

CONTRIBUCIÓN DE LA AGRICULTURA ECOLÓGICA A LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN COMPARACIÓN CON LA AGRICULTURA CONVENCIONAL

Alberto García¹, Mamen Laurín², M José Llosá², Víctor González², M^a José Sanz³, José L Porcuna¹

¹Servicio Sanidad Vegetal, Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación, Valencia, ²Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Apdo 397, Catarroja Valencia, ³Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, Valencia. E-mail: porcuna_jos@gva.es

Resumen

El sistema climático está determinado por un complejo sistema de variables, fundamentalmente por la emisión de combustibles fósiles y otros gases. Esto provoca un calentamiento global de la superficie de la tierra que altera los ciclos naturales de energía, produciéndose graves impactos ambientales. Existe un amplio consenso en que el calentamiento global de la tierra es causado por el aumento de las emisiones antropógenas de distintos Gases de Efecto Invernadero (GEIs). España ha asumido el compromiso de limitar el incremento de las emisiones netas de 6 GEIs al 15 % respecto de lo emitido en el año 1990, que se toma como año base, durante el quinquenio 2008-2012. En el año 2004 el índice anual de las emisiones de España estaba en torno al 145 % que supera en mucho el 115 % comprometido. La agricultura ecológica (AE) puede reducir sensiblemente las emisiones de CO₂ al tratarse de un sistema permanente de producción sostenida, por el ahorro energético que supone el mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante inputs internos (rotaciones, abonos verdes, cultivo de leguminosas, etc.), por la ausencia del uso de fitosanitarios y fertilizantes de síntesis y los bajos niveles de la externalización en la alimentación del ganado. La eficiencia de captación de carbono en sistemas de producción ecológica es de 41,5 t de CO₂ por hectárea, mientras que en los sistemas de producción convencional se reduce a 21,3 t de CO₂ por hectárea.

Palabras clave: Agricultura ecológica, cambio climático, GEI, protocolo de Kioto.

Summary

The contribution of organic farming to the mitigation of the climate change in comparison with conventional farming

The climate system is determined by a complex system of variables, basically by the emission of fossil fuels and other gases. This brings about a global warming of the earth's surface that alters natural energy cycles, thereby causing a serious environmental impact. There is a wide consensus that global warming of the earth is caused by an increase in the culturally induced emissions of different Greenhouse Gases. Spain has undertaken to limit the increase of net emissions of 6 Greenhouse Gases by 15% compared to emissions in 1990, taken as a base year, for the five year period from 2008 to 2012. In 2004, the annual index of emissions in Spain was at around 145% which greatly exceeds the 115% to which Spain had committed. As a permanent system of sustained production, ecological agriculture (EA) can bring about a notable reduction of CO₂, due to the energy savings achieved by maintaining soil fertility using internal inputs (rotations, green manure, cultivation of pulses, etc.), by the absence of plant protection products and synthesis fertilizers and low levels of externalization of cattle feeding. The efficiency of carbon capture in ecological production systems is 41.5t of CO₂ per hectare, whilst in conventional production systems it is reduced to 21.3t of CO₂ per hectare.

KeyWords: Ecological agriculture, climate change, GEG, Kyoto protocol.

Introducción

El sistema climático está determinado por un complejo sistema de variables, que se distorsiona debido a la actividad económica humana no sostenible (fundamentalmente por la emisión de combustibles fósiles y otros

gases). Esto provoca un calentamiento global en el que están involucrados, y cada vez de forma más grave, procesos de deforestación y desertización, la desaparición de la biodiversidad, el agujero de la capa de ozono, la disminución de agua dulce subterránea y de superficie, etc.

El calentamiento global (y desigual) de la superficie

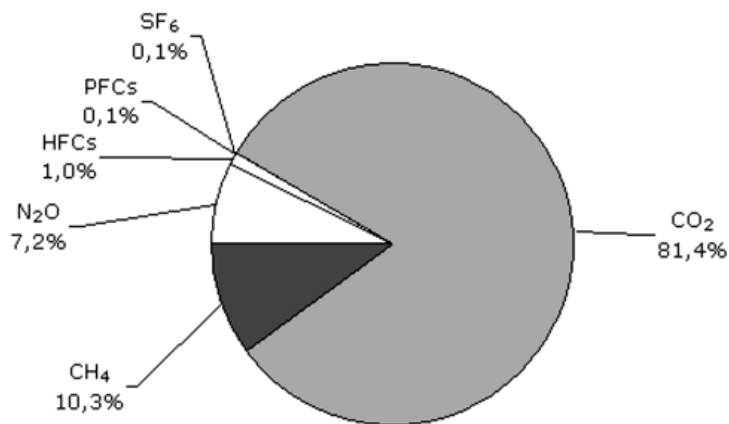


Figura 1. Distribución por gases de las emisiones de España en el año 2002. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.

de la Tierra hace que los ciclos naturales de energía, agua, carbono, oxígeno y nitrógeno se alteren. La variación de uno sólo de estos factores produce un efecto en cadena que realimenta daños e impactos ambientales que, a su vez, aceleran el mismo cambio climático.

Antecedentes

Existe un amplio consenso en que el calentamiento global de la Tierra es causado por el aumento de las emisiones antropógenas de distintos Gases de Efecto Invernadero (GEIs). Estos gases son principalmente: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nítrico (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), y hexafluoruro de azufre (SF₆). Las emisiones comenzaron a aumentar drásticamente en el siglo XIX debido a la Revolución Industrial y los cambios en el uso de la tierra. Muchas actividades que producen GEI resultan hoy esenciales para la economía mundial y forman una parte fundamental de la vida.

La Fig. 1 muestra la contribución de cada gas o grupo a las emisiones totales de España en el año 2002. Si agrupamos los gases por la importancia de sus contribuciones obtenemos tres conjuntos. El CO₂, con más del 80 %, determina en gran medida el total de las emisiones. El grupo del CH₄ y el N₂O, con una cuota del 18 %, se configura como el segundo bloque en importancia. Finalmente aparece el conjunto de los gases fluorados con una contribución inferior al 2 %.

Según datos del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC 2001) la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmósfera ha aumentado de 280 ppm en 1750 a 367 ppm en 1999 (31 % de incremento). La concentración actual de CO₂ no ha sido superada en los últimos 420.000 años y probablemente tampoco en los últimos 20 millones de años, debiéndose este incremento a la oxidación de carbono orgánico por la quema de combustibles fósiles y la deforestación.

Las concentraciones de metano (CH₄) en la atmósfera

han aumentado en un 150 % desde 1750, no habiendo sido superadas en 420.000 años (IPCC 2001). El CH₄ es el GEI más importante en la atmósfera después del vapor de agua y el CO₂ (IPCC 2000) aunque su potencial de calentamiento de la tierra es mucho mayor (Tabla 1) contribuyendo aproximadamente en el 15 % del calentamiento global de la tierra (Bockisch 2000, en Kotschi & Müller-Säman 2004).

Tabla 1. Potencial de Calentamiento de la Tierra (PCT) de los GEI aportados por la agricultura en comparación al CO₂.

| Gas | Período de vida | Potencial de calentamiento de la Tierra (Horizonte en años) | | |
|------------------------------|-------------------|---|----------|----------|
| | | 20 años | 100 años | 500 años |
| CO ₂ | | 1 | 1 | 1 |
| CH ₄ ^a | 12,0 ^b | 62 | 23 | 7 |
| N ₂ O | 114 ^b | 275 | 296 | 156 |

Fuente: IPCC 2001.

a) Los PCT del metano incluyen una contribución indirecta de la producción de H₂O y O₃ estratosféricos.

b) Los valores para el metano y el óxido nítrico son tiempos de ajuste, que incorporan los efectos indirectos de la emisión de cada gas en su propio período de vida.

La concentración de óxido nítrico (N₂O) en la atmósfera ha aumentado en un 16 % desde 1750, siendo la tendencia actual a seguir aumentando (en un 0,25 % desde 1980 a 1998) (IPCC 2001). Su potencial de calentamiento de la Tierra es aún mayor que la del metano (Tabla 1).

Las investigaciones desarrolladas por científicos de todo el mundo, reunidos en el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC, apuntan que los cambios en el clima pronosticados pueden llevar a transformaciones negativas e irreversibles en los sistemas de la tierra. De acuerdo con el IPCC (2001), la temperatura media global se ha incrementado alrededor de 0.6 °C a lo largo de los últimos cien años, siendo el incremento en España superior al promedio europeo, de 0.95 °C (AEMA). Globalmente, la década de los 90 fue la más cálida de las registradas y 1998 el año más cálido. El incremento de temperatura es sólo uno de los indicios del cambio climático, que viene acompañado de otros

fenómenos colaterales, entre los que destaca: el aumento del nivel de los océanos, la modificación en el patrón de los vientos, la cantidad y frecuencia de precipitaciones, y la mayor incidencia de fenómenos meteorológicos extremos (OECC).

