

Capítulo 5

Agricultura y cambio climático en Castilla-La Mancha

Concha Fabeiro Cortés
Antonio Brasa Ramos

*Departamento de Producción Vegetal y Tecnología Agraria
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Albacete. UCLM*

1. Agricultura: causa y víctima del cambio climático

La agricultura representa la mayor proporción de uso de la tierra por el hombre y es una fuente importante de gases que contribuyen al efecto invernadero. Los distintos ecosistemas terrestres actúan como fuentes de emisión y como sumideros de CO₂, N₂O y CH₄, jugando un relevante papel en el balance total de los mismos. La agricultura es, entre las actividades humanas, la principal fuente de emisión de N₂O y CH₄, y en menor medida aunque también importante de CO₂.

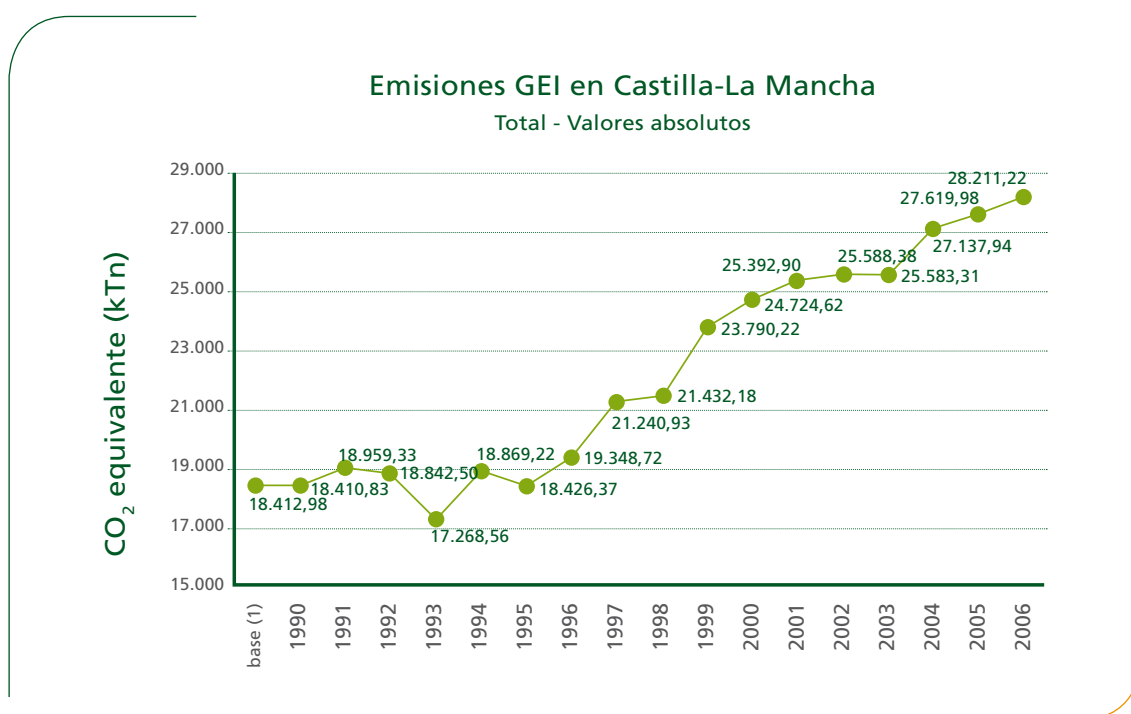


Figura 1: Evolución de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Castilla-La Mancha.
Fuente: JCCM (2008).

En 2006 el 13,5% de las emisiones de GEI provenían de la agricultura, por detrás de los sectores transportes, industria y energía. Todos los sectores han incrementado sus emisiones desde 1990 (Figura 1), pero el sector agrícola necesita diferenciarse de los demás sectores en lo que a reducción de emisiones de GEI se refiere. La mayor parte de las emisiones provenientes de la agricultura se producen naturalmente y tienen un vínculo directo con un proceso biológico cuyo objetivo principal es la producción de alimentos, combustibles y fibras. Por ello, la agricultura no debería ser sancionada por las emisiones naturales que escapan al control humano, son independientes de los efectos de la gestión y se deben a la variabilidad natural (FIPA, 2008).

En Castilla-La Mancha, un 58% de la superficie se dedica a tierras de cultivo y prados naturales y un 25% a terreno forestal; de la superficie agrícola, se cultiva en condiciones de secano casi

el 90%. Por tanto, el efecto que pueden provocar los cambios en la precipitación y temperatura son de máxima importancia. Se estima que, en mayor o menor medida, todos los sistemas agrarios podrían estar afectados por los cambios previstos como consecuencia del cambio climático. Sin embargo, algunas estimaciones indican que un aumento en los niveles de CO₂ podría ser beneficioso para algunos cultivos cerealistas de invierno (trigo, cebada o centeno) o la patata (Anderson et al., 2008). Esto es, mientras que en algunas zonas los efectos para algunos cultivos pueden ser negativos, en otras pueden ser incluso positivos. El efecto negativo de las altas temperaturas o menores precipitaciones puede verse compensado por las mayores tasas fotosintéticas debido al incremento de CO₂. Por otro lado, las temperaturas más suaves en invierno permitirán mayores productividades en esta época, compensado las pérdidas de otras estaciones.

