FICHA TÉCNICA Nº1

LA AGRICULTURA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

Life+AGRICARBON

LA AGRICULTURA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

5 PRÓLOGO

6 EL CAMBIO CLIMÁTICO, ¿QUÉ ES?

8 EL EFECTO INVERNADERO

10 CONSECUENCIAS GENERALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

12 EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA

19 FUENTES DE EMISIÓN DE GEI EN LA AGRICULTURA

21 ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE LA AGRICULTURA

32 BIBLIOGRAFÍA

EDITA
Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos (AEAC.SV)

COORDINACIÓN GENERAL
Emilio J. González Sánchez (AEAC.SV), Jesús A. Gil Ribes (UCO), Rafaela Ordóñez Fernández (IFAPA)

TEXTOS
Óscar Veroz González (AEAC.SV), Rosa Carbonell Bojollo (IFAPA)
Esta ficha ha sido realizada en el marco del proyecto Life + AGRICARBON: Agricultura sostenible en la aritmética del carbono (LIFE08/ENV/E/000129)

Depósito Legal:
ISBN: 978-84-694-7519-5

Prólogo

Hace ya décadas que el movimiento en favor de la protección del medio ambiente se centró de forma especial en la sostenibilidad. En aquellos años, el concepto se entendía en una única vertiente en la que el medio ambiente y el desarrollo sostenible constituían una unidad indisoluble.

Según el Informe Brundtland (1987) de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, desarrollo sostenible es aquel que **"satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias"**.

En la actualidad la aproximación al tratamiento de la sostenibilidad de la agricultura desde un enfoque multidimensional resulta imprescindible para lograr un equilibrio entre la preservación y mejora del medio ambiente, la equidad social y la viabilidad financiera y económica y redundar así en el bienestar de todos los sectores productivos y ámbitos sociales.

Así pues, extrapolando el término de sostenibilidad al ámbito agrario y teniendo en cuenta este enfoque multidimensional, podríamos definir agricultura sostenible como aquella que preserva los recursos naturales y mejora la calidad medioambiental, sin menoscabo de la competitividad de las explotaciones, satisfaciendo las necesidades básicas de fibra y alimentos de la población en términos de cantidad y calidad. Y ese sistema realmente sostenible, es la agricultura de conservación. Seguramente, el papel de la agricultura de precisión en este aspecto será cada vez más relevante con el paso de las campañas.

Uno de los retos más importantes a los que se enfrenta el sector agrario es sin duda, la mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático, con particular énfasis en aquellas regiones en las que es previsible un aumento de las temperaturas medias y de los regímenes pluviométricos erráticos, como es el caso de la mayoría de las regiones en España.

Con la publicación de la presente ficha técnica, la primera de un total de 5, el proyecto Life + AGRICARBON pretende, no sólo concienciar al agricultor de la importancia de tomar medidas para hacer frente al problema del cambio climático, sino además darle a conocer aquellas técnicas agrarias que le permitan llevar a cabo acciones de mitigación y adaptación, como son la agricultura de conservación y la agricultura de precisión.

Emilio J. González Sánchez
Director Proyecto Life + AGRICARBON
AEAC.SV

EL CAMBIO CLIMÁTICO, ¿QUÉ ES?

En los últimos años, mucho se está hablando sobre el cambio climático que nuestro planeta está experimentando y de las consecuencias que el mismo tendrá sobre nuestro estilo de vida. Pero realmente, ¿en qué consiste dicho proceso? y ¿cuáles son las causas que lo motivan y porqué?

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático usa el término cambio climático para referirse a las modificaciones que suceden en el presente y sólo por causas humanas: *"Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos comparables"*.

Lo cierto es que, en sus más de 4.400 millones de años de vida, nuestro planeta ha experimentado varios cambios climáticos y no siempre motivados por actividades humanas, como los calentamientos globales ocurridos en el Jurásico con temperaturas medias 5ºC por encima de las actuales, pasando por las glaciaciones del Pleistoceno, en las que gran parte de Norteamérica, Europa y el norte de Asia quedaron cubiertas bajo gruesas capas de hielo durante muchos años, hasta la llamada Pequeña Edad de Hielo ocurrida desde el siglo XIV hasta el siglo XIX. Por todo ello es conveniente abordar el término Cambio Climático desde una perspectiva más amplia.

Los elementos que constituyen el clima son básicamente cinco: la temperatura atmosférica, la presión atmosférica, el viento, la humedad y las precipitaciones. Dependiendo de cómo concurran una serie de factores como la latitud, al altitud, la distancia al mar, el relieve terrestre con respecto a la insolación y a la dirección de los vientos y las corrientes marinas, se establecerá un equilibrio entre estos los elementos constituyendo el clima de una determinada región.

Cualquier circunstancia que provoque variaciones temporales y/o espaciales de uno o varios de los elementos constituyentes del clima, causaría un cambio en el historial climático a una escala regional o global, produciéndose así, un cambio climático a dicha escala.

Estas circunstancias pueden ser externas o internas a la tierra. Entre las externas encontramos las variaciones de la actividad del sol, las variaciones orbitales de la tierra y los impactos de meteoritos, y entre las internas se contemplan la influencia de la deriva continental, las corrientes oceánicas, el campo magnético terrestre, la composición atmosférica y los efectos antropogénicos o derivados directamente de la actividad humana.

Por su importancia respecto al tema que nos ocupa, nos centraremos en la influencia que sobre el clima tiene, la composición de la atmósfera y las actividades humanas, y cómo la interacción entre estas dos circunstancias motivan las modificaciones climáticas que actualmente se están dando en nuestro planeta.

La atmósfera terrestre está compuesta principalmente por nitrógeno y oxígeno, con pequeñas cantidades de dióxido de carbono, vapor de agua, metano, óxido nitroso y CFC entre otros compuestos. Estos componentes, conocidos como Gases de Efecto Invernadero (GEI), condicionan en buena medida la temperatura de la tierra como se comentará posteriormente, posibilitando la vida tal y como la conocemos actualmente. Así pues, cualquier modificación de las cantidades de estos gases presentes en la atmósfera, alteraría el balance energético del sistema climático, produciéndose reajustes para restablecer el equilibrio entre la energía entrante y saliente de la tierra. La forma más directa de realizar este reajuste para eliminar el excedente de energía sería a través del calentamiento global de la superficie de la tierra y de las capas inferiores de la atmósfera, modificándose así la temperatura.

