	300	1.940
Bajo Aragón-Caspe	1.680	40	1.720
Bajo Cinca	3.560	1.390	4.950
Bajo Martín	690	410	1.110
Campo de Belchite	680	140	820
Campo de Borja	1.180	660	1.840
Campo de Cariñena	210	20	230
Campo de Daroca	390	50	440
Cinca Medio	3.000	1.520	4.520
Cinco Villas	6.250	600	6.850
Calatayud	350	120	470
Teruel	780	130	910
Cuencas Mineras	210	90	300
Zaragoza	940	630	1.570
Gúdar-Javalambre	110	370	480
Hoya de Huesca	3.210	830	4.040
Jiloca	1.760	170	1.930
Jacetania	100	310	410
Literna	4.450	3.660	8.110
Ribagorza	1.600	850	2.450
Monegros	6.670	980	7.650
Maestrazgo	540	320	860
Matarraña	1.360	180	1.540
Ribera Alta del Ebro	620	540	1.160
Ribera Baja del Ebro	1.100	340	1.440
Sierra de Albarracín	70	50	120
Sobrarbe	250	800	1.050
Somontano de Barbastro	1.970	600	2.570
Tarazona y Moncayo	230	10	240
Valdejalón	480	190	670
Total	46.480	16.530	63.010

Fuente: Albiac y Kahil (2011).

También se pueden considerar los beneficios potenciales del proyecto MANEV que se obtendrían al eliminar las emisiones de amoníaco de los estiércoles. Estas emisiones pueden estimarse en unas 18.000 tN-NH₃-año,² con unos costes para los ecosistemas que Brink y Van Grinsven (2011) estiman en torno a 3.000 €/tN-NH₃. Por lo tanto, la

² Las 18.000 tN-NH₃ son una aproximación teniendo en cuenta que el volumen de estiércoles en Aragón alcanza los 18 millones de toneladas, que suponen un contenido en nitrógeno de 90.000 tN.

estimación del coste de las emisiones de amoníaco de los estiércoles en Aragón sería de unos 54 millones de € ($18 \cdot 10^3 \text{ tN-NH}_3 \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ €/tN-NH}_3$).

Otros beneficios potenciales se alcanzarían sustituyendo el abonado mineral utilizado en la producción de cultivos por abonado orgánico. Esta sustitución permitiría reducir las emisiones conjuntas de los estiércoles y la producción de los cultivos tanto de óxido nítrico a la atmósfera, como de nitrógeno en los cursos de agua. Las emisiones de óxido nítrico de la producción de cultivos ($1 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2\text{eq}$) suponen un coste medioambiental de 40 millones de € ($40 \text{ €/tCO}_2 \cdot 1 \cdot 10^6 \text{ tCO}_2\text{eq}$), y las emisiones de nitrógeno a los cursos de agua de la producción de cultivos por escorrentía y percolación (23.000 tN) suponen un coste de 30 millones de € ($23 \cdot 10^3 \text{ tN} \cdot 1.300 \text{ €/tN}$).

Las necesidades de nitrógeno de los cultivos en Aragón son 110.000 tN, de las que 85.000 tN se cubren con abonado mineral y 25.000 tN con abonado orgánico (Orús y Sin 2006). El volumen de estiércoles en Aragón puede estimarse en unos 18 millones de toneladas, lo que supone 90.000 tN. Por lo tanto, los estiércoles podrían llegar a cubrir el 80% del total de necesidades de nitrógeno de los cultivos (110.000 tN). Aunque esta sustitución del abonado mineral por abonado orgánico no vaya a reducir la contaminación de nitrógeno de 23.000 tN de los cursos de agua por la producción de cultivos, sí que reduce la contaminación por nitrógeno de las 65.000 tN de estiércoles (90.000-25.000 tN) que actualmente no se utilizan como fertilizantes, y cuya carga de nitrógeno acaba finalmente en los cursos de agua. La gestión adecuada de estos estiércoles como abonado orgánico también reduciría las emisiones GEI y de amoníaco a la atmósfera que generan actualmente estos estiércoles no utilizados como abonado orgánico.

La disponibilidad de nitrógeno de los estiércoles de 90.000 tN, se divide entre 63.000 tN del porcino y vacuno, 19.000 tN del ovino y 8.000 tN de las aves. Las comarcas con mayor disponibilidad de nitrógeno del porcino y vacuno por provincias son: en Huesca las comarcas de La Litera y Monegros con más de 7.000 tN, y Bajo Cinca, Cinca Medio y Hoya de Huesca con más de 4.000 tN; en Zaragoza las comarcas de Cinco Villas con más de 6.800 tN, y Borja y Caspe con más de 1.700 tN; en Teruel las comarcas de Bajo Aragón, Jiloca y Matarraña con más de 1.500 tN (Cuadro 4).



Cuadro 5. Solución de transporte de estiércoles en la comarca de La Litera (tN).