El cambio climático y sus repercusiones para la vida han llevado a que se establezca a escala mundial una Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC 1992) que ha sido ratificado por 174 países. Dicha Convención, reconoce por primera vez, en términos políticos y jurídicos, la existencia del problema del cambio climático y la contribución de las actividades humanas al mismo. Establece, como objetivo último, lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático.

La Convención recoge los siguientes compromisos básicos:

- Compromisos generales para todos los países: elaboración de inventarios de emisiones; puesta en marcha de programas de contención de emisiones y de adaptación; cooperación al desarrollo; transferencia de tecnología y fomento de la investigación, educación y sensibilización.
- Compromisos específicos para los países desarrollados: adoptar medidas para limitar emisiones y proteger sumideros; informar regularmente de las medidas adoptadas y proporcionar recursos financieros a los países en desarrollo; así como facilitar la transferencia de tecnologías limpias.

Uno de los resultados de esta Convención es el denominado "Protocolo de Kioto", documento que establece acciones concretas para la reducción de los gases de efecto invernadero. En virtud del Artículo 3.1 del Protocolo de Kioto, 38 países desarrollados y aquellos en transición a una economía de mercado (Las Partes en el Anexo

I del Protocolo) adquieren el compromiso de reducir en un 5,2 % anual las emisiones antropógenas de los GEI en el período que va de 2008 a 2012. Esta reducción hace referencia a las emisiones según prácticas habituales en 1990 para CO_2 , N_2O y CH_4 , y 1995 para los HFCs, PFCs y SF_6 . Para lograr este objetivo y de acuerdo con el principio de responsabilidades comunes y diferenciadas, a cada país desarrollado se le asigna una cuota de reducción (p.e. EEUU (-7 %), Japón (-6 %), UE (-8 %)). A su vez la UE ha redistribuido su objetivo entre los Estados Miembros, según su nivel de desarrollo económico. En este reparto que se conoce como "burbuja comunitaria", a España le corresponde un incremento de un más 15 % (España debe conseguir la estabilización de las emisiones de GEIs en el 115 % de los niveles de 1990). En marzo de 2000 la Comisión puso en marcha el Programa Europeo sobre el Cambio Climático (PECC) con el objetivo de cumplir este compromiso.

En la Fig. 2, podemos observar las emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas en CO_2 equivalente, desde el año base 1990 hasta el 2004 y el nivel de estabilización de las emisiones al que España se ha comprometido (115 %).

Distintas disposiciones del Protocolo de Kioto (Artículos 3.3, 3.4, 3.7, 6 y 12) establecen la posibilidad de tener en cuenta las actividades forestales, agrícolas y silvícolas para el cumplimiento de sus compromisos. Por el Artículo 3.4 del Protocolo de Kioto, el secuestro de carbono en los suelos agrícolas puede ser contabilizado en el balance total de CO_2 . Esta captura se traduce en créditos de carbono que tendrán un precio y que podrán ser comercializados durante el periodo de cumplimiento del Protocolo.

Los Acuerdos de Bonn (UNFCC 2001a) y Marrakesh (UNFCC 2001b), adoptados por los países participantes en la UNFCCC, clarifican la aplicación del Artículo 3.4 del Protocolo de Kioto y establecen directivas vinculantes para contabilizar e informar sobre los sumideros agrícolas y forestales de carbono.

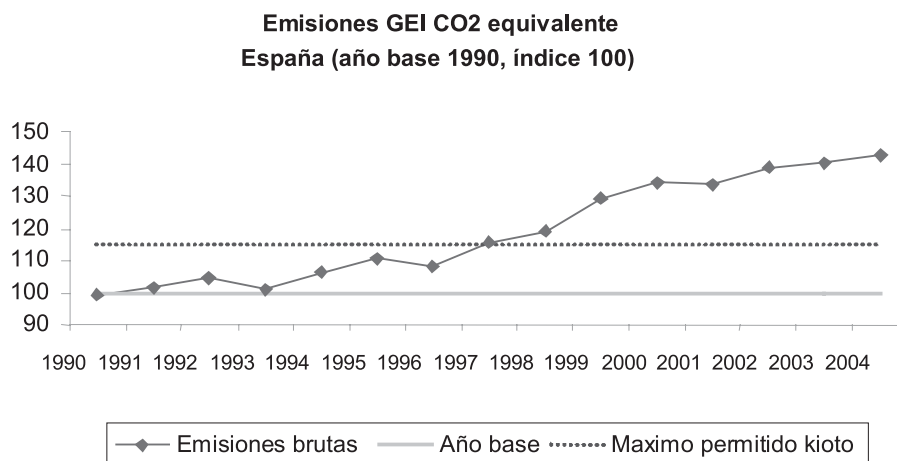


Figura 2. Emisiones de GEI CO_2 equivalente en España. Fuente: Worldwatch 2004.

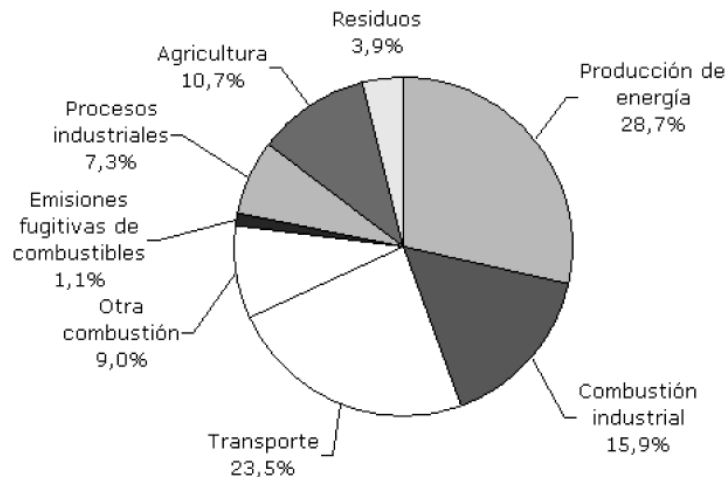


Figura 3. Distribución por sectores de las emisiones de España en el año 2002. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.

Agricultura y cambio climático

La agricultura representa la mayor proporción de uso de tierra por el hombre y es una fuente importante de emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero.

Los distintos ecosistemas terrestres actúan como fuentes de emisión y como sumideros de dióxido de carbono (CO_2), óxido nítrico (N_2O) y metano (CH_4), jugando un importante papel en el balance total de los mismos y, por tanto, en el calentamiento global de la Tierra (Fig. 3). La agricultura es la principal fuente de emisión de CH_4 y N_2O , y en menor medida aunque también importante, de CO_2 . Las prácticas agrícolas intensivas, como la cría de ganado, el cultivo de arroz, y el uso de fertilizantes emiten más del 50% del metano proveniente de actividades humanas y gran parte del óxido nítrico. Se piensa que el aumento del 31% de CO_2 atmosférico desde 1750 es el responsable del 60% del calentamiento inducido por los GEIs (Malhi *et al.* 2002); el N_2O contribuye en un 6% (IPCC 2001) y el metano en aproximadamente el 15% (Bokisch 2000, en Kotschi & Müller-Säman 2004). Se estima que las tierras de cultivo han sido responsables del 15% del total de emisiones de GEIs durante la década de los 90 (Cole *et al.* 1997).

En la Unión Europea, las principales fuentes de emisión de GEIs en agricultura son N_2O debido básicamente al uso de abonos nitrogenados, N_2O y CO_2 procedente de los suelos ricos en materia orgánica (p.e. arrozales y turberas), N_2O y CO_2 procedentes de la fermentación intestinal y CH_4 y N_2O procedentes del manejo de estiércoles (ECCP 7 – Agriculture 2001). Esta misma fuente cita que las emisiones procedentes de la agricultura en la UE-15 fueron el 41% del total de emisiones de CH_4 y el 51% de las de N_2O en 1990. Incluyendo las emisiones de CO_2 , el 11% del total de emisiones de GEIs en 1990 pueden ser atribuidas al sector agrario (ECCP 7 – Agriculture 2001).

Aunque el potencial de calentamiento de la tierra del CO_2 es relativamente bajo (Tabla 1) sus altas concentraciones en la atmósfera le convierten en el GEI que más

influye en el calentamiento global del planeta, de manera que con frecuencia las emisiones globales de GEIs se expresan como CO_2 equivalente (calculadas por su potencial de calentamiento). Según datos del Ministerio de Medio Ambiente (MMA 2004) en España el 80% del total de GEIs emitidos, expresados como CO_2 equivalente, correspondieron al dióxido de carbono, seguido del metano (11%) y por el óxido nítrico (8%). La contribución de la agricultura a las emisiones de GEIs en 2002 fue de un 10,67% (MMA 2003), ocupando el segundo lugar después del sector de la Energía.

El cambio climático afectará a la agricultura, a las actividades forestales y a la pesca de formas complejas, tanto positivas como negativas. Se puede esperar que las concentraciones globales de dióxido de carbono en la atmósfera aumenten de 350 ppm a 400 ppm para 2030. El CO_2 hace que los estomas de las plantas se estrechen, por lo que se reducen las pérdidas de agua y mejora el rendimiento en el uso de agua. El aumento en las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera también estimulará la fotosíntesis y tendrá un efecto fertilizante en numerosos cultivos.