Por su parte, el ser humano, a través de sus actividades productivas, constituye hoy en día uno de los agentes climáticos más determinantes del planeta en las últimas décadas. Su influencia sobre el clima se basa en la realización de actividades que directamente afectan a las cantidades de GEI presentes en la atmósfera. Inicialmente con la deforestación de bosques para su conversión a tierras de cultivo y pastoreo, y posteriormente con la revolución industrial y un desarrollo basado en el consumo de combustibles fósiles, las actividades humanas suponen una abundante emisión de GEI que producen a su vez, un incremento de los mismos en la atmósfera, provocando el calentamiento global.

En la actualidad existe un amplio consenso científico, casi generalizado, en torno a la idea de que actualmente el planeta está sufriendo una alteración climática global provocada por nuestro modo de producción y consumo energético. El incremento de las temperaturas en los últimos 100 años ha sido de 0,76ºC; entre 1995 y 2010 se concentraron 12 de los 13 años más cálidos registrados desde 1850; la superficie helada del Ártico en verano se redujo un 7,4% por década... Todo ello constituye un serio problema que nos afectará a todos y que tendrá consecuencias no sólo sobre el medioambiente, sino también sobre la economía y la sociedad. Es necesario, por tanto, tomar una serie de medidas que permitan mitigar los efectos del cambio climático y adaptarnos a los posibles escenarios que se den como consecuencia del calentamiento global.

EL EFECTO INVERNADERO

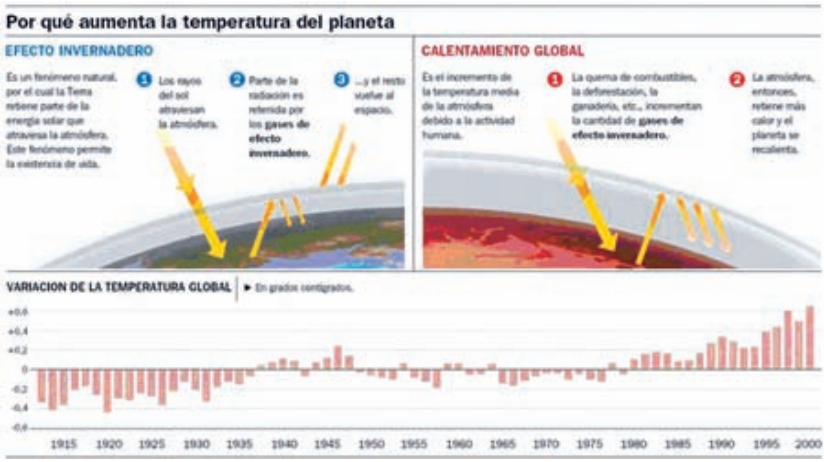
De la misma manera que un invernadero retiene el calor en su interior y hace posible que la temperatura sea la más adecuada para el desarrollo de las plantas que cobija, la atmósfera actúa como una cubierta protectora y transparente en torno a la tierra, haciendo que la temperatura de nuestro planeta sea la idónea para el desarrollo de la vida.

Ello lo consigue gracias a la presencia de los llamados GEI[1], los cuales, dejan pasar la radiación de onda larga procedente del sol y retienen gran parte de la radiación infrarroja ascendente de onda corta que emite la Tierra, impidiendo que la energía pase directamente de la superficie terrestre al espacio.

Esta retención de energía propicia el calentamiento de la superficie terrestre, haciendo que la temperatura media del planeta sea de unos 15ºC aproximadamente. Si no existieran los GEI, la temperatura sería unos 33ºC más baja, llegándose a una media de unos -18ºC, por lo que estaríamos hablando de un planeta congelado e inhóspito, en el que la vida, tal y como la conocemos hoy en día, no hubiera sido posible.

La mayor parte de los GEI se generan de forma natural. Sin embargo, a partir de la Revolución Industrial del siglo XVIII, la humanidad también los ha producido gracias al consumo de combustibles fósiles, provocando un rápido aumento de las concentraciones, intensificándose el efecto invernadero, ocasionando con ello un aumento de la temperatura en la tierra y como consecuencia, un cambio climático.

[1]Los principales GEI generados por la actividad humana son el CO_2 (dióxido de carbono), el CH_4 (metano), el N_2O (óxido nitroso), el O_3 (ozono) y los clorofluorocarbonos. Para poder sumar las cantidades de dichos gases, y contabilizar las emisiones totales de GEI, todos ellos se traducen a "CO_2 equivalente" mediante unos factores de conversión permitiendo así hacer referencia a una unidad común.



Fuente: IPCC, 2001

CONSECUENCIAS GENERALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Es difícil pronosticar en qué medida el cambio climático podría afectarnos, dado que el clima mundial es un sistema sumamente complejo. Pero la alteración de un aspecto clave del mismo, como la temperatura media global, tiene consecuencias sobre el resto de los elementos constituyentes del clima. Así, los efectos inciertos se adicionan: por ejemplo, podría cambiar el régimen de vientos y lluvias que ha prevalecido durante cientos y miles de años, y del cual depende la vida de millones de personas; podría subir el nivel de los mares y amenazar islas y zonas costeras bajas.

A modo de resumen, se desgrana a continuación, las consecuencias directas probables que el cambio climático podría tener sobre nuestro planeta:

TEMPERATURA

El último informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) estima que a finales del siglo XXI, las temperaturas serán entre 1,1 ºC (en el mejor

de los casos) a 6,4ºC (en el peor de los casos) más cálidas que en los niveles preindustriales (finales de 1800). Puede parecer que son aumentos pequeños, pero baste recordar que durante la última Edad del Hielo, que finalizó hace 11.500 años, la temperatura media del planeta era inferior a la actual en tan sólo 5ºC, y sin embargo, los hielos polares cubrían gran parte de Europa. A esto se debe sumar un manifiesto incremento de temperatura de aproximadamente 0,7° C durante el siglo XX, y la de Europa en particular en casi 1ºC. A nivel mundial, los cincos años más cálidos dese que se conservan registros (1860) han ocurrido en el periodo comprendido entre 1998 y 2009.

El aumento de temperatura provoca una expansión de los océanos por dilatación, contribuyendo así a la subida del nivel del mar. Las evidencias demuestran que en el siglo XX, el nivel medio del mar ascendió a una velocidad de 1,7 mm por año. Sin embargo, observaciones realizadas por satélite, muestran que dicho ascenso se sitúa en torno a los 3 mm por año a partir de 1993. Las predicciones auguran que a finales del siglo XXI, los océanos pueden situarse de 18 a 59 cm por encima de los niveles actuales, lo que tendrá impactos especialmente significativos en las zonas costeras en forma de inundaciones, erosión e intrusión de agua salada en las cuencas hidrográficas.