Exportación \ Importación	Azanuy-Alins	Baells	Esplús	Peralta de Calasanz	San Esteban de Litera	Excedente de N exportado	Excedente de N no exportable
Albelda						0	321
Alcampell		16				16	439
Altorricón						0	1.024
Baldellou						0	2
Binéfar	145		19			164	0
Camporrélls						0	65
Castillonroy						0	183
La Portellada						0	0
Tamarite de Litera			277	163	342	782	414
Total importado	145	16	296	163	342	962	
Total excedente no exportable							2.448

7.1 La utilización de estiércoles como abonado orgánico

Una solución a la gestión del estiércol que plantea el proyecto MANEV es lograr la acción colectiva de los agentes del sector, de forma que se utilicen los estiércoles como abonado orgánico que sustituya al abonado mineral en la producción de cultivos. Esta medida tiene un gran potencial en Aragón, puesto que ya se ha señalado que los estiércoles pueden llegar a cubrir el 80% de las necesidades de nitrógeno de los cultivos.

Para examinar esta solución se han seleccionado tres zonas en las que la elevada densidad de ganado porcino y vacuno genera una situación crítica para la gestión del enorme volumen de estiércoles. Estas zonas son las comarcas de La Litera, Bajo Cinca y Matarraña. En la comarca de Matarraña la utilización de estiércoles como abonado orgánico es problemática porque la comarca está declarada zona vulnerable por la Directiva de Nitratos, y la aplicación de abonado orgánico en los cultivos está muy limitada.

La solución se plantea como un problema de transporte de estiércoles entre los municipios de cada comarca. En cada municipio se utilizan los estiércoles como abonado orgánico para sus propios cultivos sustituyendo al abonado mineral. A continuación se calcula para los municipios excedentarios el excedente de estiércoles que pueden exportar a otros municipios, y para los municipios deficitarios el déficit de los estiércoles que pueden importar de otros municipios. Una vez clasificados los municipios en exportadores o importadores del nitrógeno de los estiércoles, se establece un coste del transporte de estiércol de 0,53 €/m³-km (Daudén et al. 2011). Este coste incluye los costes de carga, transporte y descarga de un servicio externalizado. También se establece un límite máximo de distancia de 25 kilómetros (Gobierno de Aragón 2009), por encima del cual no resulta rentable transportar estiércoles como abonado.

La disponibilidad de nitrógeno en los estiércoles de porcino y vacuno en las tres comarcas es de 8.110 tN en La Litera, 4.950 en Bajo Cinca, y 1.540 en Matarraña. Una vez que en cada municipio se sustituye el abonado mineral por abonado orgánico, las cantidades que pueden exportar los municipios excedentarios en cada comarca son 3.500 tN en La Litera, 1.550 en Bajo Cinca, y 720 en Matarraña (Cuadro 4).

Los resultados en la comarca de La Litera muestran que de las 3.500 tN disponibles para exportar en los municipios excedentarios, se exportan cerca de 1.000 tN a los



Cuadro 6. Solución de transporte de estiércoles en la comarca de Bajo Cinca (tN).

Exportación \ Importación	Belver de Cinca	Mequinenza	Ontiñena	Torrente de Cinca	Excedente de N Exportado	Excedente de N no exportable
Ballobar					0	230
Chalamera			80		80	86
Fraga		312		23	325	29
Osso de Cinca	22				22	108
Velilla de Cinca					0	37
Zaidín					0	627
Total importado	22	312	80	23	427	
Total excedente no exportable						1.117

municipios deficitarios que pueden sustituir abonado mineral por abonado orgánico. Los municipios que exportan son Tamarite de Litera (782 tN), Binefar (164) y Alcampell (16), y los que importan son San Esteban de Litera (342), Esplús (296), Peralta de Calasanz (163), Azanuy-Alins (145) y Baells (160). Por lo tanto queda un remanente de estiércoles en la comarca de unos 2.500 tN (3.500-1.000) que no pueden utilizarse como abonado orgánico (Cuadro 5).

En la comarca de Bajo Cinca los municipios excedentarios disponen de 1.550 tN de estiércoles para exportar, de los que se exportan 430 tN a los municipios deficitarios. Los municipios que exportan son Fraga (325), Chalamera (80) y Osso de Cinca (22), y los que importan son Mequinzenza (312), Ontiñena (80), Torrente de Cinca (23) y Belver de Cinca (22). Queda un remanente de estiércoles de 1.120 tN (1.550-430) que no puede emplearse como abonado orgánico en la comarca (Cuadro 6).

La comarca de Matarraña dispone de 720 tN para exportar en los municipios excedentarios, de los que se exportan 380 tN a los municipios deficitarios. Los municipios que exportan son Valderrobres (143), Calaceite (67), La Fresnada (48), La Portellada (48), Torre de Arcas (39), Peñarroya de Tastavins (21), y Fuentespalda (11). Los importadores son Cretas (125), Fórnoles (123), Valjunquera (84), Monroyo (60), Torre del Compte (52), Rafales (11) y Valdetormo (6). En la comarca hay un remanente de estiércoles 340 tN (720-380) que no puede utilizarse como abonado orgánico (Cuadro 7).