En Castilla-La Mancha, las previsiones más pesimistas apuntan que los aumentos de temperatura pueden aumentar la demanda evapotranspirativa de los cultivos, incrementándose las necesidades de riego; la demanda de agua se incrementará, siendo el estrés térmico más frecuente.

1.1 Origen de los GEIS

CO₂: 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 resumido en la Figura 2. La producción Primaria Bruta (PPB) es la absorción de carbono atmosférico por las plantas como consecuencia de la fotosíntesis. Las pérdidas como consecuencia de la respiración de las plantas da como resultado la Producción Primaria Neta. Posteriores pérdidas debido a la descomposición de la materia orgánica reducen esa captación en la denominada Producción Neta de Ecosistema (PNE). 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 Producción Neta de la Biosfera (PNB) que actualmente supone 0,7 ± 1 GT C / año (IPCC; 2000).

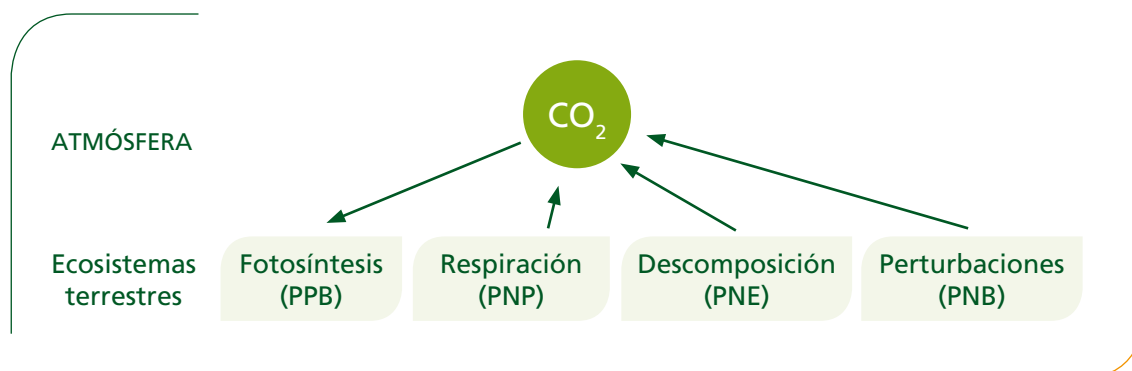


Figura 2: Potencial de captación de carbono por la biosfera.

La atmósfera en su conjunto se ha enriquecido en carbono durante los últimos años, es decir que el CO₂ liberado por los cambios en el uso de la tierra (deforestación, principalmente) ha sido superior a otras formas de absorción.

El carbono es almacenado por la biosfera tanto en forma de vegetación como de carbono orgánico en el suelo (Tabla 1). Existe una incertidumbre considerable con respecto a las cifras indicadas, no obstante este cuadro proporciona una panorámica general de la magnitud del carbono almacenado en los sistemas terrestres.

Tabla 1: Cantidad mundial de carbono presente en la vegetación y en los reservorios de carbono hasta una profundidad de 1 m.

Biomasa	Área (10 ⁹ ha)	Carbono mundial almacenado (Gt C)		
		Vegetación	Suelo	Total
Bosques tropicales	1.76	212	216	428
Bosques templados	1.04	59	100	159
Bosques boreales	1.37	88	471	559
Sabanas tropicales	2.25	66	264	330
Herbazales templados	1.25	9	295	304
Desiertos y semidesiertos	4.55	8	191	199
Tundra	0.95	6	121	127
Humedales	0.35	15	225	240
Tierras de cultivo	1.60	3	128	131
Total mundial	15.12	466	2011	2477

Los bosques son los principales sumideros de este carbono. En el caso de la agricultura es el aumento de C en el suelo la forma más efectiva de captar carbono de forma más o menos permanente. El uso de la tierra, los cambios en el uso de ésta y la silvicultura son los principales factores que modifican las fuentes y sumideros terrestres de carbono. En los sistemas agrícolas las pérdidas de carbono se deben a la descomposición de la materia orgánica, acelerada por el laboreo. Las buenas prácticas agrícolas, que incluyen el manejo racional del riego y 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 carbono liberado por los cambios en el uso de la tierra.

Los depósitos de carbono en el suelo superan a los de la vegetación (en tierras de cultivo 128 frente a 3 GT C, WBKU, 1998), por lo que los cambios en los depósitos del suelo son tan importantes como los cambios que se puedan producir en la vegetación.