Asimismo, temperaturas más elevadas dan lugar a retroceso de glaciares y pérdida de capas de hielo en las regiones montañosas, que contribuyen a su vez, a la subida del nivel del mar. Ello tiene como consecuencias añadidas, el aumento del riesgo de deslizamiento de tierras y la reducción de la disponibilidad de agua dulce.

Por último, una mayor temperatura implica una mayor tasa de evaporación de las masas de agua, por lo que redundará en una menor disponibilidad de agua y aumento de las zonas en riesgo de desertización. Este fenómeno será especialmente relevante en las partes meridionales de Europa, dando lugar a mayores periodos de sequías y un mayor número de olas de calor.

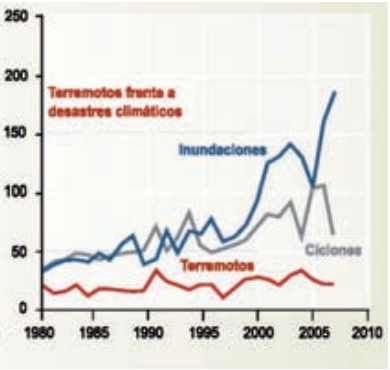
PRECIPITACIONES

El patrón de comportamiento futuro de las precipitaciones es menos claro que el de las temperaturas, por lo que los datos que arrojan los modelos de predicción están sometidos a un mayor grado de incertidumbre.

Según las últimas investigaciones, en el siglo XX aumentaron las precipitaciones en las latitudes medias del hemisferio Norte y disminuyeron en las regiones subtropicales y tropicales. Según los científicos, estos cambios no pueden explicarse si se intenta ignorar el efecto del cambio climático inducido por el hombre y, además, pueden haber tenido ya efectos significativos en los ecosistemas, la agricultura y la salud humana en regiones que son sensibles a los cambios de las precipitaciones.

En lo que a España se refiere, los modelos proyectan una tendencia progresiva a la disminución, que será más acusada a partir de mitad de siglo. La reducción

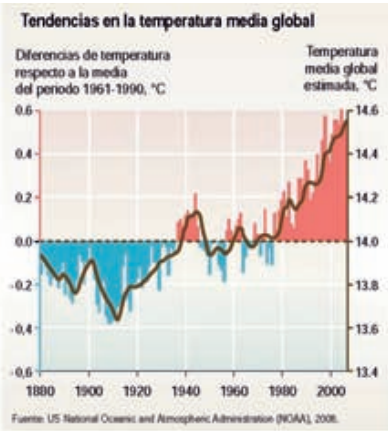
de precipitaciones será de un 5% en la mitad norte, y cercanos al 10% en el suroeste peninsular en el período 2011-2040, hasta alcanzar en el último tercio del siglo (2070-2100) reducciones en el promedio de precipitaciones anuales del 15% al 25% en las regiones de la mitad norte y del 20% al 30% en el tercio sur peninsular.



Fuente: CRED Annual Disaster Statistical Review 2006, 2007.

Por otro lado, las evaluaciones más recientes predicen que debido al cambio climático, es probable que aumenten los episodios de precipitaciones más intensas y localizadas en los próximos años. Esto se debe a que a mayor temperatura, las masas de aire son capaces de retener una mayor cantidad vapor de agua, la cual ante condiciones cambiantes de presión o temperatura, precipitará de forma brusca y localizada dando lugar a lluvias torrenciales.

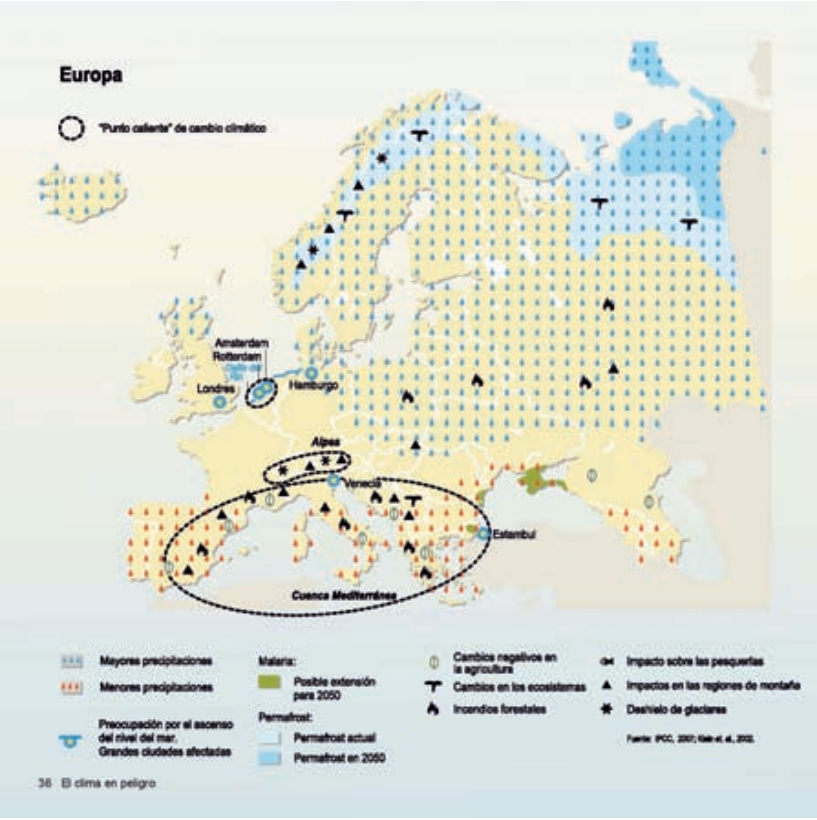
Por lo tanto, la incidencia del cambio climático no sólo afectará a la cuantía total de las precipitaciones, sino que además también se verán modificadas sus patrones de distribución espacio-temporal. Todo ello dará lugar a fenómenos meteorológicos extremos más intensos y frecuentes, como inundaciones y tormentas.



EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA AGRICULTURA

Si hay alguna actividad productiva que dependa directamente del clima y de su variabilidad, ésta es sin duda la agricultura. Un cambio de los patrones de comportamiento de las temperaturas y precipitaciones, o el incremento de la concentración del CO_2 atmosférico, afectarán de una manera significativa al desarrollo de los cultivos.

Si bien algunos aspectos del cambio climático, como el incremento del periodo de las estaciones de crecimiento y el aumento de la temperatura pueden resultar beneficiosos, también tendrán lugar impactos negativos y adversos, como la falta de disponibilidad de agua y la ocurrencia de fenómenos climatológicos extremos de manera más frecuente. Así pues, según se mire, el cambio climático puede suponer oportunidades o riesgos para la agricultura según la zona que consideremos, en base a las características climáticas de la región, de los cultivos y de los cambios potenciales que puedan darse.