La herramienta MANEV permite simular diferentes combinaciones de tecnologías de tratamiento con el fin de poder seleccionar el sistema de gestión que mejor se adapte a la situación en concreto. En este caso es necesario reducir la carga de nitrógeno de la zona, con lo que los sistemas de gestión propuestos incluirán tecnologías de reducción de nutrientes (ej.: tratamiento de nitrificación/desnitrificación), concentración de nutrientes y venta de productos finales fuera del área (ej.: stripping) o de exportación a zonas receptoras de la fracción sólida o del compost. La simulación se puede realizar bien de forma individual para una granja o de forma colectiva. En ambos casos el factor clave va a ser el coste que esta gestión implica.



Cuadro 7. Solución de transporte de estiércoles en la comarca de Matarraña (tN).

Importación \ Exportación	Cretas	Fórnoles	Monroyo	Rañales	Torre del Compte	Valdelmoro	Valjunquera	Excedente de N exportado	Excedente de N no exportable
Beceite								0	53
Calaceite	57				4	6		67	51
La Fresneda					48			48	0
Fuentespalda				11				11	62
Lledó								0	79
Mazaleón								0	47
Peñarroya de Tastavins			21					21	48
La Portellada		48						48	0
Torre de Arcas			39					39	0
Valderrobres	68	75					84	143	0
Total importado	125	123	60	11	52	6	84	377	
Total excedente no exportable									340

7.2 Las emisiones de GEI y amoníaco de la gestión de estiércoles

Las emisiones de metano del manejo de los estiércoles de vacuno y porcino suponen unas emisiones de 1,77 millones tCO₂eq, muy superiores a las emisiones de óxido nitroso del manejo de estiércoles de 0,22 millones tCO₂eq (Cuadros 2 y 3). Como se ha señalado anteriormente, el coste de las emisiones de metano (72 millones €) está muy por encima del coste de las emisiones de óxido nitroso (9 millones €).

Por lo tanto, una de las tareas del proyecto MANEV en Aragón consiste en la reducción de emisiones de metano de los estiércoles. La razón de las elevadas emisiones de metano es que el porcino constituye la ganadería predominante en la región, y los estiércoles de porcino generan unas emisiones de metano muy altas en comparación con el vacuno.

Una primera medida para reducir las emisiones es mejorar los sistemas de gestión de estiércoles para reducir la descomposición anaeróbica de los estiércoles, y también cubrir los depósitos de almacenamiento de estiércoles para evitar emisiones.

La digestión anaeróbica reduce el metano, produce biogás, disminuye los patógenos, y además los productos finales pueden utilizarse como abonado. La nitrificación/desnitrificación reduce el óxido nitroso y el amoníaco, disminuye los patógenos, y los efluentes finales son más limpios que los de la digestión anaeróbica.

También se puede combinar la digestión anaeróbica seguida de la nitrificación/desnitrificación para reducir el metano, el óxido nitroso y el amoníaco, disminuir los patógenos, y conseguir efluentes más limpios. Ahora bien, tanto la digestión anaeróbica como la nitrificación/desnitrificación tienen unos costes elevados de inversión y operación, por lo que es necesario aprovechar las economías de escala, como se señala en el ejemplo de la sección 5.

Por otro lado, existen otras técnicas que se pueden aplicar a la gestión agrícola como el tratamiento de acidificación de los estiércoles o los sistemas de aplicación superficial o de inyección, que reducen las emisiones de amoníaco a la atmósfera. Estas técnicas no requieren el uso de grandes infraestructuras para su aplicación y los costes de operación no son elevados.

Los elevados costes de inversión y operación de estas tecnologías disponibles para la reducción de las emisiones de metano aconseja su puesta en marcha por asociaciones de ganaderos y agricultores con el apoyo de las administraciones central, regional y local. En este sentido el proyecto MANEV facilita el análisis y evaluación de la combinación de tecnologías de gestión de estiércoles, dependiendo de los objetivos en cada zona o región. El objetivo principal puede ser la reducción de los gases de efecto invernadero metano y óxido nítrico, la reducción de la contaminación de nitrógeno en los cursos de agua, la reducción de las emisiones de amoníaco, o una combinación de estas reducciones.

Una estrategia interesante en Aragón para coordinar los esfuerzos de organización de la gestión de estiércoles de los ganaderos y agricultores consiste en utilizar las actuales instituciones de cooperación, como son las comunidades de regantes y las asociaciones de productores ganaderos.

8. Beneficios sociales del Proyecto MANEV

Los beneficios sociales del Proyecto MANEV tienen relación con la sostenibilidad de la ganadería y la agricultura, la mitigación del cambio climático, el medio ambiente y el buen estado de los ecosistemas, la salud de la población, el empleo y el desarrollo rural. El proyecto MANEV despliega una herramienta que unifica el conocimiento y la experiencia de las tecnologías de gestión de estiércol a nivel europeo, y además la herramienta es flexible y se adapta a la escala individual, local o regional.