Se prevé que las temperaturas globales medias aumenten entre 1,4 y 5,8 °C para 2100. En el año 2030 el incremento será bastante inferior a éste, entre 0,5 y 1 °C. El aumento será mayor en latitudes templadas. En éstas, el calentamiento global puede aportar beneficios para la agricultura. Las superficies adecuadas para cultivo aumentarán, la duración del período de cultivo aumentará, los costos de proteger el ganado durante inviernos largos disminuirán, los rendimientos de los cultivos mejorarán y los bosques pueden crecer con mayor rapidez. Sin embargo, estas ganancias pueden verse reducidas por la pérdida de algo de tierra fértil por inundación, especialmente en las llanuras costeras.

En zonas peor dotadas de agua, especialmente en los trópicos, el aumento de las temperaturas aumentará las pérdidas por evapotranspiración y reducirá los niveles de humedad del suelo. Algunas zonas cultivadas se harán in-

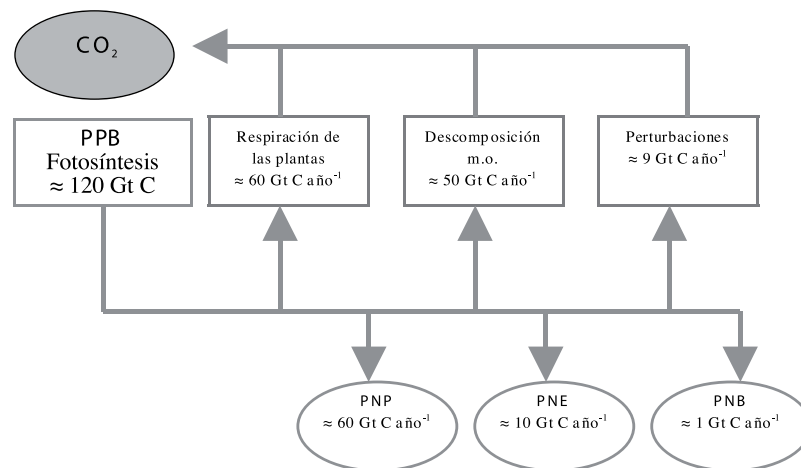


Figura 4. Potencial de captación de carbono por la biosfera. Fuente: IPCC 2000.

adecuadas para el cultivo y algunas de las zonas de pastos tropicales pueden hacerse cada vez más áridas.

El aumento de la temperatura también hará que aumente la gama de insectos dañinos para la agricultura e incrementará la capacidad de supervivencia de las plagas durante el invierno, que atacarán los cultivos de primavera. En los océanos, el aumento de la temperatura puede reducir el desarrollo del plancton, decolorar los arrecifes de coral y perturbar las pautas de crianza y alimentación de los peces. Las especies de agua fría, como el bacalao, pueden ver reducida su gama.

Unas temperaturas globales más altas también harán que aumente la pluviosidad. Sin embargo, las precipitaciones no se distribuirán de la misma manera entre las distintas regiones. De hecho, está previsto que en algunas zonas tropicales como el Asia meridional y el norte de América Latina reciban menos precipitaciones que antes.

También se espera que el clima se haga más variable que en la actualidad, con aumentos de la frecuencia y gravedad de acontecimientos extremos como ciclones, inundaciones, tormentas de granizo y sequías. Esto provocará mayores fluctuaciones en los rendimientos de los cultivos y en la oferta local de alimentos, así como mayores peligros de desprendimientos de tierras y daños por erosión.

Se espera que el nivel medio del mar aumente de 15 a 20 cm para 2030, y 50 cm para 2100. El aumento provocará la pérdida de tierras bajas por inundación, infiltración de agua de mar y mareas a causa de tormentas. El asentamiento debido a una extracción excesiva de aguas subterráneas puede exacerbar el problema de la infiltración en algunas zonas. También se producirán daños en los cultivos de hortalizas y en la acuicultura en zonas bajas y en pesquerías que dependan de manglares para sus terrenos de desove. Los efectos serán más graves en zonas costeras, especialmente en deltas densamente poblados y utilizados para la agricultura, del tipo de los que se encuentran en Bangladesh, China, Egipto y la India y las tierras continentales de Asia me-

ridional. Sólo en la India, las pérdidas para 2030 pueden alcanzar la cifra de 1.000 a 2.000 km^2 , lo que provocará la destrucción de 70.000 a 150.000 medios de existencia.

Todavía hay incertidumbres considerables en la mayoría de las proyecciones. El efecto global sobre la producción de alimentos en 2030 será probablemente pequeño: por ejemplo, está previsto que los rendimientos de cereales disminuyan aproximadamente el 0,5 % para el decenio de 2020. Pero habrá grandes variaciones regionales: se piensa que es posible un aumento de los rendimientos en las regiones templadas; en el Asia oriental, el Sahel y el África meridional el resultado podría ser positivo o negativo; en otras regiones en desarrollo lo más probable es que se produzca una disminución de los rendimientos. En todos estos casos, el cambio potencial de los rendimientos es del 2,5 % o menos, hacia arriba o hacia abajo, para 2030 y del 5 % o menos para 2050.

Dióxido de carbono

El carbono se intercambia de forma natural entre los ecosistemas terrestres y la atmósfera por medio de la fotosíntesis, la respiración, la descomposición y la combustión. Esto constituye el ciclo del carbono. El potencial de secuestro de la biosfera terrestre en la captación de carbono queda resumida en la Fig. 4. La Producción Primaria Bruta (PPB) es la absorción de carbono atmosférico por las plantas como consecuencia de la fotosíntesis (aproximadamente $120 \text{ Gt C a año}^{-1}$). Las pérdidas como consecuencia de la respiración de las plantas da como resultado la Producción Neta Primaria (PNP, aprox. $60 \text{ Gt C a año}^{-1}$). Posteriores pérdidas debido a la descomposición de la materia orgánica (aprox. $50 \text{ Gt C a año}^{-1}$) reducen esta captación en la denominada Producción Neta de Ecosistema (PNE, aprox. $10 \text{ Gt C a año}^{-1}$). Nuevas pérdidas se producen como consecuencia de distintas perturbaciones como incendios, erosión, plagas y actividades humanas. El balance total resultante de los ecosistemas terrestres puede ser interpretado como la

Tabla 2. Estimaciones globales de fuentes recientes de emisión de CH₄ y N₂O que están influenciadas por las actividades de uso de la tierra (Prather *et al.* 1995, en IPCC 2000).

| Fuentes de CH ₄ | Mt CH ₄ año ⁻¹ | Gt C-eq año ^{-1 a b} |
|--|--------------------------------------|-------------------------------|
| Ganadería (fermentación intestinal y residuos) | 110 (85-130) | 0.6 (0.5-0.7) |
| Arrozales | 60 (20-100) | 0.3 (0.1-0.6) |
| Quema de biomasa | 40 (20-80) | 0.2 (0.1-0.5) |
| Humedales naturales | 115 (55-150) | 0.7 (0.3-0.9) |
| Fuentes de N ₂ O | Mt N año ⁻¹ | Gt C-eq año ^{-1 a c} |
| Tierras de cultivo | 3.5 (1.8-5.3) | 0.9 (0.5-1.4) |
| Quema de biomasa | 0.5 (0.2-1) | 0.1 (0.05-0.3) |
| Ganadería | 0.4 (0.2-0.5) | 0.1 (0.05-0.13) |
| Suelos de bosques tropicales | 3 (2.2-3.7) | 0.8 (0.6-1) |
| Suelos de las sabanas | 1 (0.5-2) | 0.3 (0.1-0.5) |
| Suelos de bosques templados | 1 (0.1-2) | 0.3 (0.03-0.5) |
| Prados naturales zonas templadas | 1 (0.5-2) | 0.3 (0.1-0.5) |

^a 12 Gt C-equivalente = 44 Gt CO₂-equivalente.

^b Emisiones de carbono-equivalente basadas en un Potencial de Calentamiento Global del CH₄ de 21.

^c Emisiones de carbono-equivalente basadas en un Potencial de Calentamiento Global del N₂O de 310.

Fuente: IPCC 2000.

Producción Neta de la Biosfera (PNB) que actualmente supone $0,7 \pm 1$ Gt C año⁻¹ (IPCC 2000).

La biosfera terrestre en su conjunto ha ganado carbono durante los años ochenta y noventa, es decir, que el CO₂ liberado por los cambios en el uso de la tierra (deforestación, fundamentalmente) fue más que compensado por otras zonas de absorción (IPCC 2001). El carbono es almacenado por la biosfera tanto en forma de vegetación como en forma de carbono orgánico en el suelo. Los bosques son los principales sumideros de este carbono. El secuestro de CO₂ por los ecosistemas vegetales terrestres constituye un componente importante en el balance global de carbono. En el caso de la agricultura es el aumento de carbono en el suelo la forma más efectiva de captar carbono de una forma más o menos permanente. Otra de las formas más efectivas es la producción de biofuel que sustituyan el uso de combustibles fósiles (Sanz 2002).