Según ECCP (2004) el potencial de captación de CO₂ de los suelos agrícolas podría constituir casi el 20% de la reducción comprometida hasta el 2012.

CH₄: La concentración de metano en la atmósfera ha aumentado en un 150% desde 1750. La cantidad en la que se encuentra en la atmósfera es menor que el vapor de agua y el dióxido de carbono, sin embargo su potencial de contribución al calentamiento global es mucho mayor. (Tabla 2).

Tabla 2: Potencial de calentamiento de la Tierra de los GEIs aportados por la agricultura en comparación al CO₂. Fuente: IPCC (2001).

Gas	Periodo de vida	Potencial de calentamiento de la tierra (Horizonte en años)		
		20 años	100 años	500 años
CO ₂		1	1	1
CH ₄	12.0	62	23	7
N ₂ O	114	275	296	156

Las fuentes emisoras de metano atmosférico son tanto naturales (humedales) como inducidas por el ser humano (agricultura, producción de gas natural y vertederos). Aproximadamente dos tercios son de origen antropogénico y la mayoría provienen de la agricultura (Kotschi y Muller-Saman, 2004). Los principales constituyentes del balance de metano están identificados pero son inciertos cuantitativamente, por la dificultad de evaluar los índices de emisión de fuentes muy variables. El suelo se considera el único sumidero significativo, estimándose que la concentración atmosférica sería el doble sin este sumidero (Ojima *et al.* 1993).

Las principales fuentes de emisión de metano son:

- Fermentación entérica por rumiantes.
- Transformaciones anaerobias en el cultivo del arroz.
- Manejo del estiércol.
- Compactación de suelos.
- Quema de biomasa (rastros y restos de poda).

N₂O: Las emisiones de óxido nitroso han aumentado en un 16% desde 1750 y su potencial de calentamiento es aun mayor que el del metano. 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 IPCC (2001) se estima que el 41% de las emisiones de

N_2O son de origen antrópico y más del 60% de las emisiones brutas globales evolucionan desde los suelos (Langeveld *et al.* 1997) procedentes de los procesos de transformación microbiana de amoníaco a nitrito (nitrificación) y de éste a nitroso y nitrógeno molecular (desnitrificación).

La desnitrificación está vinculada a las bacterias anaerobias facultativas mayoritariamente heterótrofas. Los desnitrificantes principalmente aislados del suelo son las especies *Pseudomonas*, habitualmente hay 10^6 bacterias desnitrificantes / g de suelo.

Las emisiones están originadas principalmente por:

- Niveles altos de nitrógeno soluble en el suelo procedente de fuentes sintéticas y nitrógeno orgánico (fertilizantes).
- Manejo de estiércol y estabulación de animales.

La emisión de N_2O puede reducirse sincronizando la tasa de mineralización (desnitrificación) y la tasa de absorción por los cultivos. Las emisiones dependen de cuatro factores básicos:

- El tipo de fertilizante nitrogenado, cuanto más soluble mayor es la emisión.
- El tipo de cultivo en cuanto a sus necesidades totales de extracción de nitrógeno y el periodo de tiempo en que lo absorben.
- La temperatura tiene una influencia directa y positiva en la tasa de desnitrificación.
- La falta de aireación del suelo (saturación/compactación) provoca que algunos organismos anaeróbicos con capacidad de obtener el oxígeno de los nitratos y nitritos produzcan una liberación simultánea de nitrógeno y de óxido nitroso.

1.2 Consecuencias

El Cambio Climático afecta a la agricultura a través de tres aspectos, por el cambio en la concentración de CO_2 , el cambio en la temperatura del aire y del suelo y la variación en las precipitaciones. Estos tres aspectos tienen efectos contrapuestos y no uniformes, pudiendo ser beneficiosos o dañinos para los diferentes sistemas agrarios.

1.2.1 Cambio en la concentración de CO_2

El aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera incrementa la tasa fotosintética de los vegetales por lo que puede aumentar la productividad de los cultivos. Los factores que regulan la fotosíntesis son el estado de la planta (fenológico, hídrico, nutricional y de salud), la temperatura, la luz y la concentración de CO_2 . La tasa fotosintética se regula en cada caso en función del factor limitante.

Por otro lado, el aumento de la concentración de CO₂ disminuye la transpiración debido al cierre estomático por lo que puede aumentar la eficiencia de uso del agua.

1.2.2 Aumento de la temperatura

El aumento de la temperatura puede contrarrestar el efecto anterior al aumentar la demanda evapotranspirativa de los cultivos y por tanto la demanda de agua. Asimismo en zonas semiáridas se producirá un incremento de la incidencia de estrés térmico.

1.2.3 Variación en las precipitaciones

La variación de la precipitación total y su distribución estacional es uno de los aspectos más importantes para los sistemas de secano y en el diseño y manejo de los regadíos. Cuando la disponibilidad de agua sea insuficiente harán falta emplear especies y/o variedades diferentes, aumentar la superficie de secano o aplicar riegos estratégicos para estabilizar la producción.