La herramienta contribuye a la sostenibilidad del sector agrario en Europa al facilitar la integración del sector ganadero y la producción de cultivos, mediante la sustitución del abonado mineral (11 millones tN) por abonado orgánico de los estiércoles (7 millones tN). Con ello se favorece una economía circular entre la ganadería y la producción de cultivos, como ocurría en la agricultura tradicional.

Como se ha señalado en la sección 6, los beneficios económicos del proyecto se derivan de la reducción que se logre mediante el proyecto de la contaminación de nitrógeno de las masas de agua, de la contaminación de GEI y de la acidificación. El potencial de beneficios de reducir la contaminación de nitrógeno en los ríos europeos es muy elevado, ya que como se ha señalado, la carga de contaminación de nitrógeno en los ríos es 4 millones tN, que supone un coste de 5.200 millones €. El proyecto

MANEV contribuye a conseguir este beneficio potencial al facilitar la sustitución del abonado mineral por abonado orgánico, y reducir la carga de contaminación de nitrógeno de las masas de agua. El proyecto MANEV también contribuye a la mitigación del cambio climático, ya que facilita el análisis y evaluación de las técnicas de gestión de estiércoles disponibles para la reducción de emisiones de metano y óxido nitroso. El potencial de beneficios de reducir las emisiones GEI es importante porque el coste de los 73 millones tCO₂eq de emisiones GEI de los estiércoles en Europa alcanza los 2.900 millones de Euros. Finalmente el proyecto MANEV contribuye a la reducción de las emisiones de amoníaco a la atmósfera, cuyos costes de daño a los ecosistemas podrían alcanzar los 4.200 millones €.

La reducción de las emisiones GEI a la atmósfera y de las emisiones de nitrógeno a los cursos de agua que se logren con el proyecto MANEV, supone unos beneficios a largo plazo para la sostenibilidad del sector agrícola y ganadero, y para la protección del medio ambiente, el buen estado de los ecosistemas, y la salud humana.

En relación a la salud de la población, la adopción de técnicas de gestión de estiércoles disminuye significativamente la carga de patógenos en los residuos de los tratamientos que pueden llegar afectar a la población, se reduce la carga de nitratos en los cursos de agua que afecta a la calidad del agua potable y la salud de la población, y también se reducen las emisiones de amoníaco que son muy perjudiciales para la salud humana.

En cuanto al empleo y el desarrollo rural, las técnicas de gestión de estiércol contribuyen a la sostenibilidad del sector agrícola y ganadero asegurando el empleo en el sector, y creando nuevas oportunidades de empleo con las inversiones y mantenimiento de las instalaciones de gestión de estiércoles.

En el caso de la Comunidad Autónoma de Aragón, el desarrollo rural depende en un grado muy elevado del sector ganadero. Aragón es una región donde la mayor parte de la población se ha concentrado en unas pocas zonas urbanas, y cuyas zonas rurales han experimentado una fuerte pérdida de población. Esta despoblación rural amenaza el mantenimiento de los ecosistemas ligados a la agricultura tradicional, por el abandono de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales.

En Aragón, el sector ganadero ha tenido una gran expansión en las últimas décadas y supone actualmente el 63% de los ingresos del sector agrario. Por lo tanto, el sector ganadero es clave para el mantenimiento de la población rural en la región. Una alternativa para reducir las emisiones GEI a la atmósfera y las emisiones de nutrientes a las masas de agua es reducir drásticamente o limitar la cabaña ganadera, como se ha hecho en algunas regiones de Europa, pero esta solución sería muy perjudicial para el desarrollo rural en Aragón agravando el problema de despoblación territorial. El proyecto MANEV contribuye al desarrollo rural de la región, ya que permite el mantenimiento del sector ganadero facilitando las herramientas para que el sector ganadero sea más sostenible.

9. Replicabilidad, demostración, transferibilidad y cooperación del Proyecto MANEV

Las herramientas que proporciona el proyecto MANEV son replicables en las zonas ganaderas de los países de la Unión Europea. En el proyecto MANEV se han evaluado diferentes sistemas de gestión basados en la aplicación de las tecnologías de tratamiento en varias regiones de España (Aragón, Cataluña, Castilla-León, Murcia), Dinamarca (Aarhus), Italia (Lombardía, Emilia-Romaña) y Polonia (Warmia-Mazuria).

Los resultados de demostración del proyecto sirven de guía para la mejora de la gestión de estiércoles en las regiones ganaderas de Europa. En especial se debería hacer énfasis en la aplicación de los resultados de demostración y transferencia del proyecto en las áreas con mayores problemas por la elevada concentración ganadera. Como se ha señalado anteriormente (Figuras 1 y 2), los principales núcleos de regiones con elevada concentración de ganado porcino o vacuno son Bélgica-Holanda-Norte de Alemania-Dinamarca; Noroeste de Francia; Noreste de España; Norte de Italia; Irlanda-Oeste de Reino Unido; y Polonia Central.