España ha asumido el compromiso de limitar el incremento de sus emisiones netas (emisión menos absorción) de 6 gases de efecto invernadero al 15 % respecto de lo emitido en el año 1990, que se toma como año base, durante el quinquenio 2008-2012. Es importante destacar que el compromiso de Kioto se refiere a las emisiones netas, por lo que habrá que tener en cuenta el papel de los bosques como sumideros de carbono y la utilización de los mecanismos de flexibilidad para calcular el balance neto de las emisiones de España. En el año 2004 el índice anual de las emisiones de España estaba en torno al 145 % que supera en mucho el 115 % comprometido, con lo que la situación es complicada y no resulta nada fácil de resolver.

El uso de la tierra, los cambios en este uso y la silvicultura

(sector UTCUTS) son los principales factores que modifican las fuentes y sumideros terrestres de carbono (Tabla 2). A escala mundial, se estima que un tercio del incremento del CO₂ atmosférico desde 1850 proviene de los cambios en el uso de la tierra, fundamentalmente la tala de bosques para su conversión a tierras de cultivo (de Sherbinin 2002).

También la agricultura itinerante, las explotaciones madereras (Kotschi & Müller-Säman 2004) y la intensificación de la agricultura (Mahli *et al.* 2002) son citados como factores de cambio que han aumentado asimismo las emisiones de CO₂ a la atmósfera. En los sistemas agrícolas, las pérdidas del carbono del suelo se deben fundamentalmente al laboreo. Adecuadas prácticas agrícolas como el manejo del riego o diferentes sistemas de fertilización pueden aumentar los depósitos de carbono en el suelo. En cualquier caso, sigue habiendo grandes incertidumbres relacionadas con el cálculo del CO₂ liberado debido a los cambios en el uso de la tierra.

Las tierras de cultivo suponen el 5,7 % de los stocks globales de carbono en la vegetación y en el suelo (hasta 1 metro de profundidad) (WBGU 1998). La mayoría de estas tierras presentan elevadas tasas de captación de carbono, pero mucha de la ganancia se exporta en forma de productos agrícolas y restos de cultivos, siendo rápidamente liberada a la atmósfera. Si bien el carbono es de nuevo capturado en la posterior campaña, muchos suelos de uso agrícola son actualmente fuentes netas de emisión de carbono (IPCC 2000). La agricultura ecológica es reconocida como un sistema de cultivo que puede revertir dicha situación (ECCP 2004a).

Globalmente, los depósitos de carbono en el suelo superan los de la vegetación (en tierras de cultivo 128 frente

a 3 Gt C según WBGU (1998)) por lo que los cambios en los depósitos de carbono del suelo son por lo menos tan importantes como los cambios que se puedan producir en los depósitos en la vegetación. De acuerdo con las estimaciones aportadas por el Grupo de Trabajo sobre Sumideros de Carbono y Agricultura (ECCP 2004b), el potencial de fijación de CO₂ de los suelos agrícolas en la EU-15 es de 60 a 70 Mt al año, lo que supone del 1,5 al 1,7 % de las emisiones antropogénicas de CO₂ y constituiría el 19-21 % de la reducción total de 337 Mt de CO₂ año⁻¹ a la que se ha comprometido la UE-15 para el periodo 2008-2012. Por tanto, el potencial de absorción del sector agrario puede contribuir de forma significativa en el cumplimiento del compromiso de reducción de GEIs del 8 %.

La configuración de una bolsa de carbono aplicada a los diferentes usos de la tierra supondría poder contabilizar las fuentes de emisión y sumideros potenciales terrestres y ayudaría a identificar otros sumideros cuya capacidad se podría incrementar mediante un manejo adecuado. Al mismo tiempo, a escala nacional, esta bolsa se incluiría como parte del inventario de GEI que cada país firmante del Convenio Marco sobre el Cambio Climático está obligado a elaborar anualmente (Steffen *et al.* 1998).

Metano y óxido nitroso

Las fuentes emisoras del metano atmosférico son tanto naturales (p.ej. humedales.) como inducidas por el ser humano (p.ej. agricultura, actividades de gas natural y vertederos.). Según Ahlgrimm & Gaedeken (1990, en Kotschi & Müller-Säman 2004) dos terceras partes de las emisiones totales de CH₄ son de origen antropógeno y la mayoría provienen de la agricultura.

Aunque parecen haberse identificado los principales contribuyentes al balance mundial del CH₄, la mayoría de ellos son bastante inciertos cuantitativamente, por la dificultad de evaluar los índices de emisión de fuentes muy variables en la biosfera. El suelo se considera el único sumidero significativo de CH₄ (Mosier *et al.* 1993), estimándose que la concentración atmosférica sería el doble sin este sumidero (Ojima *et al.* 1993).

Como en el caso anterior, el N₂O es un GEI con fuentes de emisión naturales y antropógenas. Aunque también son considerables las incertidumbres en cuanto a las emisiones de fuentes individuales, según el IPCC (2001) se estima que el 41 % de las emisiones de óxido nitroso son de origen antropógeno, y por lo menos el 60 % de las emisiones brutas globales de N₂O evolucionan desde los suelos (Prather *et al.* 1995, en Langeveld *et al.* 1997) provenientes de la transformación microbiana del amonio a nitrato (nitrificación) y de nitrato a N₂ (desnitrificación). Por tanto, la fertilización nitrogenada (orgánica y mineral) y el nitrógeno fijado por las leguminosas aumentan las emisiones de N₂O (Bouwman 1990, Houghton *et al.* 1992).

La mitigación del cambio climático

Modelos de desarrollo distintos dan como resultado

emisiones de gases de efecto invernadero muy diferentes. Los escenarios de mitigación evaluados por el IPCC sugieren que el tipo, magnitud, calendario y costes de la mitigación dependen de las circunstancias socio-económicas nacionales, de las opciones tecnológicas y del nivel deseado de estabilización de la concentración de GEIs en la atmósfera.

Las políticas de mitigación del cambio climático pueden ayudar a promover el desarrollo sostenible, siempre que sean consistentes con unos objetivos sociales más amplios. Algunas acciones pueden dar lugar a beneficios extensivos a campos como: la salud humana; el empleo; la protección de los bosques, los suelos y las aguas; la innovación tecnológica, entre otros.

Las diferencias en la distribución de los recursos (tecnológicos, naturales y financieros) entre naciones y regiones, así como las diferencias en los costes, son cuestiones clave en el análisis de las opciones de mitigación, así como en el debate sobre la diferente contribución de los países. Los escenarios de estabilización de GEIs evaluados en el tercer informe del IPCC asumen que los países desarrollados y aquellos con economías en transición serán los primeros en limitar y reducir las emisiones.

Opciones para limitar o reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover los sumideros de CO₂

Desde la realización del segundo informe del IPCC, en 1995, se han producido progresos tecnológicos significativos y a una velocidad mayor de la que se anticipaba. Las posibilidades tecnológicas para reducir las emisiones son en la actualidad significativamente más amplias.

Entre las novedades que mejoran la capacidad de respuesta humana ante el problema podemos citar la mejora de la eficiencia y la gestión energética, el cambio a los combustibles de biomasa y con bajo contenido en carbono, las energías renovables, las tecnologías de emisión cero, la reducción de subproductos industriales y el almacenamiento subterráneo de dióxido de carbono.

Los bosques, tierras agrícolas y otros ecosistemas terrestres ofrecen un potencial de mitigación significativo. El "almacenamiento" del carbono por la vegetación de estas zonas puede dar tiempo, además, para que se desarrollen y pongan en marcha otras opciones. Este tipo de mitigación que podemos llamar biológica, puede seguir tres estrategias: (a) la conservación de las reservas de carbono ya existentes, (b) la fijación de carbono por aumento de las mismas, y (c) la promoción de productos biológicos producidos de manera sostenible, p.e., la madera, en vez de materiales de construcción que requieren fuertes gastos energéticos en su elaboración, o la biomasa en lugar de algunos combustibles fósiles.

La mayoría de las previsiones indican que las opciones tecnológicas conocidas podrían conseguir un amplio margen de niveles de estabilización del CO₂ atmosférico, pero la puesta en marcha de las mismas requiere cambios socio-económicos e institucionales. Los cam-

bios en las normas colectivas y en los comportamientos individuales pueden tener efectos significativos sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los modelos actuales incentivan la producción y el consumo intensivo de recursos, por ejemplo en los sectores de la construcción y el transporte, que a su vez aumentan la emisión de gases de efecto invernadero. Pero es posible, a través del aprendizaje social y los cambios de la estructura institucional, combinados con la innovación tecnológica, hacer contribuciones relevantes a la mitigación del cambio climático mediante una transformación hacia sistemas y hábitos sostenibles.