Consecuencias del cambio climático en Europa. Fuente: IPCC, 2007; Klein et al., 2002. Imagen extraída de la publicación "El clima en peligro. Una guía fácil del cuarto informe del IPCC" publicada por GRID-Arendal y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Particularizando para Europa, las regiones septentrionales experimentarán veranos más cálidos y secos, inviernos más húmedos, además de un aumento del nivel del mar. Esto dará lugar a estaciones de crecimiento más prolongadas, pero también un mayor riesgo de inundaciones. Mientras tanto, las regiones mediterráneas serán las más afectadas por altas temperaturas y por la disminución de precipitaciones, cuyos eventos serán además de naturaleza torrencial. Todo ello conllevará una disminución en la superficie de suelo apta para el cultivo, no sólo por las condiciones climáticas adversas, sino por el aumento de la erosión y la pérdida de calidad de los suelos y del agua como consecuencia de los eventos extremos de lluvia.

Por su parte, se podría pensar que el aumento de la concentración de CO_2 en la atmósfera podría favorecer a la productividad agraria, incrementando su biomasa y su eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, estudios recientes cuestionan

hasta qué punto estos efectos directos del CO_2 se manifiestan en condiciones de cultivo en donde la planta está sometida a otros factores limitantes que hagan que la producción final decline, como aumentos de temperatura de 1ºC a 3ºC, menor disponibilidad de agua para la planta, aumento de la incidencia de plagas o enfermedades y empeoramiento de la calidad del suelo y del agua.

La siguiente tabla resume los posibles efectos positivos y negativos de cambios en el clima para la producción de cultivos:

Factor de cambio	Posibles beneficios	Posibles efectos negativos
Aumento del temperatura	Periodos de crecimiento más largos	Aumento del estrés térmico por las temperaturas ambientales
	Periodos de crecimiento más rápidos	Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades
	Nuevos cultivos en zonas frías	Problemas de floración y cuajado por daños en la vernalización
Variación de las precipitaciones	Aumento de la productividad	Aumento de las inundaciones y salinización
	Disminución de la demanda de agua	Aumento de la frecuencia de sequías
	Aumento de las garantías de abastecimiento de agua	Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades
		Aumento de la erosión
Aumento de la concentración de GEI	Incremento de la fertilización por la mayor concentración de CO_2 atmosférico	Efectos negativos de otros gases

Adaptado de Iglesias et al 2007

Lógicamente, los potenciales beneficios y efectos negativos descritos en la tabla anterior no se darán en todas las regiones, dependerán en buena medida de lo que el cambio climático suponga respecto a las condiciones de partida de cada región. Realizando un rápido análisis de la situación cabría pensar que en general, se producirían cambios en la zonificación y productividad de los cultivos, desplazándose con ello las áreas óptimas de desarrollo de los mismos hacia zonas más septentrionales, estableciéndose así un nuevo mapa de cultivos, en los que los países más fríos pasarán a ocupar el papel agrícola que hasta ahora estaban desempeñando los países cálidos y templados.

El siguiente cuadro resume el grado de certidumbre para cada uno de los riesgos y oportunidades que supone el cambio climático en Europa en base a la zona agroclimática considerada:

Descripción	Boreal	Atlántica	Continental	Alpina	Mediterránea
RIESGOS					
Cambios de superficie de cultivo, debido a disminución de las condiciones óptimas para su desarrollo		Medio	Medio	Medio	Alto
Disminución de la productividad de los cultivos		Medio	Medio	Medio	Medio
Aumento del riesgo de plagas agrícolas, enfermedades, malas hierbas	Alto	Alto	Alto	Medio	Alto
Disminución de la calidad de los cultivos		Medio	Medio		Alto
Aumento del riesgo de inundaciones	Alto	Alto	Alto	Alto	
Aumento del riesgo de sequía y escasez de agua		Alto	Alto	Alto	Alto
Aumento de necesidades de riego		Medio	Alto		Alto
Deterioro de la calidad del agua	Alto	Alto		Alto	
Erosión de suelos, salinización, desertificación	Alto	Medio	Alto	Alto	Alto
Pérdida de glaciares y permafrost (suelos con hielo, que actúan como reserva de agua)	Medio			Alto	
Deterioro de las condiciones para la producción ganadera	Alto	Bajo	Bajo	Alto	Medio
Elevación del nivel del mar	Alto	Alto	Alto		Alto
OPORTUNIDADES					
Cambios en la distribución de cultivos para aumentar la agricultura en óptimas condiciones	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio
Aumento de la productividad de los cultivos	Medio	Medio		Alto	
Disponibilidad de agua	Alto	Alto		Medio	
Disminución de los costes de energía para los invernaderos	Medio	Medio	Medio		Medio
Mejora de la productividad de la ganadería	Alto	Alto	Alto	Alto	

Fuente: Iglesias et al, 2007.

Boreal
Atlántica
Continental
Alpina
Mediterránea

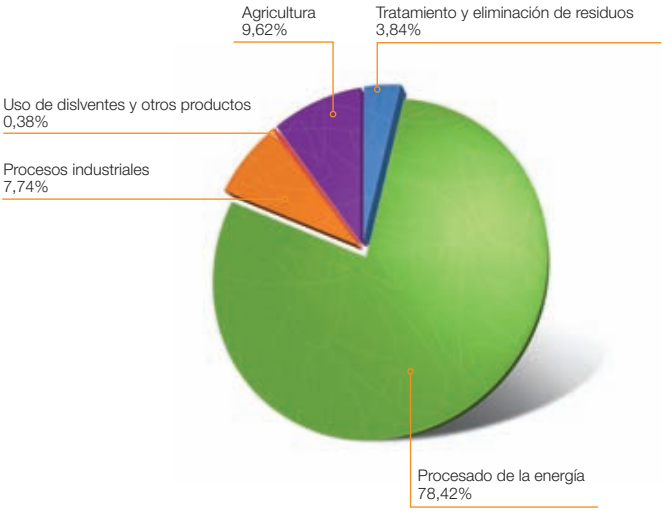
El siguiente cuadro muestra de manera general, las oportunidades y los riesgos que para los cultivos mediterráneos, podrían tener los nuevos escenarios que se darían debido al cambio climático.