Para la adopción de estas tecnologías es necesaria la cooperación entre los ganaderos y agricultores individuales; sus asociaciones profesionales; los grupos de interés como industrias de transformación y distribución, sindicatos agrarios y organizaciones medioambientales; y las autoridades locales, regionales, nacionales y europeas responsables del sector agrario, el medio ambiente y los recursos hídricos. Como se ha señalado anteriormente, la solución no siempre puede lograrse por el

ganadero individual, sino que en ciertas ocasiones es indispensable alcanzar la cooperación de los grupos de interés para conseguir la acción colectiva de los agentes implicados en la reducción de las emisiones contaminantes de los estiércoles de la ganadería.

Por ello, la herramienta informática del proyecto MANEV tiene una importancia fundamental al poner a disposición de los usuarios y agentes implicados la combinación de tecnologías de tratamiento más adecuadas. Esta herramienta facilita la negociación a nivel local entre los ganaderos que generan los estiércoles y los agricultores que pueden utilizar los estiércoles o sus productos derivados, sus organizaciones, junto a los responsables de las políticas agrarias y medioambientales, y otras partes interesadas. Las cuestiones clave son cómo equilibrar los costes y beneficios económicos y medioambientales de la adopción de las tecnologías, el reparto de costes y beneficios entre agentes, y como garantizar la viabilidad financiera de las inversiones.

10. Resumen y conclusiones

El cambio climático va a suponer un gran desafío para la sostenibilidad de la agricultura y la ganadería, con una demanda de alimentos en expansión por el crecimiento de la población y la renta mundiales. El cambio climático constituye una amenaza no solo para las producciones agrícolas, ganaderas y forestales, sino también para el medio ambiente y los servicios que proveen los ecosistemas.

La ganadería es uno de los principales sectores que emiten gases de efecto invernadero tanto en el mundo (15%) como en Europa (10%), y también genera problemas de contaminación de las masas de agua y de acidificación atmosférica. El proyecto MANEV plantea las distintas tecnologías de gestión de estiércoles para reducir las emisiones GEI, la degradación del agua, y la acidificación. La adopción de estas tecnologías contribuye a la sostenibilidad del sector ganadero y agrícola, al mitigar el cambio climático, mejorar la calidad de los recursos hídricos, y aumentar la eficiencia en el uso de los recursos naturales.

La ganadería en la Unión Europea es un sector importante que genera unos ingresos de 165.000 millones de Euros por la producción de leche (50.000 millones €), y de carnes de porcino (40.000), vacuno (30.000) y ave (20.000). La distribución espacial de las producciones indica las regiones donde debe realizarse un mayor esfuerzo de gestión

de estiércoles. Estas zonas regionales en las que se concentra la producción ganadera son Bélgica-Holanda-Norte de Alemania-Dinamarca; Noroeste de Francia; Noreste de España; Norte de Italia; Irlanda-Oeste de Reino Unido; y Polonia Central.

La ganadería está asociada al uso de los recursos naturales y el medio ambiente, ya que se utilizan los recursos tierra y agua en la alimentación del ganado, que absorbe un gran volumen de la producción agrícola en forma de piensos compuestos, forrajes y pastos. Además, la ganadería en Europa genera 1.400 millones de toneladas de estiércoles que provocan considerables daños medioambientales por la contaminación del suelo, el agua y la atmósfera.

Las principales emisiones GEI de la ganadería son las emisiones de metano y óxido nítrico de los estiércoles, y de metano de la fermentación entérica. La ganadería también contribuye a las emisiones de óxido nítrico que generan los cultivos utilizados en la alimentación animal. Las emisiones GEI de los estiércoles se producen en el almacenamiento y evacuación de los estiércoles, por lo que la carga de emisiones depende de las técnicas de gestión del estiércol. Los estiércoles contaminan las masas de agua provocando eutrofización que daña los ecosistemas y la degradación del agua que se utiliza para abastecimiento urbano. Además el lixiviado de nitrógeno también genera emisiones indirectas de óxido de nitrógeno a la atmósfera.

El volumen de emisiones GEI de la agricultura y la ganadería en Europa es de 460 millones $tCO_2eq/año$ (10% del total). Los principales países emisores son Francia, Alemania, Reino Unido y España. Estas emisiones se dividen entre 240 millones de la producción de cultivos y 220 millones de la ganadería, de los que 73 millones corresponden a la gestión de estiércoles.

Los costes de estas emisiones se han valorado a partir del coste social del carbono cuya estimación es 40 €/tCO₂. Por lo tanto, los daños de las emisiones de la agricultura y la ganadería son 18.400 millones de Euros, lo que justifica la introducción de políticas de mitigación de las emisiones GEI. Los costes GEI de la producción ganadera son 5.900 millones de Euros por la fermentación entérica y 2.900 millones por las emisiones del estiércol.