La FAO propone las siguientes medidas para reducir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero:

- Eliminar subvenciones e introducir impuestos medioambientales en el uso de fertilizantes químicos y energía.
- Mejorar la eficacia del uso de fertilizantes.
- Desarrollar variedades de arroz que emitan menos metano.
- Mejorar la gestión de los residuos del ganado.
- Restaurar tierra degradadas.
- Mejorar la gestión de los residuos de los cultivos.
- Expandir la explotación agroforestal y la reforestación.

El papel de la agricultura ecológica en la mitigación de GEIs

La agricultura ecológica contribuye al ciclo de carbono de diversas formas: cerrando los ciclos de nutrientes (incluyendo la ganadería en sistemas agrícolas), autoabasteciendo de recursos e insumos y utilizando recursos locales; manteniendo las características físico-químicas de los suelos; reduciendo la erosión gracias a la utilización de cubiertas vegetales y setos; utilizando un mayor porcentaje de fuentes energéticas renovables y un menor consumo directo de combustible fósil (maquinaria y mano de obra) e indirecto (evita usar productos que requieren alto coste energético en su fabricación como fertilizantes de síntesis, herbicidas, pesticidas, alimentos para animales, ...)

Además su contribución al medio ambiente es mucho más extensa, ya que conserva la biodiversidad (flora, fauna y microorganismos del suelo), la calidad del agua (menor contaminación por nitratos, fósforo y pesticidas, menor coste energético de recuperación de aguas para su reutilización), menores emisiones de óxido nitroso y dióxido de carbono, importante eficiencia energética en ciertos tipos de sistemas, mejor balance de nutrientes en la superficie del suelo, menor generación de residuos y embalajes y no utiliza sustancias que dañen la capa de Ozono.

La agricultura ecológica puede reducir sensiblemente las emisiones de CO₂ al tratarse en primer lugar de un sistema permanente de producción sostenida, evitando el obligado desplazamiento de cultivos por agotamiento

del suelo (Kotschi & Müller-Säman 2004). Asimismo, en sistemas intensivos agrícolas, el uso de combustibles fósiles en el balance energético es significativamente mayor en la agricultura convencional (utiliza un 50 % más de energía según Mäder *et al.* 2002). Esto es así debido fundamentalmente al ahorro energético que supone el mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante inputs internos (rotaciones, abonos verdes, cultivo de leguminosas, etc.), la ausencia del uso de fitosanitarios y fertilizantes de síntesis y los bajos niveles de la externalización en la alimentación del ganado.

Esto es así, debido a que en agricultura ecológica la fertilidad del suelo se mantiene a través de insumos internos (estiércol, producción de leguminosas, amplias rotaciones de cultivo, etc.). Por otro lado, se reduce la energía necesaria para producir fertilizantes químico-sintéticos y agentes de protección de plantas, a los que se renuncia en esta agricultura. Por último, se limita el uso de alimentos animales externos que en muchas ocasiones son transportados desde largas distancias antes de ser consumidos.

Ello tiene como consecuencia que los métodos de agricultura ecológica, ofrecen un balance energético más favorable, en casi todos los casos (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación en el uso de energía en sistemas agrícolas ecológicos y convencionales.

| País y cultivo | Uso de energía Ratio de ecológica a convencional (%) | % aumento en la energía requerida para un 1 % de aumento de cosecha en sistemas convencionales |
|--------------------|--|--|
| Reino Unido | | |
| Trigo de invierno | 38 | +3.5 |
| Patata | 49 | +4.9 |
| Zanahoria | 28 | +1.6 |
| Brócoli verde | 27 | +4.2 |
| EEUU | | |
| Trigo | 68 | +1.7 |
| Filipinas | | |
| Arroz | 33 | +7.2 |

Fuente: Kotschi & Müller-Säman (2004), Pretty & Ball (2001, adaptado de Pretty 1995), Cormack & Metcalfe (2000).

Por lo que respecta al secuestro de dióxido de carbono en suelo y vegetación, el IPCC (2000) reconoce que la mejora del uso de las tierras de cultivo puede suponer significativas ganancias en la captación de carbono. El Grupo de Trabajo sobre Sumideros y Agricultura del Programa Europeo sobre Cambio Climático (ECCP 2004a) concede a la agricultura ecológica un potencial de captación de CO₂ de 0 a 1,98 toneladas por ha y año, dependiendo de las prácticas aplicadas.

Diferentes experimentos de largo plazo ofrecen evidencia de que la adición regular de materiales orgánicos al suelo, es la única vía para mantener o incrementar el carbono orgánico en el suelo. El desarrollo sistemático de tecnolo-

Tabla 4. Medidas para incrementar los stocks de carbono en los suelos agrícolas y tasas de secuestro potencial de carbono ($\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ y año}^{-1}$) (ECCP 2004a).

| Medida | Tasa de secuestro potencial de carbono en el suelo ($\text{t CO}_2 \text{ ha}^{-1} \text{ y año}^{-1}$) | Grado de incertidumbre estimada (%) | Referencia /reseñas |
|-------------------------|---|-------------------------------------|---------------------|
| No laboreo | 1.42 | >50 | 1,2 |
| Laboreo reducido | <1.42 | >>50 | 3 |
| Reservas naturales | <1.42 | >>50 | 4 |
| Estiércol | 1.38 | >50 | 1 |
| Restos de cultivos | 2.54 | >50 | 1 |
| Compostaje | ≥ 1.38 | >>50 | 5,6 |
| Rotaciones mejoradas | >0 | Muy alto | 7 |
| Fertilización | 0 | Muy alto | 8 |
| Riego | 0 | Muy alto | 8 |
| Cultivos bioenergéticos | 2.27 | >>50 | 1 |
| Extensificación | 1.98 | >>50 | 1 |
| Agricultura ecológica | 0-1.98 | >>50 | 9 |

1. Smith *et al.* (2000); valores calculados por hectárea usando el contenido medio de carbono de suelos de cultivo (hasta 30 cm) de 53 t C ha^{-1} ; Vleeshouwers & Verhagen (2002). Según algunos expertos, la acumulación de carbono que resulta del no-laboreo está sobrestimado en la bibliografía, algunos datos aportados como argumentos no parecen fiables, por lo tanto, en este caso el secuestro es muy dudoso.
2. Incerteza estimada a partir del 95 % del intervalo de confianza sobre la media – incerteza estadística solo de la media; la incerteza real es mayor.
3. Estimado de los documentos revisados en Smith *et al.* (2000).
4. Se asume el mismo dato que en el no-laboreo de Smith *et al.* (2000).
5. Se asume que es el mismo dato que el estiércol de Smith *et al.* (2000).
6. Los valores de secuestro están basados en una aportación de $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ y año}^{-1}$. Mayores aportaciones conllevan mayores tasas de secuestro. El factor limitante de las aportaciones de compost es la cantidad que se puede producir para una determinada zona.
7. Mínima influencia en los documentos revisados en Smith *et al.* (2000).
8. La ganancia neta de carbono en el caso del riego y la fertilización aparece como insignificante o negativa cuando se tiene en cuenta el carbono emitido en la fabricación de los fertilizantes y en el bombeo del agua (Schlesinger 1999).
9. La AE está en expansión en Europa, pero esta modalidad de cultivo incluye una combinación de prácticas como la extensificación, la mejora de las rotaciones, la incorporación de restos de cultivo o el uso generalizado de estiércol. Todo ello contribuye a un mayor secuestro de carbono en diferente medida según el grado de aplicación de cada práctica. Por el contrario, la eliminación mecánica de la flora adventicia puede incrementar las necesidades de laboreo. Por tanto, es imposible dar una cifra para el potencial de secuestro de la agricultura ecológica. En este caso, se ha optado por dar los potenciales más bajo y más alto estimados.

Fuente: ECCP 2004a.

gías de fertilización orgánica ha sido una de las principales preocupaciones de la agricultura ecológica desde hace varias décadas en el que se han alcanzado resultados interesantes. Los elementos clave de este desarrollo han sido: a) la optimización de la cantidad y la aplicación de estiércoles, cuyos elementos básicos han sido la integración de la producción agrícola vegetal y animal y el reciclaje sistemático de desperdicios orgánicos; b) la mejora de las técnicas de elaboración o procesado de residuos orgánicos para obtener una alta calidad de estiércol. A través del compostaje de residuos animales y vegetales se minimizan las pérdidas en los procesos de humidificación, obteniéndose una alta proporción de humus sólido.

Por último, las rotaciones largas y diversificadas, así como el cultivo de leguminosas, característico de la agricultura ecológica, contribuyen también a incrementar el carbono orgánico del suelo.

En la tabla 4 se incluyen algunas de las medidas que pueden incrementar las tasas de secuestro de carbono en los suelos de uso agrícola.