2. Agricultura: Adaptación y mitigación del Cambio Climático

Existen muchas sinergias con otros compromisos y estrategias ambientales, pero también con otros muchos instrumentos y directivas de planificación. Los tratados internacionales y las políticas nacionales tratan de enriquecer las actividades mundiales encaminadas a mitigar el cambio climático y adaptarse al mismo. Si bien es importante seguir tratando de reducir las emisiones de GEIs, la mitigación por sí sola no es suficiente y no se percibirá antes de la segunda mitad del siglo. El calentamiento del planeta ya está en marcha y es urgente contar con estrategias de adaptación, especialmente para las regiones pobres más vulnerables (FAO, 2008).

De acuerdo con el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (MMAMRM, 2008) es importante integrar las opciones y medidas de adaptación al cambio climático en otras políticas en curso. Por ejemplo, sectores o subsectores tales como agricultura de regadío, recursos hídricos, gestión de inundaciones y sequías o conservación de ecosistemas acuáticos tienen profundas interrelaciones entre ellos, en la actualidad y en un contexto de cambio climático, y las medidas de adaptación planteadas para un sector deben ser evaluadas de forma integrada con los demás.

Conocer los escenarios hidrológicos futuros es fundamental para los sectores de turismo, agricultura y biodiversidad -entre otros- cuyo desarrollo, planificación y gestión están condicionados por las opciones de adaptación posible en estos escenarios hidrológicos. Así pues, una evalua-

ción del impacto del cambio climático en los recursos hídricos va a alimentar sucesivas evaluaciones en sectores/sistemas como el agrario.

2.1 Adaptación

La agricultura ha aprendido a lo largo de la historia a afrontar la variabilidad del clima y muchas veces ha adaptado los cultivos y las prácticas agrícolas a las nuevas condiciones, pero la intensidad y la velocidad del cambio climático presentan nuevos desafíos sin precedentes.

Un enfoque eficaz de adaptación es promover medios de subsistencia diversos y flexibles en los sectores que reducen la dependencia de la gente a los recursos sensibles al clima. Por ejemplo, la diversificación de las empresas rurales puede reducir los ingresos de los agricultores a corto plazo, pero a la larga les protegerá de la posible escasez de alimentos y otras vulnerabilidades del futuro.

Para que den buenos resultados, las medidas de adaptación tienen que tener en cuenta las prácticas y las vulnerabilidades locales. La planificación en los hogares, la comunidad y a nivel nacional puede limitar los daños del cambio climático, así como los costos a largo plazo de la respuesta a los efectos del mismo, cuyo número e intensidad aumentarán. Asimismo, se deben aprovechar posibles sinergias entre la mitigación y la adaptación al cambio climático, así como la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible.

Los diferentes sistemas agrícolas podrán adaptarse en función de su sensibilidad al cambio o resiliencia, bien hacia una extensificación o incluso reforestación en los casos de mayor inestabilidad y siempre que las ayudas lo potencien; o bien hacia la estabilización o incluso intensificación por riego cuando los recursos naturales lo permitan. El efecto de la elevación de la temperatura junto con las variaciones en las épocas de lluvia puede suponer un desplazamiento hacia el norte de las zonas adecuadas para el cultivo de cereales con mayor margen bruto (maíz, trigo y cebada) y sobre todo de las producciones hortícolas. Esta tendencia debe ser evaluada para evitar que junto al efecto directo de Cambio Climático se pueda unir la pérdida de competitividad y se acelere el proceso de abandono de la actividad agraria en las zonas más sensibles. Los sistemas con mayor inercia, como son los leñosos, requieren estudios específicos para conocer las tendencias e incertidumbres asociadas en función del agroecosistema donde se encuentren.

2.1.1 Introducción de nuevos cultivos

La introducción de nuevos cultivos debe abordarse desde un punto de vista agroecológico integral, incluyendo junto a los clásicos factores agronómicos estrictos y los económicos (viabilidad técnico-económica), los factores de incidencia sobre el agrosistema (paisaje, biodiversidad y fertilidad del suelo), sobre la estabilidad de la población rural y la seguridad alimentaria.

Las variedades o cultivares de ciclos más largos pueden introducirse para contrarrestar la aceleración del desarrollo por incremento de la temperatura. En el caso de los leñosos, el incremento de la temperatura, los veranos más extremados y el desplazamiento de las precipitaciones requerirá un replanteo de cultivares en las diferentes comarcas, teniendo en cuenta que se espera una disminución de las heladas de primavera.