Cultivos	Oportunidades	Riesgos
Cereales de primavera y cultivos forrajeros	Beneficios por incremento del periodo libre de heladas	Daños por estrés térmico y sequía en primavera
Cereales de invierno Hortícolas Hortícolas protegidas	Disminución del apoyo de calefacción Ampliación de calendarios y gamas de productos	Daños en la vernalización por incremento de temperaturas en invierno Daños por estrés térmico y sequía en primavera Incremento de las necesidades de riego Aumento de plagas y enfermedades durante todo el ciclo
Viñedo	Introducción de nuevas variedades	Variación de la calidad y del grado alcohólico para vinificación Mayores necesidades de agua por superficie

Fuente: Iglesias et al, 2009.

FUENTES DE EMISIÓN DE GEI EN LA AGRICULTURA

Se estima que en la Europa de los 27, la agricultura fue responsable en el año 2007 del 9,2% de las emisiones de GEI de origen antropogénico. En España, según la edición de 2010 del Inventario de GEI de España cuyo informe publica regularmente el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, el sector agrícola fue responsable en el año 2009 del 9,6% de las emisiones de GEI de origen antropogénico. Si bien ese trata de un porcentaje menos elevado que los de otros sectores como el sector energético e industrial, sí supone que la agricultura sea en la actualidad la cuarta actividad emisora en nuestro país.



En dicho informe se recoge que la agricultura tuvo especial incidencia en las emisiones de N_2O y CH_4, representando el 79% y el 52% respectivamente del total de emisiones referidas a estos gases.

Pero, ¿cómo se generan los GEI en la agricultura?, las fuentes son diversas:

El metano (CH_4) procede de la descomposición de materiales orgánicos en condiciones de falta de oxígeno, como fermentación anaerobia a causa de la digestión en rumiantes, estiércol almacenado, y arroz bajo condiciones de inundación.

El óxido nitroso (N_2O) se genera por la transformación microbiana del nitrógeno del suelo y del estiércol, y a menudo aumentado cuando el nitrógeno disponible en el suelo excede los requerimientos de la planta, especialmente bajo condiciones de humedad.

Respecto a las emisiones de CO_2, existe un intercambio entre la atmósfera y las superficies dedicadas a la agricultura que hace que el neto de emisión sea bajo (0,04 t al año). En este balance no se está teniendo en cuenta las emisiones debidas al consumo de electricidad, de gasoil y al consumo energético que tiene lugar por la participación en el proceso productivo de la maquinaria y de los insumos agrarios.

Las emisiones de CO_2 en la agricultura vienen dadas fundamentalmente por la acción del laboreo sobre la dinámica del carbono en el suelo y por el consumo energético de cada uno de los factores involucrados en las operaciones agrícolas.

Así, el laboreo estimula la producción y acumulación de CO_2 en la estructura porosa del suelo a través de los procesos de mineralización de la materia orgánica (MO). La acción mecánica del laboreo supone una rotura de los agregados del suelo, con la consiguiente liberación del CO_2 atrapado en el interior de los mismos y su posterior emisión a la atmósfera.

El consumo energético asociado a las diferentes prácticas agrícolas (laboreo, aplicación de abonos y enmiendas, riego, tratamientos fitosanitarios) se lleva a cabo con el uso de combustibles fósiles, especialmente gasóleo, lo que implica inevitables emisiones a la atmósfera de GEI. Así pues, el laboreo implica un mayor consumo de combustibles fósiles, lo que conlleva una mayor contaminación atmosférica debido a la emisión de CO_2 procedente de dicha combustión, con el consiguiente efecto potencial de esta contaminación sobre el cambio climático global.

Otra de las consecuencias del laboreo convencional es la disminución del contenido de carbono orgánico del suelo, lo que reduce el efecto sumidero de los ecosistemas agrarios.

ESTRATEGIAS PARA LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DESDE LA AGRICULTURA

Frente al cambio climático existen dos tipos de intervenciones posibles: control de las emisiones de GEI (mitigación) y ajustes a las consecuencias del cambio (adaptación).

La agricultura, para ser una actividad viable en un futuro, ha de jugar necesariamente ese doble papel, potenciando aquellas prácticas que contribuyan a la reducción de las emisiones de GEI y desarrollando aquellas estrategias que permitan a los agricultores adaptarse y aprovechar las oportunidades que se den en los nuevos escenarios consecuencia del cambio climático.

Mientras que las medidas de mitigación actúan a un nivel global, contribuyendo a reducir las emisiones de GEI en todo el planeta, las medidas de adaptación, aunque más amplias, suelen ser locales, ya que los impactos del cambio climático son diferentes según las regiones en las que se den. Es por ello que en cada zona, habría que realizar un estudio previo de las necesidades existentes, para así establecer prioridades y determinar qué medida es la idónea. Aún así, en relación a la adaptación, existen una serie de pautas generales que podrán tomarse como un punto de partida desde el cual, desarrollar acciones concretas en cada zona adaptándose a cada situación.

MITIGACIÓN

Las oportunidades para mitigar el cambio climático en la agricultura se pueden agrupar en tres grandes categorías, según el mecanismo empleado:

- **Reducción de las emisiones:** Como se ha comentado anteriormente, la agricultura libera a la atmósfera cantidades significativas de CO_2, CH_4 y N_2O. Los flujos de estos gases pueden reducirse mediante una gestión más eficiente de los ciclos de carbono y nitrógeno en las prácticas de cultivo.

  Reducción de las emisiones de CO_2

  Los avances en el control de malas hierbas y en la maquinaria agrícola permiten que muchos cultivos puedan ser implantados bajo prácticas agrícolas menos emisoras como la agricultura de conservación, cuyo principio es el no laboreo y el mantenimiento de una cobertura vegetal sobre el suelo.

  Dado que la perturbación del suelo tiende a estimular, gracias a una mayor descomposición y una mayor erosión, las pérdidas del C orgánico y la emisión del CO_2 “atrapado” en los agregados del suelo, técnicas como la siembra directa o las cubiertas vegetales, las cuales eliminan el laboreo del suelo, consiguen según algunas investigaciones, reducir hasta 3,8 veces las emisiones cuantificadas con una labor más superficial (10 cm) y en hasta 10,3 veces la emisiones en el caso de labores más profundas (28 cm) (Reicosky et al., 2007).

Reducción de las emisiones de N_2O

Por su parte, ir a sistemas con una menor dependencia de los fertilizantes nitrogenados o que conlleven una utilización más racional y eficiente de los mismos reduciría la emisión de N_2O. Como ejemplo de disminución de los aportes nitrogenados tenemos la introducción de leguminosas en las rotaciones de los cultivos.