El principio básico de la agricultura ecológica de ajuste de nutrientes y ciclos de energía mediante el manejo de la materia orgánica en el suelo le da a esta modalidad de cultivo un particular potencial de captación. Por ejemplo, hay un amplio consenso en que el incremento de los niveles de materia orgánica en el suelo (mayor capacidad de captación de C, además de mayor capacidad productiva) puede ser logrado a través de aportaciones regulares de estiércol y reincorporación de restos de cultivos, empleo de abonos verdes y rotaciones con leguminosas (Coleman *et al.* 1997; Kätterer & Andren 1999, Leigh & Jhonston 1994). Asimismo, la aplicación exclusiva de fertilizantes nitrogenados de síntesis contribuye con frecuencia al incremento de los procesos de oxidación de la materia orgánica y en consecuencia a incrementar las pérdidas de carbono orgánico del suelo (Kotschi & Müller-Säman 2004).

También las técnicas de no laboreo, mínimo laboreo o laboreo de conservación, aconsejadas y empleadas en agricultura ecológica, reduce los procesos de oxidación y, en

consecuencia, la liberación de CO_2 a la atmósfera (Heenan *et al.* 2004).

Según Raupp (2001) después de un ensayo de 18 años, los suelos con diferentes abonados a base de estiércol presentaban de 3 a 8 t/ha de C más que aquellos fertilizados con abonos minerales. Otros estudios citados por Kotschi & Müller-Säman (2004) (Bachinger 1996, Raupp 1995, Fliebbach & Mäder 1997 & Gehlen 1987) demuestran que la biomasa microbiana y la ratio Cmic/Corg es significativamente más alta en las parcelas fertilizadas regularmente con abonos orgánicos. Al mismo tiempo, el cociente metabólico (un indicador de las necesidades energéticas de los organismos del suelo) es inferior, lo cual provoca un mayor desarrollo de la biomasa radicular (Kotschi & Müller-Säman 2004). Esto es de especial importancia ya que la biomasa radicular contribuye más a la acumulación de carbono en suelos que la biomasa que queda por encima del suelo (Kotschi & Müller-Säman 2004).

Según la información reflejada en la tabla 5, la diferencia en la eficiencia de captación de carbono en agricultura ecológica respecto de la convencional es 20,2 t/ha de CO_2 . Si tomamos los datos publicados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en 2004, la superficie de agricultura ecológica es de 733.182 ha lo que se traduciría en una eficiencia de captación de carbono de 30.427.053 toneladas de CO_2 . Si la superficie de agricultura ecológica aumentara en un 20 %, la eficiencia de captación del carbono alcanzaría las 36.512.463 toneladas de CO_2 .

La rotación de cultivos, ampliamente practicada en agricultura ecológica (cultivos herbáceos), además de ayudar a reducir las pérdidas de nitrógeno, aumenta la biomasa subterránea y, por tanto la capacidad de retención de C. En la tabla 5 se muestra los resultados de un estudio comparativo sobre la capacidad de secuestro de carbono en sistemas de cultivo convencional y ecológico (Haas & Köpke 1994).

La agroforestación, otra técnica aconsejada y practicada en la agricultura ecológica, consistente en la introducción

de masa arbórea en los distintos agrosistemas también puede contribuir en un aumento del secuestro de CO_2 que Shröder (1994) establece en un almacenamiento adicional de carbono de 3.9 t/ha y año en climas templados.

Las emisiones de N_2O en agricultura se deben fundamentalmente a la excesiva fertilización y consecuentes pérdidas de nitrógeno. En los sistemas de producción ecológica los excedentes de nitrógeno y sus pérdidas se minimizan ya que no se utilizan abonos sintéticos y se ajustan las necesidades nutritivas a la producción. Además, las tasas de estabulado del ganado son limitadas y la dieta animal es menor en proteínas, lo cual también contribuye a la reducción de las emisiones de N_2O . Según Berg (1997), en Kotschi & Müller-Säman (2004), la reducción de N en la dieta animal es la opción más barata para reducir las emisiones de N_2O .

La reducción en las emisiones de metano mediante sistemas de producción ecológica puede derivarse del aumento de la actividad biológica del suelo y, por tanto, el incremento de la oxidación del CH_4 . Por el contrario, las aplicaciones periódicas únicamente de urea o amoníaco inhiben la oxidación de CH_4 (Hutsch 2001). Aunque la técnica del compostaje no se recomienda como una opción de mitigar la emisión de CH_4 (Bates 2001), la digestión anaeróbica controlada del estiércol y residuos combinado con la producción de biogás es la opción más prometedora para reducir las emisiones de CH_4 (Jarvis & Pain 1994). También el cambio en la dieta de los rumiantes en la ganadería ecológica puede provocar reducciones en la emisión de este gas (Zeddies 2002, en Kotschi & Müller-Säman 2004). Por lo que se refiere a arrozales, la investigación sobre técnicas de reducción de las emisiones de metano se encuentra "en pañales".

Como contrapartida, la ganadería ecológica puede suponer un suave incremento de las emisiones de CH_4 al aumentar la proporción de rumiantes y reducirse la productividad (FAO 2002).

Por último, aunque la utilización de biomasa como sus-

Tabla 5. Captación de carbono por sistemas agrícolas ecológicos y convencionales.

| | Toneladas de CO_2 / ha | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|------------|
| | Ecológica | Convencional | Diferencia |
| Cultivo comercial (cash crops) | | | |
| Biomasa vegetativa | 3.76 | 4.95 | -1.18 |
| Biomasa radicular | 1.44 | 0.89 | 0.55 |
| Cultivos de captación (catch crops) | | | |
| Biomasa vegetativa | 0.55 | 0.22 | 0.33 |
| Biomasa radicular | 0.22 | 0.09 | 0.13 |
| Flora adventicia | | | |
| Biomasa vegetativa | 0.22 | 0.04 | 0.17 |
| Biomasa radicular | 0.04 | 0.01 | 0.03 |
| Rendimiento bruto (secuestro) | 6.23 | 6.19 | 0.04 |
| Input de energía (emisión) | 0.15 | 0.29 | -0.14 |
| Rendimiento neto (secuestro) | 6.08 | 5.91 | 0.18 |
| Eficiencia de captación de carbono | 41.5 | 21.3 | |

Fuente: Haas & Köpke (1994).

Tabla 6. Potencial de reducción directa e indirecta en la emisión de GEIs derivado de los principios de la agricultura ecológica.

| | CO ₂ | CH ₄ | N ₂ O |
|---|-----------------|-----------------|------------------|
| 1. Uso de la tierra agrícola y su manejo | | | |
| Cubierta permanente del suelo | +++ | - | + |
| Reducción de laboreo | + | - | + |
| Restricción del barbecho en regiones semiáridas | + | - | - |
| Diversificación de las rotaciones de cultivo | ++ | - | + |
| Restauración de la productividad en suelos degradados | ++ | + | - |
| Agroforestación | ++ | - | - |
| 2. Utilización de estiércol y residuos | | | |
| Reciclaje de residuos urbanos y compost | ++ | - | + |
| Biogás de los purines | - | ++ | - |
| 3. Ganadería | | | |
| Cría y manutención longevas | - | ++ | + |
| Restricción de la densidad de estabulado | - | + | + |
| Reducción de las importaciones de pienso | + | + | - |
| 4. Fertilización | | | |
| Restricciones de la externalización de nutrientes | ++ | - | ++ |
| Utilización de leguminosas | + | - | + |
| Integración de la producción animal y vegetal | ++ | - | + |
| 5. Cambios en la conducta del consumidor | | | |
| Consumo de productos regionales | +++ | - | - |
| Aumento del consumo de vegetales | + | ++ | - |
| +++ muy alto, ++ alto, + bajo, - sin potencial | | | |

Fuente: Kotschi & Müller-Säman (2004).

tituto de combustibles fósiles no es exclusiva de la agricultura ecológica, cuando esta biomasa es cultivada mediante sistemas de agricultura ecológica en lugar del sistema convencional, las emisiones de GEIs son más bajas (Kotschi & Müller-Säman 2004). No debemos olvidar que el desarrollo de las ideas fundamentales así como de los equipos e instalaciones requeridas ha sido impulsado por el sector de la agricultura ecológica.

En la tabla 6 (Kotschi & Müller-Säman 2004) se resume el potencial de la agricultura ecológica en la reducción de emisiones agrícolas de GEIs, de acuerdo a sus principios.

En general, se puede afirmar que el efecto de la agricultura ecológica en la reducción de GEIs puede ser muy significativa en el caso de CO₂ y N₂O, y en menor medida en el caso del CH₄ (Kotschi & Müller-Säman 2004).

La contribución de la producción ecológica debe servir también para generar servicios ambientales contribuyendo a la reducción del efecto invernadero (generado por otras prácticas agrícolas e industriales). Es una práctica que trata de no contribuir más al cambio climático, garantiza mejor salud para las personas (evita contaminaciones de agua, suelos,...) y da seguridad alimentaria en medio de un cambio de clima que hace peligrar la sostenibilidad de la agricultura.

En los Congresos que organiza SEAE cada dos años, se han presentado diversos trabajos que hacen referencia a la temática que nos ocupa, algunos de ellos son: Molina *et al.* (1998), Sanz (2002), Bobo (2002), Simón *et al.* (2002), Montero *et al.* (1994).