2.1.2 Estrategias de manejo en secano y regadío

En las zonas donde el factor agua sea más limitante, tendrán que establecerse rotaciones de cultivo cuya secuencia optimice el uso del agua. Por otro lado será conveniente delimitar zonas donde el barbecho sideral sea imprescindible para mantener la estabilidad y sostenibilidad de los sistemas. En todo caso, serán necesarias estrategias de optimización de recursos y de mínimo impacto ambiental, como la extensificación (disminución de insumos), los riegos estratégicos, o de apoyo, y los riegos deficitarios como medidas que el agricultor pueda adoptar con facilidad.

2.1.3 Agroenergía

Una alternativa productiva de creciente interés es el cultivo de especies para la obtención de energía. Este tipo de cultivos presentan una buena adaptación para su desarrollo en terrenos no utilizados para la producción de alimentos y tienen una alta eficiencia en el uso del agua. Constituyen una fuente de energía autóctona y renovable en sustitución del petróleo.

Los biocombustibles son reclamados además porque aumentan el empleo, especialmente en las zonas rurales, y para las regiones menos desarrolladas debido a la apertura de nuevos mercados de exportación.

Se clasifican en:

- Lignocelulósicos, cultivos leñosos (chopos, sauces, paulownia) o herbáceos, para producción de biocombustibles sólidos.
- Oleaginosos, para producción de aceites utilizables en motores tipo diésel o en mezclas con gasóleo o como biodiésel.
- Alcohólicos, para producción de bioetanol, utilizable como aditivo o complemento de la gasolina.

La selección de las especies más adecuadas debe basarse en tres aspectos:

- Elevada producción de biomasa con nulo requerimiento en insumos y labores, más allá de las imprescindibles para la implantación y recolección,

- Mantenimiento de una cubierta captadora la mayor parte del año, y
- Mantenimiento o mejora de la fertilidad del suelo.

Existen en la actualidad estudios sobre varias especies herbáceas y leñosas (cardo y paulonia, como meros ejemplos) capaces de dar satisfacción a estos tres aspectos.

La sustitución de gasóleo por biodiésel evitaría el 90% de las emisiones, especialmente útil en el sector del transporte, que consume el 39% de la energía utilizada y emite el 25% del CO₂ a la atmósfera.

El biodiésel es el único combustible alternativo que puede usarse directamente en cualquier motor diésel, sin ser necesario ningún tipo de modificación. Como sus propiedades son similares al combustible diésel de petróleo, se pueden mezclar ambos en cualquier proporción, sin ningún tipo de problema. Sin embargo, en Castilla-La Mancha sólo 27 estaciones de servicio distribuyen biodiésel (en distintas proporciones de mezcla) y ninguna bioetanol.

En una reciente encuesta a expertos elaborada por el IPCC se indica que la generación de energía a partir de biocombustibles no tiene potencial para disminuir los niveles de carbono en la atmósfera sin efectos secundarios inaceptables en los próximos 25 años.

No obstante, los cultivos energéticos suponen una alternativa para el campo en Castilla-La Mancha, donde lo extremado del clima y las limitaciones de disponibilidad de agua no hacen fácil encontrar cultivos que se adapten a estas condiciones y, además, sean rentables y competitivos en los mercados internacionales. Castilla-La Mancha es uno de los lugares más idóneos para la explotación de los biocombustibles tanto, por las posibilidades logísticas y de comunicación que ofrece nuestro territorio, como por la extensión de tierras de cultivo (Chillarón, 2008, comunicación personal).

Tres incertidumbres existen sobre el efecto de los biocombustibles en la disminución del cambio climático:

- Incertidumbre en el carbono del suelo liberado por el cambio indirecto del uso de la tierra.
- Incertidumbre en las emisiones de insumos agrícolas causados indirectamente.
- Incertidumbre en las emisiones de óxido nítrico.

2.1.4 Estrategias de sanidad vegetal

El cambio en el clima va a producir una variación en los procesos parasitarios e infecciosos. La mejor adaptación al escenario cambiante se basa en el conocimiento de las pautas biológicas y

los factores abióticos que regulan la asociación del parásito o patógeno, el cultivo y el ambiente en que estos se desarrollan.

En este sentido son necesarios los estudios que expliquen varios aspectos del comportamiento de los agentes con respecto al clima, como son la capacidad de adaptación al biotopo y la dinámica estacional del proceso, mediante mapas de predicción de riesgos y modelos de simulación. Estos modelos, junto con los indicadores puramente biológicos, deben incluir las implicaciones económicas a esperar en los diversos escenarios de Cambio Climático evaluables y la componente paisaje, entendiendo que los procesos ecológicos tienen lugar en microescala y es de gran interés evaluar la composición del hábitat como factor determinante de la existencia y abundancia del agente parásito o patógeno.

La validez de los estudios de modelización debe realizarse mediante observaciones reales, diversas, continuas y extensas que permitan su calibración y actualización. La metodología más adecuada para combinar el desarrollo de los modelos con su contrastación en campo es la Investigación Participativa, en la que se involucra en el proceso investigador desde su inicio, tanto a los científicos como a los receptores intermedios (técnicos) y finales (agricultores) de los resultados de la investigación.