El uso más eficiente y racional de los fertilizantes pasa por realizar un ajuste de las dosis aplicadas basándose en la estimación precisa de las necesidades de los cultivos, que podría realizarse gracias a la agricultura de precisión, a la utilización de fertilizantes de liberación lenta o inhibidores de la nitrificación, evitándose así demoras entre la aplicación y la absorción del nitrógeno (Smith et al, 2008).

En regiones húmedas, el drenaje de tierras agrícola puede promover la productividad y quizá suprimir las emisiones de N_2O gracias a una mayor aireación del suelo, aunque la percolación del nitrógeno a través del drenaje puede por el contrario, perderse en forma gaseosa (Smith et al, 2008).

Reducción de las emisiones de CH_4

La práctica de drenado también puede servir para reducir las emisiones de CH_4 en los cultivos del arroz, realizándose en varias ocasiones durante el periodo de crecimiento. Así pues, se ha comprobado que la interrupción de los periodos de inundación o una inundación a menor altura en los cultivos de arroz disminuyen las emisiones de metano.

Otra vía para reducir las emisiones en los cultivos de arroz, es la utilización de variedades con una baja tasa de exudación radicular. Estos exudados son en parte responsables de que el metano sea oxidado por microorganismos anaerobios dando lugar a su liberación a la atmósfera (Smith et al, 2008).

Las opciones de mitigación para reducir las emisiones de la ganadería pasan por mejorar la gestión de los residuos ganaderos y la mejora de la digestibilidad en la alimentación del ganado rumiante a través de dietas mejoradas, enfocadas a favorecer la digestibilidad de los alimentos y los piensos.

- **Aumento de los sumideros de CO_2:** Los ecosistemas agrícolas tienen grandes reservas de Carbono (C) (IPCC 2001), sobre todo en materia orgánica del suelo. Históricamente, estos sistemas han perdido más de 50 millones de toneladas de C (Paustian et al. 1998; Lal 1999, 2004), aunque parte del C perdido puede recuperarse a través de una mejor gestión, disminuyendo por tanto la concentración de CO_2 atmosférico.

  Cualquier práctica que aumenta la entrada de C a través de la fotosíntesis o disminuya su retorno a la atmósfera producido por la respiración o por

los incendios aumentará el C almacenado en el suelo, secuestrando el CO_2 atmosférico aumentando así la capacidad sumidero de los ecosistemas agrarios.

Muchos estudios en todo el mundo han demostrado que cantidades significativas de carbono del suelo se pueden almacenar de esta manera, a través de una serie de prácticas adaptadas a las condiciones locales, como la agricultura de conservación (Lal, 2004). Como ejemplo, en la campiña andaluza, después de 19 años de ensayo, se observó un incremento de 18 toneladas por hectárea en el contenido de Carbono orgánico bajo siembra directa en una rotación trigo-girasol-leguminosa, mientras que en laboreo convencional no se apreció incremento alguno (Ordóñez et al, 2007)

El C vegetal también se puede almacenar de forma significativa en los sistemas agroforestales, plantaciones perennes en tierras agrícolas o mediante cultivos con raíces profundas que contribuyan a fijar el carbono a mayor profundidad y siendo por tanto más difícil su liberación a la atmósfera (Albrecht y Kandji 2003).

Además, el aumento del contenido de carbono en los suelos ofrece beneficios adicionales para la fertilidad del suelo, la biodiversidad, la productividad y la mejora de la capacidad de almacenamiento de agua. Estos esfuerzos ayudan a estabilizar y aumentar la producción y optimizar el uso de insumos y revertir la degradación del suelo, restaurando la salud ecológica de los mismos.

- **Aumento de la eficiencia energética y reducción de la dependencia de los combustibles fósiles:** Cualquier proceso que suponga un gasto energético y/o de combustible implica de manera intrínseca emisiones de CO_2 a la atmósfera. En este sentido, el establecimiento de sistemas de manejo agrario basados en una reducción del consumo energético y de los combustibles fósiles, o que conlleve le uso de energías renovables representa una oportunidad para mitigar los efectos del cambio climático.

  La reducción en el consumo energético y de combustible puede abordarse desde varias perspectivas:

  En los sistemas de manejo del cultivo, buena parte del consumo energético y de combustible es atribuible a las operaciones de laboreo del suelo. Por un lado, gracias a sistemas de manejo como la agricultura de conservación que suprimen las labores sobre el suelo, se reducen el número de operaciones totales en el cultivo, pudiéndose llegar a ahorros energéticos y de consumo de combustible de hasta el 50%.

  Otra opción para reducir el consumo energético se basa en la optimización de las dosis aplicadas y correcta ejecución de las operaciones de cultivo. En este sentido, la utilización de sistemas de aplicación variable en las operaciones de fertilización y tratamientos, así como el uso de los sistemas

de ayuda al guiado y guiado automático por GPS, propios de las tecnologías de precisión, suponen una gran ventaja, permitiendo un ahorro adicional de energía por encima del 10%.

Por último, la utilización de combustibles no fósiles, procedentes de restos vegetales como el biodiesel o el bioetanol también emiten CO_2 mediante su combustión, pero al contrario que los combustibles fósiles, el C emitido a la atmósfera de origen reciente (a través de la fotosíntesis).De esta manera se establece un equilibrio entre el CO_2 fotosintetizado y el emitido, no añadiéndose nuevo carbono al sistema. El beneficio neto de estas materias primas bioenergéticas a la atmósfera sería el equivalente a las derivadas de las emisiones del consumo de combustibles fósiles no utilizados menos las emisiones causadas por su producción, transporte y procesamiento.

En la tabla se resumen las estrategias y actuaciones a realizar en el sector agrario para la mitigación de GEI:

Estrategia de Mitigación		Actuaciones
Reducción de emisiones	Reducción de emisiones de CO_2	Eliminación de la quema de rastrojo Reducción del laboreo Uso eficiente de la energía para reducir la dependencia de los combustibles fósiles
	Reducción de emisiones de CH_4	Mejora de las tecnologías de cultivo de arroz Mejora del manejo del estiércol y de la alimentación animal Eliminación de la quema de rastrojo
	Reducción de emisiones de N_2O	Desarrollo y promoción de tecnologías para la mejora de la eficiencia del uso fertilizantes Mejora de los métodos biológicos de fijación de nitrógeno en los sistemas agrícolas
Aumento de los sumideros de CO_2		Mejora de la gestión de cultivos y pastizales, promoviendo la silvicultura, los cultivos de cobertura y la gestión de los restos de cosecha Restauración de tierras degradadas
Reducir la dependencia de recursos no renovables		Promoción de tecnologías de eficiencia energética Reducción del uso de fertilizantes químicos y productos químicos de control de plagas a través de enfoques de gestión integrada

Fuente: Abrol (2009)

ADAPTACIÓN

El término “adaptación” se refiere a todos los ajustes que son necesarios realizar en un sistema (en nuestro caso, el sistema agrario) para dar respuesta a los cambios reales o previstos que se den como consecuencia del cambio climático, reduciendo así la vulnerabilidad de los mismos y aprovechando las oportunidades dadas por los nuevos escenarios climáticos.