Mecanismos de Kioto o de flexibilidad

Los países que figuran en el Anexo I del Protocolo de Kioto (básicamente países industrializados y en transición) están comprometidos a reducir sus emisiones, para lo cual se plantean tres mecanismos (Mecanismos de Kioto o de flexibilidad, artículos 6, 12 y 17) diseñados para incrementar la costo-efectividad de la mitigación del cambio climático, al crear opciones para que las Partes Anexo I puedan reducir sus emisiones y aumentar sus sumideros de carbono de una manera más económica. Aunque el costo de limitar emisiones o expandir la captura varía mucho entre las regiones, el efecto de la atmósfera es el mismo sin importar donde se lleven a cabo dichas acciones. El principio es que las medidas para la reducción de GEIs (hasta un porcentaje) puedan ser aplicadas fuera del propio país, en países donde sean más económicas.

Los tres mecanismos son:

- Implementación Conjunta (IC):* El artículo 6 señala que todas las Partes Anexo I podrán transferir a cualquier otra Parte incluida en el mismo Anexo, o adquirir de ella, las Unidades de Reducción de Emisiones (ERUs) resultantes de proyectos encaminados a reducir las emisiones antropogénicas de GEIs por las fuentes o incrementar la absorción antropogénica por los sumideros. Las ERUs podrán ser utilizadas por las Partes que inviertan en dichos proyectos para cumplir sus metas de reducción.

- b. *Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)*: El artículo 12 funciona de manera similar al de IC, se refiere a actividades de mitigación del cambio climático entre los países industrializados o Anexo I y los países en desarrollo o no Anexo I. Este mecanismo permite a los países industrializados comprometidos en reducir las emisiones de GEI efectuar dichas reducciones mediante acciones, a través de proyectos, en los países en desarrollo donde los costos de reducción son inferiores.

Los objetivos del MDL son: contribuir a la mitigación del cambio climático, ayudar a los países industrializados (Anexo I) en el cumplimiento de sus compromisos de reducción de GEI y contribuir a los objetivos de desarrollo sostenible de los países en desarrollo (No Anexo I).

- c. *Comercio Internacional de Emisiones (CIE)*: El artículo 17 del Protocolo de Kyoto establece que las Partes del Anexo I podrán participar en actividades de comercio de "Certificados de emisión de gases de efecto invernadero".

Los países del Anejo I pueden aplicar la Implementación Conjunta (IC) dentro de su propio país y en otro país miembro de este grupo de forma conjunta. También pueden adoptar el Comercio de Emisiones (CE) y, finalmente, el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) permite a los países de este grupo conseguir las reducciones de emisiones en países no incluidos en el Anexo I y en cooperación con ellos.

Se debe asumir que en el futuro los tres mecanismos de flexibilidad serán aplicables para la agricultura. Por ello, es importante desarrollar metodologías para contabilizar la agricultura para la IC y MDL así como en parte del CIE, anticipándose a la primera fase de compromisos (2008-2012). En este proceso, se deben resolver todavía muchas cuestiones metodológicas. En el caso de la agricultura ecológica el principal asunto es establecer una línea de base, de los impactos adicionales, auxiliares, permanentes, y escapes de las normativas prácticas de la agricultura ecológica. Para ello es fundamental examinar los impactos en casos prácticos.

Conclusiones y recomendaciones

La agricultura ecológica puede contribuir de forma significativa a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y al secuestro de carbono en suelos y biomasa. Sin embargo, no está siendo considerada en las discusiones sobre ésta temática, en los foros que pretenden establecer medidas en este sentido, ni a nivel nacional, ni internacional.

Existe suficiente evidencia de que la agricultura ecológica mejora el perfil de la agricultura convencional más usada en este aspecto. Esto es más importante, que el potencial de la agricultura ecológica de contribuir a la mitigación del cambio climático, que puede ser considerado como un beneficio auxiliar a su principal objetivo del uso

sostenible del terreno. Este objetivo primario se alcanza al mejorar la productividad del suelo, con la consecuente seguridad alimentaria, conservación de la biodiversidad y muchos otros beneficios.

En contraposición a la orientación de la agricultura de conservación, basada en una sola tecnología, la agricultura ecológica aporta un enfoque sistémico específico del lugar, que abarca un juego armonizado de tecnologías integradas.

Muchas de las medidas mencionadas arriba, pueden encuadrarse dentro de las prácticas de manejo recomendadas que podrían ser usadas por cualquier tipo de agricultura, pero la agricultura ecológica es la única que ofrece una estrategia que integra sistemáticamente todas ellas en un sistema de producción. Esta estrategia se completa con normativas obligatorias que tienen mayor impacto en la protección del clima que también incluye un buen sistema en funcionamiento de inspección y certificación que garantiza su cumplimiento de los principios y normativas de la agricultura ecológica, que lo hace más controlable y generador de innovaciones. Por ese mismo motivo, el seguimiento y evaluación del secuestro de carbono se simplifica y es más efectivo en relación a los costos, si se compara con las prácticas de la agricultura convencional.

Las políticas medioambientales deberían reconocer el potencial de la agricultura ecológica para reducir la emisión de gases invernadero y desarrollar programas apropiados para utilizar dicho potencial. Semejantes programas deben concentrarse en el potencial de reducción de emisión, en el potencial de secuestro, en las posibilidades de la generación de biomasa en agricultura ecológica o en combinaciones de todos estos aspectos.

Tomar en cuenta este aspecto y desarrollar metodologías para contabilizar el aporte de la agricultura ecológica, es una tarea en la que el sector de la agricultura ecológica debería colaborar activamente.

Abreviaturas

AEMA: Agencia Europea de Medio Ambiente, CIE: Comercio Internacional de Emisiones, ERUs: Unidades de Reducción de Emisiones, FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations / Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, GEI's: Gases de Efecto Invernadero, Gt: Gigatonelada, HCFs: Hidrofluorocarbonos, IC: Implementación Conjunta, IFOAM: Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica, IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático / Panel Intergubernamental de Cambio Climático, MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio, MMA: Ministerio de Medio Ambiente, Mt: Megatonelada, OECC: Oficina Española de Cambio climático, PBP: Producción Bruta Primaria, PCT: Potencial de Calentamiento de la Tierra, PECC: Programa Europeo sobre Cambio Climático / ECCP: European Climate Change Programme, PFCs: Perfluorocarbonos, PNB: Producción Neta de la Biosfera, PNE: Producción Neta de Ecosistema,

PNP: Producción Neta Primaria, UE: Unión Europea / EU: European Union, UNFCCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático / United Nations Framework Convention on Climate Change, UTCUTS: Uso de la Tierra, Cambio en el Uso de la Tierra y Silvicultura, WBGU: Consejo Científico del Gobierno Federal para el Cambio Climático / Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen

Referencias

- Ahlgrimm HJ, Gaedeken D. 1990. Methane (CH₄). In *Klima- veränderungen und Landbewirtschaftung, Land- bauforschung Völkenrode* (Sauerbeck D, Brunner H, eds.). 117, S, pp.28-46.
- Bachinger J. 1996. Der Einfluß unterschiedlicher Düngungs- arten (mineralisch, organisch, biologisch-dyna- misch) auf die zeitliche Dynamik und die räumliche Verteilung von bodenchemischen und -mikrobiolo- gischen Parametern der C- und N-Dynamik sowie auf das Pflanzen- und Wurzelwachstum von Win- terroggen. PhD-thesis University of Giessen. Schrif- tenreihe Bd. 7, Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt.
- Bates J. 2001. Economic Evaluation of Emission Reductions of Nitrous Oxides and Methane in Agriculture in the EU. Contribution to a Study for DG Environment, Eu- ropean Commission by Ecosys Energy and Environ- ment, AEA Technology Environment and National Technical University of Athens.
- Berg W. 1997. Minderung von Emissionen aus der Tierhal- tung. Kosten und Potentiale. *Landtechnik* 5/97: 262- 263.
- Bobo S. 2002. Evaluación de sustentabilidad de la explot- ación horticola convencional y ecológica. Estudio de casos en Asturias. *Actas del V Congreso de SEAE. Asturias*, pp.331-340.
- Bockish JM. 2000. Bewertung von Verfahren der ökologi- schen und konventionellen landwirtschaftlichen Produk- tion im Hinblick auf Energieeinsatz und bestimmte Schadgasemissionen. Sonderheft 211. *Landbauforschung Völ- kenrode. FAL Braunschweig*.
- Bouwman AF. 1990. Analysis of Global Nitrous Oxide Emis- sions from terrestrial Natural and Agroecosystems. *Transactions 14th International Congress Soil Sci- ence, Kioto, Japón*.
- Cole CV, Duxbury J, Freney J, Heinemeyer O, Minami K, Mosi- er A, Paustian K, Rosenberg N, Sampson N, Sauerbeck D, Zhao Q. 1997. Global estimates of potential miti- gation of greenhouse gas emissions by agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 221-228.
- Coleman K, Jenkinson DS, Crocker GJ, Grace PR, Klir J, Kör- schens M, Poulton PR, Richter DD. 1997. Simulating Trends in Soil Organic Carbon in Long-Term Experi- ments Using RothC-26.3. *Geoderma* 81: 29-44.
- Cormack B, Metcalfe P. 2000. Energy Use in Organic Farming Systems. ADAS. Tarrington. Reino Unido.
- De Sherbinin A. 2002. A CIESIN Thematic guide to Land Land-Use and Land Land-Cover change (LUCC). Center for International Earth Science Information Network (CIESIN). Columbia University Palisades, NY, USA.
- ECCP Working Group 7 – Agriculture. 2001. Mitigation po- tential of Greenhouse Gases in the Agricultural Sec- tor. Programa Europeo sobre el Cambio Climático (ECCP).
- ECCP. 2004a. Working Group Sinks Related to Agricultural Soils. Final Report. Programa Europeo sobre el Cam- bio Climático (ECCP).
- ECCP. 2004b. Working Group Sinks Related to Agricultural Soils. Executive Summary. Programa Europeo sobre el Cambio Climático (ECCP).
- FAO. 2002. Organic Agriculture, environment and food se- curity. *World agriculture: towards 2015/2030*.
- Fließbach A, Mäder P. 1997. Carbon Source Utilization by Microbial Communities in Soils under Organic and Conventional Farming Practice. In *Microbial Com- munities – Functional versus Structural Approaches* (Insam H, Rangger A, eds.). Berlin, pp. 109-120.
- Gehlen P. 1987. Bodenchemische , bodenbiologische und bodenphysikalische Untersuchungen konven- tionelle und biologisch bewirtschafteter Acker-, Gemüse-, und Weinbauflächen. Dissertation. Univ. Bonn. Alemania.
- Haas G, Köpke U. 1994. Vergleich der Klimarelevanz ökolo- gischer und konventioneller Landbewirtschaftung. In *Enquete Kommission Schutz der Erdatmosphäre des Deutschen Bundestages* (ed): Schutz der Grün- en Erde, Klimaschutz durch umweltgerechte Land- wirtschaft und Erhalt der Wälder. Bonn, Economica Verlag.
- Heenan DP, Chan KY, Knight PG. 2004. Long-Term Impact of Rotation, Tillage and stbble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. *Soil and Tillage Research* 76 (1): 59-68.
- Houghton RA, Callander BA, Varney SK. 1992. Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assesment. Cambridge, Reino Unido.
- Hütsch B. 2001. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production. — invited paper. *European Journal of Agronomy* 14(4): 237-260.
- IPCC. 2000. Land Use, Land Use Change and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). En <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>
- IPCC. 2001. Cambio Climático 2001: La Base Científica (Re- sumen Técnico). Aportación del Grupo de Trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergu- bernamental de expertos sobre el Cambio Climáti- co. En <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>
- Jarvis SC, Pain BF. 1994. Gaseous emissions from an inten- sive dairy farming system. *Proceedings of the IPCC AFOS Workshop*. 55-59. Canberra, Australia.
- Käterer T, Andren O. 1999. Long-Term Agricultural Field

- Experiments in Northern Europe: Analysis of the Influence of Management on Soil Carbon Stocks Using the ICBM model. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 72: 165-179.
- Kotschi J, Müller-Säman K. 2004. The Role of Organic Agriculture in Mitigating Climate Change – A Scoping Study. IFOAM. Bonn.
- Langeveld CA, Segers R, Dirks BO, van den Po Dasselaar A, Velthof GL, Hensen A. 1997. Emissions of CO₂ and CH₄ and N₂O from Pasture and Drained Peat Soils in The Netherlands. *European Journal of Agronomy*. 7:35-42.
- Leigh RE, Jhonston AE. 1994. Long-Term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences. Wallingford, Reino Unido. CAB International.
- Mäder P, Fliebach A, Dubois D, Gunst L, Fried P, Urs N. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* V. 296: 1694-1697.
- Malhi Y, Meir P, Browns S. 2002. Forests, carbon and global climate. In *Capturing Carbon and Conserving Biodiversity – The market approach* (Swinland IR, ed.). Londres.
- MMA. 2004. Emisiones de Gases de Efecto Invernadero. En *Perfil Ambiental de España 2004. Informe Basado en Indicadores*. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, pp. 42-43.
- MMA. 2003. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de España. Años 1990-2002. Comunicación a la Comisión Europea (Decisión 1999/293/CE). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Molina MJ, Soriano MD, Llinares JV. 1998. La degradación de las propiedades del suelo en relación a su uso en dos sistemas agroforestales de la Comunidad Valenciana: Implicaciones ecológicas ante un hipotético cambio climático. *Actas III Congreso SEAE, Valencia*, pp. 191-202.
- Montero FJ, Martín de Santa Olalla F, del Carro A, Rubio M. 1994. La incidencia de la desertificación en Castilla-La Mancha. *Prácticas ecológicas para una agricultura de calidad*. *Actas I Congreso SEAE, Toledo*, pp. 477-488.
- Mosier A, Valentine D, Schimel D, Parton W, Ojima D. 1993. Methane consumption in the Colorado short grass steppe. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft* 69: 219-226.
- Ojima DS, Valentine DW, Mosier AR, Parton WJ, Schimel DS. 1993. Effect of land use change on methane oxidation in temperate forest and grassland soils. *Chemosphere* 26: 675-685.
- Prather M, Derwent R, Ehhalt D, Fraser P, Sanhueza E, Zhou X. 1995. Other trace gases and atmospheric chemistry. In *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios* (Houghton JT, Meira Filho LG, Bruce J, Lee H, Callander BA, Haites E, Harris N, Maskell K, eds.). Cambridge U.K.-N.York: Cambridge University Press, pp.73-126.
- Pretty JN. 1995. Regenerating Agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-Reliance. Earthscan. Londres, Reino Unido.
- Pretty JN, Ball A. 2001. Agricultural Influences on Carbon Emissions and Sequestration: A review of Evidence and the Emerging Trading Options. Centre for Environment and Society. Occasional Paper 2001-03. University of Essex, R.Unido.
- Raupp J. 2001. Manure Fertilization for Soil Organic Matter Maintenance and its Effects upon Crops and the Environment, Evaluated in a Long-Term Trial: In *Sustainable Management of Soil Organic Matter*. (Rees, Ball, Campbell, Watson, eds.). Wallingford, Reino Unido: CAB International, pp. 301-308.
- Sanz M. 2002. La agricultura ecológica como sumideros de CO₂: Sus efectos sobre el cambio climático. *Actas del V Congreso SEAE/I Congreso Iberoamericano de Agroecología, Asturias: SERIDA/SEAE*, pp. 65-72.
- Schlesinger WH. 1999. Carbon Sequestration in Soils. *Science* 284: 2095.
- Schröder P. 1994. Carbon storage benefits of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 27: 89-97.
- Simón X, Domínguez MD, Alonso AM, Guzmán GI. 2002. Beneficios derivados de la agricultura ecológica. *Actas del V Congreso SEAE/I Congreso Iberoamericano de Agroecología*. Asturias: SERIDA/SEAE, pp. 321-330.
- Smith WN, Desjardins RL, Patten E. 2000: The Net Flux of Carbon from Agricultural Soils in Canada 1970-2010. *Global Change Biology* 6: 557-568.
- Steffen W, Noble I, Canadell J, Apps M, Schulze ED, Jarvis PG, Baldocchi D, Ciais P, Cramer W, Ehleringer J, Farquhar G, Field CB, Ghazi A, Gifford, Heimann M, Houghton R, Kabat P, Körner C, Lambin E, Linder S, Mooney HA, Murdiyarso D, Post WM, Prentice C, Raupach MR, Schimel DS, Shvidenko A, Valentini. 1998. The Terrestrial Carbon Cycle: Implications For The Kyoto Protocol. *Science* 280: 1393-1394.
- UNFCC. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- UNFCC. 2001a. Acuerdos de Bonn. 6ª Conferencia de las Partes (COP6bis)
- UNFCC. 2001b. Acuerdos de Marrakesh. 7ª Conferencia de las Partes (COP7)
- Vleeshouwers LM, Verhagen A. 2002. Carbon Emission and Sequestration by Agricultural Land Use: A Model Study for Europe. *Global Change Biology* 8: 519.
- WBGU. 1998. The Accounting of Biological Sinks and Sources Under Kyoto Protocol: A Step Forwards or Backwards for Global Environmental Protection?. German Advisory Council on Global Change (WBGU).
- Zeddies J. 2002. Vermeidungspotenziale der Landwirtschaft: Ziele und Handlungsoptionen. In: *Tagungsband zur 34. Hohenheimer Umwelttagung Globale Klimaerwärmung und Ernährungssicherung*, 25. Januar 2002, Hrsg. R. Böcker, Verlag Günther Heimbach.