2.1.5 Estrategias de conservación de la biodiversidad

Conforme el clima se modifica, aumentará el valor de la biodiversidad para la alimentación y la agricultura. Los recursos genéticos son la materia viva que usan las comunidades locales, los investigadores y los mejoradores para adaptar la producción de alimentos y la agricultura a las necesidades en transformación. Mantener y utilizar estas reservas de diversidad genética será la base para afrontar el cambio climático (FAO, 2008).

Es necesario que los investigadores y las comunidades locales recurran a las reservas genéticas para obtener nuevas plantas y animales que prosperen en un mundo más caliente y satisfagan las necesidades de alimentos de una población en crecimiento. La velocidad del cambio climático indica que en muchos casos, la diversidad genética local no podrá adaptarse con suficiente rapidez para sobrevivir.

En estos casos será decisivo recoger y conservar la diversidad amenazada. Podría ser necesario introducir variedades de cultivos o de especies más aptas para las nuevas condiciones de producción.

El uso mayor de la biodiversidad para los alimentos y la agricultura, en particular microorganismos del suelo, también puede atenuar el cambio climático al reducir la acumulación en la

atmósfera de gases de efecto invernadero. Aprovechar la biodiversidad local puede mantener los bosques en buen estado y la fertilidad de los suelos agrícolas, ambos importantes sumideros de carbono. También puede reducir la necesidad de fertilizantes a base de nitrógeno, una de las principales fuentes de gases de efecto invernadero, y de otros insumos comerciales con gran concentración de energía (FAO, 2008).

Es indispensable acoplar la cartografía regional de la distribución de la biodiversidad a distintas hipótesis del cambio climático, a fin de elaborar estrategias de conservación. También se necesita información sobre la biodiversidad custodiada en los bancos de genes nacionales e internacionales. En este sentido, el Jardín Botánico de Castilla-La Mancha puede ser referencia en la recogida y análisis de esta información que se deberán integrar en informes futuros orientados a la adaptación al cambio climático.

2.2 Mitigación

La finalidad de la agricultura es producir alimentos y servicios, manteniendo la fertilidad del suelo y protegiendo el medio ambiente. En este sentido la agricultura del futuro en la Región debe incluir como objetivo fundamental la mitigación del Cambio Climático. La consecución de este objetivo implica que el balance de GEIs en la agricultura sea negativo, es decir que la captación supere las emisiones.

2.2.1 Opciones para limitar las emisiones de GEIs y promover los sumideros de carbono

Desde la aceptación del segundo informe del IPCC, en 1995 se han producido progresos tecnológicos significativos. En la actualidad, las posibilidades tecnológicas para reducir las emisiones son más amplias. Entre las novedades que mejoran la respuesta antrópica al problema cabe citar la mejora de la eficiencia y la gestión energética, el cambio a combustibles con bajo contenido en carbono, las energías renovables, la tecnología de emisión cero, la reducción de subproductos industriales y el almacenamiento subterráneo de CO₂. En la tabla 3 se incluyen algunas de las medidas que pueden incrementar las tasas de secuestro de carbono en los suelos de uso agrícola.

La implantación de Buenas Prácticas Agrarias (BPA) es la vía para reducir las emisiones de GEIs. Para ello se hace necesaria la supresión de determinados hábitos, como la quema de rastrojos, la quema de restos de poda, el laboreo excesivo y el manejo inadecuado de fertilizantes, tanto orgánicos como minerales. Conjuntamente debe imponerse la mejora de la eficiencia energética mediante la aplicación de nuevas tecnologías y la adopción de modalidades alternativas de producción como la integrada y la ecológica.

Por último debe reducirse el consumo de combustibles como fuente de energía y el uso de energías alternativas (no basadas en la combustión), para ello es necesaria la innovación tecnológica en la maquinaria, en los equipos de extracción, distribución y aplicación del agua de riego, en las industrias agrarias y las explotaciones ganaderas.

Tabla 3: Medidas para incrementar las reservas de carbono en los suelos agrícolas y tasas de secuestro potencial de carbono (t CO₂/ha y año). Fuente: ECCP, 2004.

Medida	Tasa de secuestro potencial de C en el suelo (t CO ₂ /ha y año)	Grado de incertidumbre estimada (%)	Referencia/reseña
No laboreo	1,42	>50	1
Laboreo reducido	<1,42	>>50	2
Reservas naturales	<1,42	>>50	3
Estiércol	1,38	>50	1
Restos de cultivos	2,54	>50	1
Compostaje	>1,38	>>50	4-5
Rotaciones mejoradas	>0	Muy alto	6
Fertilización	0	Muy alto	7
Riego	0	Muy alto	7
Agroenergéticos	2,27	>>50	1
Extensificación	1,98	>>50	1
Agricultura Ecológica	0-1,98	>>50	8

Nota: Referencias:

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.