Los agricultores, en su labor cotidiana, siempre han tenido que tomar decisiones para adaptar sus cultivos a las cambiantes condiciones climáticas que ya de por sí se dan de una campaña a otra. Hasta el momento, dichas decisiones se han basado en la alteración de los patrones de los cultivos o cambios en la gestión de los mismos, pero parece que estas medidas no serán del todo suficientes para afrontar los impactos esperados a medio y largo plazo.

Las estrategias de adaptación han de tener en cuenta, lógicamente, los cambios esperados según la región agroclimática considerada, ya que de nada tendrán que ver las medidas que adoptadas en una región de clima continental con las adoptadas en una región con clima boreal.

Centrándonos en las condiciones de la Península Ibérica, con predominio del clima mediterráneo, en la que la tendencia de cambio augura incrementos de temperatura, disminución de la disponibilidad de agua y precipitaciones más concentradas e intensas, los mayores riesgos para los agricultores podrían derivarse de la reducción de las cosechas y los conflictos en el suministro de agua.

En la siguiente tabla, se enumeran para cada riesgo, las posibles actuaciones a acometer en los cultivos para adaptarse a las consecuencias del cambio climático.

Riesgo	Reducción de la superficie óptima para el desarrollo de los cultivos
Causas	Cambios en la distribución de las precipitaciones mensuales Aumento de la temperatura en los períodos críticos Aumento de la erosión del suelo Pérdida de la capacidad de retención de agua en el suelo

Consecuencias en la agricultura	**Medidas de adaptación**
Alteración de las condiciones para el óptimo desarrollo de la agricultura, poniendo en riesgo los ingresos rurales	Diversificación de los medios de subsistencia Fortalecimiento de la capacidad local para reducir la susceptibilidad de los cultivos Cambio de los sistemas de almacenamiento a temperatura ambiente por cámaras frigoríficas Mejora de la gestión del riego Modificación de las prácticas de cultivo Modificación de la estrategia de aplicación de plaguicidas (aplicación adicional en invierno y reducción de aplicación en verano) Migración del cultivo de trigo hacia zonas más favorables Implantación cultivos intercalados Aumento de la inversión en la mejora de trigo
Pérdida de especies autóctonas	Utilización de cultivos resistentes a la sequía Contratación de seguros agrarios
Degradación de los suelos debido a cambios en el uso de la tierra	Mejora de la gestión del carbono mediante la utilización de agricultura de conservación Mejora de la gestión de suelos y cultivos a través de la agricultura de precisión
Abandono de la tierra debido a la falta de condiciones óptimas para el desarrollo de los cultivos	Intensificación de los esfuerzos de investigación y mejorar de la formación de agricultores Diversificación de los medios de subsistencia

Riesgo	Disminución de la productividad y la calidad de los cultivos
Causas	Cambios en la distribución mensual de las precipitaciones Incremento de la temperatura en periodos críticos del cultivo (estrés térmico) Pérdida de la capacidad de retención de agua del suelo

Consecuencias en la agricultura	**Medidas de adaptación**
Descenso del rendimiento	Utilización de variedades resistentes al calor Adelanto de la fecha de siembra, para promover la maduración antes de la época estival Promoción de servicios de asesoramiento a los agricultores sobre las prácticas de cultivo apropiadas y nuevos cultivos
Incremento del riesgo en la producción	Contratación de seguros agrarios Diversificación de los cultivos
Abandono de tierras	Diseño de planes de adaptación regional Diversificación de los medios de subsistencia
Reducción de la calidad de frutas y hortalizas	Utilización de pantallas térmicas Utilización de sistemas de control de temperatura Utilización de termostatos y sistemas de refrigeración
Daños en la formación del grano debido a estrés térmico	Utilización de pantallas térmicas Utilización de sistemas de control de temperatura Utilización de termostatos y sistemas de refrigeración

Riesgo	Incremento del riesgo de plagas, enfermedades y malas hierbas
Causas	Aumento de zonas encharcadas Incremento de las temperaturas medias

Consecuencias en la agricultura	**Medidas de adaptación**
Aumento de la población de plagas y de sus áreas de influencia	Utilización de variedades resistentes Utilización de métodos de lucha integrada Seguimiento de los patrones de comportamiento para desarrollar programas de control de plagas Utilización de termostatos y sistemas de refrigeración
Contaminación por el aumento del uso de pesticidas	Desarrollo de estrategias sostenibles de aplicaciones de pesticidas Establecimiento de sistemas de apoyo y asesoramiento a los agricultores

Riesgo	Aumento del riesgo de sequías y de la escasez de agua
Causas	Descenso de las precipitaciones anuales y estacionales Incremento de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos (sequías y olas de calor)

Consecuencias en la agricultura	**Medidas de adaptación**
Disminución de la disponibilidad de agua	Aumento de la capacidad de retención de agua de los suelos y reducir la escorrentía (mediante técnicas que aumenten la materia orgánica del suelo y provean de cobertura vegetal al suelo, como la agricultura de conservación, franjas verdes) Incremento la capacidad de recogida de aguas de lluvia (Instalación de depósitos de agua a pequeña escala en tierras de cultivo) Mejora de la eficiencia en el uso del agua Modificación de las técnicas de cultivo (adelanto de las fechas de siembra, aumento de la distancia entre líneas de cultivo) Utilización de variedades resistentes a la sequía, cultivos forrajeros
Incremento de las necesidades de riego	Realización de mejoras técnicas en los equipos de riego para mejorar su eficiencia Modificación de la estrategia de riego (riego por goteo, riego nocturno)
Pérdida de calidad del agua	Implantación de franjas vegetales de protección junto a los cursos de los río para reducir la lixiviación de nutrientes Desarrollo de fertilizantes menos contaminantes Utilización de leguminosas para reducir la fertilización nitrogenada Aumento de la eficiencia del uso de fertilizantes (técnicas de distribución sitio específica)

Riesgo	Incremento del riesgo de inundaciones
Causas	Aumento de eventos climáticos extremos Pérdida de la capacidad de retención de agua en el suelo