Una cuestión importante es que los estiércoles podrían utilizarse como abonado orgánico para sustituir una parte de los 11 millones de tN del abonado mineral que se

utilizan en la producción de cultivos en la UE, lo que reduciría considerablemente las emisiones de óxido nitroso.

En algunas regiones como Bélgica-Holanda-Dinamarca, Noreste de Alemania, y Norte de Italia, se observa una enorme densidad de la carga de entrada de nitrógeno en los suelos superior a los 250 kgN/ha. Esta elevada entrada de nitrógeno en los suelos, junto a la contaminación de fuentes puntuales urbanas e industriales, genera una importante contaminación de las masas de agua que alcanza los 4 millones de tN en toda la UE. El daño medioambiental de esta contaminación de nitrógeno en los ríos europeos supone un coste de al menos 5.200 millones de Euros. La ganadería contribuye a esta contaminación de forma directa a través de los estiércoles, y de forma indirecta por la carga de nitrógeno que genera la producción de cultivos para alimentación animal.

El proyecto MANEV tiene como objetivo reducir el impacto medioambiental de la gestión de los estiércoles y promover la sostenibilidad del sector agrícola, mediante la selección e implantación del sistema de gestión de estiércoles más adecuado para una determinada zona. La adopción de un sistema de tratamiento determinado va a reducir la contaminación de GEI en la atmósfera, de nitrógeno en las masas de agua, y de amoníaco a la atmósfera. El potencial de beneficios económicos del proyecto MANEV depende de la adopción de estas tecnologías en el conjunto de regiones y países de la UE.

El objetivo ideal sería que estas tecnologías eliminaran las emisiones GEI de los estiércoles en la UE, lo que supondría unos beneficios potenciales de 2.900 millones de Euros. Además la sustitución del abonado mineral por abonado orgánico podría tener unos beneficios similares o mayores en Europa, ya que los 7 millones tN de abonado orgánico se podrían utilizar para sustituir buena parte de los 11 millones tN de abonado mineral, que generan unos daños de emisiones GEI de 9.600 millones de Euros. El beneficio potencial de eliminar la contaminación de nitrógeno en los ríos europeos es de 5.200 millones de Euros, y una parte de este beneficio se podría conseguir disminuyendo la carga de nitrógeno de los estiércoles que acaba en los cursos de agua. Aunque la carga de nitrógeno de los estiércoles es significativa, es mucho menor que la del abonado mineral junto a las fuentes puntuales urbanas e industriales. Finalmente, el

beneficio potencial de eliminar las emisiones de amoníaco de la ganadería a la atmósfera es de 4.200 millones de Euros.

El proyecto MANEV ha desarrollado una herramienta que facilita la selección de la combinación de tecnologías de gestión de estiércol por los ganaderos y agricultores. Estas tecnologías están basadas en procesos biológicos como la digestión anaeróbica, la nitrificación/desnitrificación y el compostaje que tienen costes elevados de instalación y funcionamiento, y en procesos físicos de separación sólido-líquido que tienen costes menores dependiendo de la escala de operación.

Los ganaderos difícilmente pueden recuperar los costes de inversión y mantenimiento de las tecnologías de reducción de emisiones contaminantes. Como las emisiones son difusas (a diferencia de las emisiones ETS), la reducción de emisiones no es un bien privado que pueda comercializarse en los mercados. Los únicos bienes privados que pueden comercializar los agricultores que invierten en técnicas de gestión de estiércol son la energía generada y los productos fertilizantes, o utilizar la energía y los productos fertilizantes internamente en su explotación. En consecuencia, el ganadero individual difícilmente puede cubrir los costes elevados de las tecnologías de reducción de las emisiones contaminantes.

En función de la selección específica de tecnologías de gestión y de su localización, los ganaderos individuales podrían cubrir los costes, dado el amplio abanico disponible de tecnologías y costes. Una buena alternativa para los ganaderos individuales sería seleccionar las técnicas de gestión que consigan la rentabilidad financiera de la reducción de emisiones. Esta alternativa puede incentivarse mediante las subvenciones que están disponibles en algunos países para la energía generada por los estiércoles.

Otra alternativa consiste en conseguir la colaboración de los agentes implicados para lograr la acción colectiva de reducción de las emisiones. Esto supone la cooperación entre todos los agentes del sector: ganaderos y agricultores individuales, sus asociaciones, las industrias de transformación, organizaciones medioambientales, y autoridades locales, regionales, nacionales responsables de las políticas agraria, medioambiental y de recursos hídricos. El desafío no es sencillo y requiere organizar la utilización del estiércol como abonado orgánico que sustituya al abonado mineral.

El proyecto MANEV es clave para conseguir esta colaboración, ya que pone a disposición de los usuarios y agentes implicados toda la información sobre las tecnologías de gestión de estiércol. Las soluciones deben ser locales y tener viabilidad financiera para cubrir los costes de la combinación de tecnologías seleccionada.