Estimado de los documentos revisados en Smith *et al.* (2000).

Se asume el mismo dato que en el no laboreo de Smith *et al.* (2000).

Se asume el mismo dato que el estiércol de Smith *et al.* (2000).

Los valores de secuestro están basados en una aportación de 1 t/ha y año. Mayores aportes conllevan mayores tasas de secuestro. El factor limitante de las aportaciones de compost es la cantidad que se puede producir para una determinada zona.

Mínima influencia en los documentos revisados en Smith *et al.* (2000).

La ganancia neta de carbono en el caso del riego y la fertilización aparece como insignificante, aunque en realidad es negativa cuando se tiene en cuenta el carbono emitido en la fabricación de los fertilizantes y en el bombeo del agua.

La AE incluye una combinación de prácticas como la extensificación, la mejora de rotaciones, la incorporación de restos de cultivos o el uso regular de estiércol. Todo ello contribuye a un mayor secuestro de carbono en diferente medida según el grado de aplicación de cada técnica. Se ha optado por dar los potenciales más bajo y más alto estimados.

Es necesario ampliar la capacidad de captación de CO₂ de los productores primarios. El almacenamiento de carbono en la vegetación y los suelos de los bosques, las tierras de cultivo y otros

ecosistemas terrestres pueden dar tiempo para que se pongan en marcha otras opciones. Este tipo de mitigación biológica puede seguir tres estrategias:

- La conservación de las reservas existentes.
- La fijación de carbono por aumento de la eficiencia y extensión de los sumideros. Esto afecta a medidas sobre el uso de la tierra, los cambios en el uso de la tierra y la silvicultura (UTCUTS). Como ya se ha visto los sistemas con mayor eficiencia captadora son los bosques, a continuación las praderas perennes y los cultivos leñosos con cubierta vegetal intercalada y por último los cultivos anuales de ciclos más largos.
- La promoción del uso de materiales de origen agrario producidos de manera sostenible, por ejemplo, el uso de madera en lugar de materiales industriales o la biomasa en lugar de combustibles fósiles.

La mayoría de las previsiones indican que las opciones tecnológicas conocidas podrán conseguir cierto margen de estabilización del CO₂ en la atmósfera, pero la puesta en marcha de estas opciones requiere cambios socioeconómicos e institucionales. Los cambios en las normas colectivas y en los comportamientos individuales pueden tener efectos significativos sobre las emisiones de GEIs.

Los modelos actuales incentivan la producción y el uso intensivo de recursos, que a su vez aumenta la emisión. Pero es posible, a través del aprendizaje social y las medidas institucionales, combinadas con la innovación tecnológica, hacer contribuciones relevantes a la mitigación del Cambio Climático, mediante una transformación hacia sistemas y hábitos sostenibles.

2.2 Papel de la Agricultura Ecológica en la mitigación del balance de GEIs

La contribución de la Agricultura Ecológica (AE) en el ciclo de carbono incide en varios aspectos:

- Cerrando los ciclos de nutrientes por autoabastecimiento de recursos e insumos, incluyendo la ganadería en sistemas agrícolas y utilizando recursos locales.
- Manteniendo la fertilidad del suelo y reduciendo la erosión gracias a la utilización de rotaciones, cubiertas vegetales y setos.
- Mejorando la eficiencia energética través de un mayor uso de fuentes de energía renovables y menor consumo directo de combustible fósil e indirecto al evitar los productos de síntesis, de alto coste energético en su fabricación como fertilizantes, herbicidas, fitosanitarios, alimento para el ganado, etc.

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

por agotamiento del suelo. Además, su contribución al medio ambiente es más extensa ya que conserva la biodiversidad, la calidad del agua y genera menos residuos y embalajes por lo que reduce el coste energético que supone su recuperación.

Esto es así debido fundamentalmente al ahorro energético que supone el mantenimiento de la fertilidad del suelo mediante insumos internos, o al menos locales, minimizando la externalización. Los principios básicos de la AE 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.

En cuanto al secuestro de carbono en suelos y vegetación, el IPCC (2000) reconoce que la mejora en el uso de las tierras de cultivo puede suponer significativas ganancias en la captación de CO₂. Diferentes experimentos (Mader *et al.*, 2002) ofrecen evidencias de que la adicción regular de materia orgánica al suelo, es la única vía para mantener o incrementar el C orgánico en el suelo. El desarrollo sistemático de tecnologías de fertilización orgánica ha sido una de las principales preocupaciones de la AE desde hace varias décadas, durante las que se han alcanzado resultados interesantes. Los elementos clave de este desarrollo han sido:

- Optimización de la cantidad y aplicación de estiércoles, cuyo elemento básico es la integración de la producción agrícola vegetal y animal y el reciclaje de desperdicios orgánicos.
- Mejora de las técnicas de elaboración o procesado de los residuos orgánicos para obtener una alta calidad. A través del compostaje de residuos vegetales y animales se minimizan las pérdidas en el proceso de humificación, obteniéndose una alta proporción de humus estable.