Consecuencias en la agricultura	**Medidas de adaptación**
Aumento del gasto en medidas de emergencia y la rehabilitación	Desarrollo de planes de contingencia Creación / restauración de los humedales Mejora de la gestión de zonas inundables Realización de obras de defensa frente a inundaciones
Mayor frecuencia de las inundaciones y aumento de su intensidad	Aumento de la capacidad de interceptación de las precipitaciones mediante establecimiento de coberturas vegetales Establecimiento medidas compensatorias para que los agricultores adopten medidas de protección en zonas inundables Reducción de la presión de pastoreo para así proteger el suelo frente a la erosión ocasionada por inundaciones repentinas
Incremento de los daños por inundaciones y tormentas	Aumento de la capacidad de interceptación de las precipitaciones Aumento de la infiltración del suelo (laboreo según curvas de nivel, coberturas vegetales, setos) Aumento del drenaje de los suelos Incremento de materia orgánica en los suelos arcillosos Contratación de seguros para las infraestructuras de la explotación

Riesgo	Erosión del suelo, salinización y desertificación
Causas	Incremento de las temperaturas Aumento del nivel del mar Disminución de la precipitación Mayor incidencia de fenómenos climáticos extremos (sequías , olas de calor, lluvias torrenciales)

Consecuencias en la agricultura	**Medidas de adaptación**
Desertificación debida al déficit hídrico en los suelos, pérdida de la estructura de suelo, abandono de tierras	Diversificación de los medios de subsistencia Fortalecimiento la capacidad a nivel local para reducir la sensibilidad a la degradación de suelos Intensificación de los esfuerzos de investigación y mejorar de la formación de agricultores
Incremento de la salinización	Cambio a cultivos más tolerantes a la salinidad Identificación de áreas propensas a las inundaciones por el aumento del nivel del mar, como zonas susceptibles de retirada de tierras
Incremento de la erosión	Modificación de las prácticas de barbecho y de abonado para retener la humedad y materia orgánica Utilización de cultivos intercalados para optimizar el uso de la humedad del suelo
Cambios en drenaje del suelo de drenaje incrementándose la salinidad	Modificación de las prácticas de barbecho y de abonado para retener la humedad y materia orgánica
Aumento del encharcamiento	Inversión en maquinaria y desarrollo y difusión de buenas prácticas que reduzcan al mínimo los efectos adversos de la acumulación de agua
Pérdida de ingresos rurales	Modificación de las prácticas de barbecho y de abonado para retener la humedad y materia orgánica Diversificación de los medios de subsistencia Fortalecimiento la capacidad a nivel local para reducir la sensibilidad a la degradación de suelos

Tablas adaptadas del informe “Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector”. AGRI-2006-G4-05.

BIBLIOGRAFÍA

Abrol, I.P. (2009). Conservation Agriculture as an adaptive and mitigation strategy to combat Climate Change. *Conservation Agriculture. Getting agriculture to work people and the Environment*, Issue 8. 1-3

Albrecht A, Kandji S.T. (2003) Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystem & Environment,* 99. 15–27

Iglesias, A.; Medina, F. (2009). Consecuencias del cambio climático para la agricultura: ¿un problema de hoy o del futuro? *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, nº 221. 45-70.

Iglesias, A.; Avis, K.; Benzie, M.; Fisher, P.; Harley, M.; Hodgson, N.; Horrocks, L.; Moneo, M. y Webb, J. (2007). Adaptation to Climate Change in the Agricultural Sector. AGRI-2006-G4-05. *Report to European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. ED05334*. Issue Number 1. December 2007. AGRI/2006-G4-05.

Informe Bruntland (1987) Comisión Mundial para el Desarrollo y el Medio Ambiente. Our common future (Ed: Oxford University Press)

IPCC, 2001: Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Integovernmental Panel on Climate Change [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 398 pp.

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

Klein Tank, A. M. G., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálsdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, M., Maugeri, M., Leitass, A., Bukantis, A., Aberfeld, R., van Engelen, A. F. V., Forland, E., Mietus, M., Coelho, F., Mares, C., Razuvaev, V., Nieplova, E., Cegnar, T., Antonio López, J., Dahlström, B., Moberg, A., Kirchhofer, W., Ceylan, A., Pachaliuk, O., Alexander, L. V. and Petrovic, P. (2002), Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology, 22*: 1441–1453. doi: 10.1002/joc.773

Lal, R. (1999). Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. *Progress in Environmental Science,* 1:44, 307-326.

Lal, R. (2004). Soil Carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science,* 304. 1623-1627.

Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría de Estado de Cambio Climático. *Inventario de Gases de efecto invernadero de España. Edición 2010 (serie 1990-2008). Sumario de Resultados.* MARM 2010.

Ordóñez Fernández, R; González Fernández, P.; Giráldez Cervera, J.V.; Perea Torres, F. (2007). Soil properties and crop yields after 21 years of direct drilling trials in southern Spain. *Soil and Tillage Research,* 94. 47-54.

Paustian, K.; Andren, O.; Janzen, H.H. Lal, R.; Smith, P.; Tian, G.; Tiessen, H.; Vannoordwijk, M. and Woomer, P.L. (1997). Agricultural soils as a sink to mitigate CO_2 emissions. *Soil Use Manage*, 13. 230-244.

Reicosky, D.C. and Archer, D.W. (2007). Moldboard plow tillage depth and short-term carbon dioxide release. *Soil and Tillage Research,* 94. 109-121.

Smith, P.; Martino, D.; Cai, Z.; Gwary, D.; Janzen, H.; Kumar, P.; McCarl, B.; Ogle, S.; O'Mara, F.; Rice; C:; Scholes, B.; Sirotenko, O.; Howden, M.; McAllister, T.; Pan, G.; Romanenkov, V.; Schneider, U.; Towprayoon, S.; Wattenbach, M. y Smith, J. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363. 789–813

CONTACTO
Asociación Española Agricultura de Conservación. Suelos Vivos
IFAPA Centro "Alameda del Obispo"
Avda. Menéndez Pidal s/n
14004 Córdoba
Tel: 957 422 099
Fax: 957 422 168
www.agricarbon.eu
email: info@agricarbon.eu

Esta publicación ha sido posible gracias a la contribución financiera el Programa Life de la Unión Europea

Life+AGRICARBON
AGRICULTURA SOSTENIBLE EN LA ARITMÉTICA DEL CARBONO
SUSTAINABLE AGRICULTURE IN CARBON ARITHMETICS

AEAC.SV
Asociación Española Agricultura de Conservación Suelos Vivos

JUNTA DE ANDALUCIA

Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA Y PESCA

UNIVERSIDAD D CÓRDOBA

ECAF
European Conservation Agriculture Federation