Los resultados del proyecto MANEV tiene una gran relevancia para las políticas europeas. El proyecto contribuye a los objetivos de cambio climático y sostenibilidad del sector que establece la PAC, las directivas IPCC, DMA y Directiva de Nitratos, y la política de Desarrollo Rural 2014-2020.

Se ha realizado un análisis detallado de los beneficios que puede aportar el proyecto en la Comunidad Autónoma de Aragón, examinando como mejorar la gestión de estiércol para reducir las emisiones GEI y la contaminación de las masas de agua.

La producción final del sector agrario en Aragón alcanza los 3.500 millones de Euros, y la aportación de la ganadería supone 2.200 millones. Estas actividades de producción generan unos costes medioambientales de 224 millones de Euros, de los que 140 millones corresponden a las emisiones GEI, 30 millones a la contaminación de los cursos de agua, y 54 millones a las emisiones de amoníaco. La mayor carga de emisiones GEI se localiza en las comarcas donde se concentran los cultivos intensivos de regadío y las cabañas de porcino y vacuno. En relación a las emisiones del manejo del estiércol, las mayores emisiones de óxido nítrico se localizan en las comarcas con alta densidad de bovino de carne, y las de metano en las comarcas con alta densidad de porcino.

Los beneficios del proyecto MANEV vienen dados por la reducción que se consiga en cuatro componentes del coste de la contaminación: i) la reducción de GEI del manejo del estiércol, cuyas emisiones tienen un coste de 81 millones de Euros (72 millones corresponden al metano y 9 al óxido nítrico); ii) la reducción de GEI por la sustitución de abonado mineral por abonado orgánico, cuyas emisiones tienen un coste de 40 millones de Euros; iii) la reducción de contaminación de nitrógeno en los cursos de agua, que tienen un coste de 30 millones de Euros; iv) la reducción de la carga de amoníaco a la atmósfera, cuyas emisiones suponen unos costes de 54 millones de Euros.

La disponibilidad de nitrógeno en los estiércoles alcanza las 90.000 tN de las que 25.000 tN se aplican como abonado orgánico, por lo que quedan 65.000 tN que podrían

sustituir buena parte de las 85.000 tN de abonado mineral de la producción de cultivos. Es decir, una solución a la gestión de estiércol que plantea el proyecto MANEV es lograr la acción colectiva de los agentes del sector para emplear los estiércoles como abonado y cubrir el 80% de las necesidades de los cultivos.

Para analizar esta solución se han seleccionado tres comarcas con elevada densidad de ganado y que tienen una situación crítica de excedente de estiércoles (La Litera, Bajo Cinca y Matarraña). El análisis consiste en plantear una minimización de los costes de transporte de estiércoles como abonado dentro de cada comarca. Los resultados muestran que después de sustituir el abonado mineral, quedan unos grandes remanentes de estiércol que no pueden utilizarse como abonado orgánico.

El proyecto MANEV permite evaluar la combinación de diferentes tecnologías para el tratamiento y su rentabilidad. Algunas tecnologías tienen unos costes elevados de inversión y operación, por lo que es necesario aprovechar las economías de escala, como muestra el ejemplo según la escala de operación de la sección 5. Una alternativa es la agrupación de ganaderos y agricultores con el apoyo del resto de agentes implicados que garantice la puesta en marcha y el reparto equitativo de costes y beneficios

Una cuestión final del análisis detallado en Aragón es la solución de las emisiones de metano y amoníaco de la gestión de estiércoles cuyo costes (72 millones € del metano y 54 millones € del amoníaco) superan ampliamente al coste de las emisiones de óxido nitroso (9 millones €).

El proyecto MANEV facilita el análisis y evaluación de la combinación de tecnologías, en función de los objetivos en cada zona o región. Estos objetivos pueden priorizar distintas alternativas de reducción de emisiones GEI de metano u óxido nitroso, de carga de nitrógeno en los cursos de agua, y de emisiones de amoníaco a la atmósfera.

El proyecto MANEV genera beneficios para la sociedad ya que contribuye a una ganadería y agricultura más sostenible, a la mitigación del cambio climático, a la protección del medio ambiente y del buen estado de los ecosistemas, a la salud de la población, al empleo y al desarrollo rural.

Las herramientas que proporciona el proyecto MANEV son replicables en las zonas ganaderas de los países de la UE, y los resultados de demostración del proyecto pueden ser transferidos a las áreas con especialización ganadera de Europa, en especial a los principales ejes de concentración ganadera Bélgica-Holanda-Norte de Alemania, Noroeste de Francia, Noreste de España, Norte de Italia, Irlanda-Oeste de Reino Unido, y Polonia Central. Pero una cuestión clave es que para lograr la reducción de emisiones es indispensable la cooperación entre ganaderos y agricultores individuales, sus asociaciones profesionales, sindicatos agrarios, asociaciones medioambientales, los grupos de interés de la industria y la distribución, y las autoridades locales, regionales, nacionales y europeas responsables de las políticas públicas agrarias, medioambientales y de los recursos naturales.