Las emisiones de N₂O 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 estabulación del ganado son limitadas y la dieta animal es menor en proteínas. (Kotschi y Muller- Saman, 2004).

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 CH₄. También el cambio en la dieta de los animales puede provocar reducciones en la emisión de este gas. En lo que se refiere a arrozales, existe poca investigación sobre técnicas de reducción de las emisiones de metano, pero deberían ir encaminadas hacia la adaptación de variedades de secano o a la subirrigación.

En general se puede afirmar que el efecto de la AE en la reducción de GEIs puede ser muy significativo en el caso de CO₂ y N₂O, y en menor medida en el caso del CH₄. En los congresos que organiza la Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE) cada dos años, se han presentado diversos trabajos que hacen referencia a esta temática. Algunos destacables son: Montero *et al.*, (1994); Molina *et al.* (1998); Bobo (2002); Sanz (2002) y Simón *et al.* (2002)

Bibliografía

- ANDERSON J., ARBLASTER K., BARTLEY J., COOPER T., KETTUNEN M., KAPHENGST T., LEIPPRAND A., LAASER C., UMPFENBACH K., KUUSISTO E., LEPISTÖ A., HOLMBERG M., 2008. Climate Change–Induced Water Stress and its Impact on Natural and Managed Ecosystems. European Parliament, Bruselas.
- BOBO, S. 2002. Evaluación de sustentabilidad de la explotación horticola convencional y ecológica. Estudio de casos en Asturias. V Congreso SEAE. Asturias. Tomo I, 331-340.
- CHILLARON, M. 2008. Potencial de los cultivos energéticos en CLM y su viabilidad. Ponencia en Jornada sobre Agroenergía. Perspectivas de futuro. Albacete, 20 noviembre 2008. UCLM.
- ECCP, 2004. Working group Sinks Related to Agricultural Soils. Final Report. Programa Europeo sobre el Cambio Climático (ECCP).
- FAO, 2008. Mitigación del cambio climático y adaptación en la agricultura, la silvicultura y la pesca. Departamento de Gestión de Recursos Naturales y Medio Ambiente, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia.
- FIPA, 2008. Declaración de la Federación Internacional de Agricultores: Soluciones de los agricultores ante el cambio climático: La hoja de ruta de Bali. En: www.ifap.org
- 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: La base científica (Resumen Técnico). Aportación del Grupo de Trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Panel Integubernamental de Cambio Climático. En: <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>
- JCCM, 2008. Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en Castilla-La Mancha. Edición 2008. Serie 1990-2006. Oficina de Cambio Climático de Castilla-La Mancha
- KOTSCHI, J., K. MÜLLER-SAMAN, 2004. The role of Organic Agriculture in Mitigating Clite Change- A Scoping Study. IFOAM. Bonn.
- LANGEVELD, C.A., R. SEGERS, B.O. DIRKS, A. VAN DEN PO DASSELAAR, G.L. VEITHOF, A. HENSEN, 1997. Emissions of CO₂, and CH₄ and N₂O from Pasture and drained Peat Soils in the Netherlands. *Eur. J. Agron.* 7, 35-42.
- MÄDER, P. A. FLIEBACH, D. DUBOIS, L. GUNST, P. FRIED, U. NIGGLI, 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science*, 296, 1694-1697.

- MMAMRM (2008) Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Centro de Publicaciones de la Secretaría General Técnica del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- MOLINA, M.J., M.D. SORIANO, J.V. LINARES, 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. III Congreso SEAE, Valencia, 191-202.
- MONTERO, F.J. F. MARTIN DE SANTA OLALLA, A. DEL CERRO, M. RUBIO. 1994. La incidencia de la desertificación en Castilla-La Mancha. Practicas ecológicas para una agricultura de calidad. I Congreso SEAE, Toledo, Tomo III, 477-488
- OJIMA, D.S., D.W. VALENTINE, A.R. MOSIER, W.J. PARTON, D.S. SCHIMEL, 1993. Effect of land use change on methane oxidation in temperate forest and grassland soils. Chemosphere 26, 675-685.
- SANZ, M.J. 2002. La Agricultura Ecológica como sumidero de CO₂: Sus efectos sobre el Cambio Climático. V Congreso SEAE, Asturias, Tomo I, 65-77.
- SIMON, X., M.D. DOMINGUEZ, A.M. ALONSO, G.I. GUZMAN, 2002. Beneficios derivados de la agricultura ecológica. V Congreso SEAE. Asturias. Tomo I, 321-330.
- SMITH, W.N., R.L. DESJARDINS, E. PATTY, 2000. The flux of Carbon from Agricultural soils in Canada 1970-2010. Global Change Biology. 6, 557-568.
- 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).