Referencias bibliográficas

- Albiac J. 2009. Nutrient Imbalances: Pollution Remains. *Science* 326(5953): 665b.
- Albiac J. y M. Kahil. 2011. Instrumentos de mitigación y adaptación al cambio climático en la agricultura de Aragón. Documento de Trabajo 11/04. Unidad de Economía Agraria. CITA-DGA. Zaragoza.
- Alexandratos N. y J. Bruinsma. 2012. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. Global Perspective Studies Team. FAO Agricultural Development Economics Division. ESA Working Paper No. 12-03. FAO. Roma.
- Brink C., H. van Grinsven et al. 2011. Costs and benefits of nitrogen in the environment. En Sutton M., Howard C., Erisman J. et al. (Eds). *The European Nitrogen Assessment*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Daudén A., M. Teresa, C. Siegler et al. 2011. Proyecto demostrativo de gestión colectiva del purín en Aragón. SODEMASA. Zaragoza.
- European Commission (EC), 2009. Common implementation strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document nº 24, river basin management in a changing climate. Technical report 2009-040. Bruselas.
- European Commission (EC). 2010a. The role of European agriculture in climate change mitigation. Commission Staff Working Document No. 1093. Bruselas.
- European Commission (EC). 2010b. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, The CAP towards 2020: Meeting the food, natural resources and territorial challenges of the future. Bruselas.
- European Commission (EC). 2012. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Blueprint to Safeguard Europe's Water Resources. COM(2012) 673 final. European Commission. Bruselas.
- European Commission (EC), 2013. Principles and recommendations for integrating climate change adaptation considerations under the 2014-2020 programmes. SWD 139 final. Bruselas.

- Eurostat. 2013. Agriculture, forestry and fishery statistics. 2013 edition. Eurostat Pocketbooks. European Commission. Publications Office of the European Union. Luxemburgo.
- Foged H., X. Flotats, A. Blasi, J. Palatsi, A. Magri, K.Schelde. 2011. Inventory of manure processing activities in Europe. Technical Report No I concerning “Manure Processing Activities in Europe” to the European Commission. Directorate-General Environment. European Commission. Bruselas.
- Gerber P., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Falcucci, A., Tempio G. 2013. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO. Roma.
- Gobierno de Aragón. 2009. Directrices Sectoriales sobre Actividades e Instalaciones Ganaderas. Gobierno de Aragón. Zaragoza.
- Iguacel F. 2006. Estiércoles y fertilización nitrogenada. En Andreu J. et al. (Eds.) Fertilización Nitrogenada. Guía de Actualización. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. Zaragoza.
- Leip A., Achermann B., Billen G. et al. 2011. Integrating nitrogen fluxes at the European scale. En Sutton M., Howard C., Erisman J. et al. (Eds). The European Nitrogen Assessment. Cambridge University Press. Cambridge.
- Lesschen J., Van den Berg M, Westhoek H., Witzke H., Velthof G., Oenema O. 2011. Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors. *Animal Feed Science & Technology* 166-167: 16-28.
- Martínez Y. y J. Albiac 2006. Nitrate pollution control under soil heterogeneity. *Land Use Policy* 23: 521-532.
- Nordhaus W. 2008. A Question of Balance. Weighing the Options on Global Warming Policies. Yale University Press, New Haven.
- Orús F. y E. Sin. 2006. El balance de nitrógeno en la agricultura. En J. Andreu et al. (Eds.) Fertilización Nitrogenada. Guía de Actualización. Centro de Transferencia Agroalimentaria. Gobierno de Aragón. Zaragoza.

- Robinson T, Wint G, Conchedda G, Van Boeckel T, Ercoli V, Palamara E, Cinardi G, D'Aiotti L, Hay S, Gilbert M. 2014. Mapping the Global Distribution of Livestock. PLoS ONE 9(5): e96084.
- Seitzinger S., Mayorga E., Kroeze C. et al. 2009. Global river nutrient export trajectories 1970-2050: a Millennium Ecosystem Assessment scenario analysis. Global Biogeochemical Cycles. doi: 10.1029/2009GB003587.
- Smith P., Martino D., Cai Z., Gwary D., Janzen H., Kumar P., McCarl B., Ogle S., O'Mara F., Rice C., Scholes B., Sirotenko O., Howden M., McAllister T., Pan G., Romanenkov V., Schneider U., Towprayoon S., Wattenbach M. y Smith J. 2007. Greenhouse gas mitigation in agriculture. Philosophical Transactions of the Royal Society B 363: 789-813.
- Smith S. y N. Braathen. 2015. Monetary carbon values in policy appraisal: An overview of current practices and key issues. Environment Working Paper No. 92. Environment Directorate. OECD. Paris.
- Stern N. 2007. The economics of climate change. The Stern Review. Cambridge University Press. Cambridge.