

Consecuencias del cambio climático para la agricultura: ¿un problema de hoy o del futuro? (*)

ANA IGLESIAS (**)

FELIPE MEDINA (***)

1. INTRODUCCIÓN

El gran volumen de referencias que se han publicado sobre el cambio climático en los últimos dos años es el resultado de una preocupación política, especialmente en relación con el futuro de la energía y del uso de los recursos naturales. Los efectos incuestionables de la variación climática observada sobre glaciares, ecosistemas naturales e intervenidos de muchas regiones (Rosenzweig *et al.*, 2008) y sobre el número alarmante de fenómenos climáticos extremos (IPCC 2007; Schär *et al.*, 2004) ponen de manifiesto la necesidad de que los gobiernos intervengan para afrontar los retos del cambio climático.

Existen dos tipos de intervenciones políticas frente al cambio climático: control de las emisiones de gases de efecto invernadero (mitigación) y ajustes a las consecuencias del cambio (adaptación). El Protocolo de Kyoto de la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (UNFCCC, 1992) impone reducciones de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a los países que lo ratifican. De acuerdo con la Convención Marco hay una clara diferencia entre mitigación (reducción de las emisiones o incremento del secuestro de carbono, por ejemplo, con el incremento de las masas

(*) Agradecemos las respuestas de numerosos agricultores anónimos que han participado en el proyecto PICC-MAT del Sexto Programa Marco de la Unión Europea. También agradecemos la financiación del proyecto ARCO del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

(**) Universidad Politécnica de Madrid.

(***) COAG.

forestales) y adaptación (medidas para reducir los impactos, riesgo de daños y la vulnerabilidad al cambio climático). Hasta muy recientemente, las negociaciones del UNFCCC se han basado fundamentalmente en la mitigación, pero ahora está claro que los objetivos de sostenibilidad futura tienen que incluir también políticas de adaptación. En contraste con la clara definición de los términos «cambio climático» y «mitigación», los conceptos de impactos, vulnerabilidad, riesgo y adaptación no están definidos ni en la Convención Marco sobre el Cambio Climático ni en el Protocolo de Kyoto. Los términos se usan en el lenguaje común y en muchos contextos científicos y políticos, lo que conduce a expectativas equivocadas en el contexto de cambio climático y añade complejidad al diseño de políticas de adaptación. Sin embargo, es imprescindible comprender y cuantificar las respuestas al cambio climático puesto que son la base de las consecuencias para la sociedad. En el informe Stern (Stern *et al.*, 2006) se argumenta que, a finales del siglo 21, el coste económico total que supone el cambio climático puede representar la pérdida de un 5 por ciento del producto interior bruto (PIB) potencial global. A pesar de que estos resultados han sido cuestionados por muchos economistas con gran experiencia en cambio climático (Tol, 2006), en la medida que ignoran y contradicen numerosos resultados (Fankhauser & Tol, 2005; Quiroga & Iglesias, 2007), el análisis de Stern *et al.* (2006) contribuye a un diálogo público sobre el coste que la sociedad está dispuesta a asumir (coste de no actuar) y elimina cualquier duda posible sobre la necesidad de adaptarse al cambio climático (beneficio de actuar).

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) de España propone escenarios para el desarrollo de políticas de cambio climático marcado por los compromisos del Protocolo de Kyoto y por un acuerdo post-Kyoto, señalando que a corto plazo los costes totales para que España cumpla el Protocolo de Kyoto serán mayores que los de la media Europea (MARM, 2009). El Plan de Acción 2008-2012 del MARM en el escenario de eficiencia define medidas y actuaciones en el sector agrario, que se centran en la formación, la incorporación de criterios de eficiencia energética, y el impulso de la agricultura de conservación (MARM, 2009). El Comité Económico y Social Europeo en su Dictamen sobre la agricultura y cambio climático (COM (2009/C 27/14) pone de manifiesto la importancia de las estrategias propuestas por el MARM, incorporando además algunos aspectos adicionales de gran importancia para el desarrollo de políticas energéticas, sociales, y de empleo.

Este artículo trata de las consecuencias del cambio climático para la agricultura del presente y del futuro. El problema fundamental del

presente es la necesidad del sector agrario (entre otros) de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero o de aumentar la capacidad para secuestrar dióxido de carbono, es decir, de mitigación del cambio climático. En el futuro, aunque la mitigación continúe siendo importante, el principal problema será de adaptación a unas condiciones donde el pasado no sirve de experiencia para el futuro. Estos dos puntos se desarrollan a continuación.

2. PAPEL DE LA AGRICULTURA EN LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La evolución de la agricultura está determinada, al menos en parte, por las políticas agrarias que apoyan algunas formas de producción directamente o establecen condiciones para el desarrollo de inversiones. En Europa y EE.UU., por ejemplo, los apoyos directos a la producción de la segunda parte del siglo pasado han sido sustituidos por apoyos a formas de producir más respetuosas con el medio ambiente, cambiando la visión que tienen muchos agricultores del siglo 21 sobre su papel en la protección medio ambiental. En la actualidad, las políticas agrícolas de la Unión Europea, EE.UU. o Australia, se están transformando a gran velocidad para focalizarse en medidas que promuevan los servicios medioambientales de la agricultura y el desarrollo rural. En el caso de la Unión Europea, los objetivos medio ambientales de estas medidas están sólidamente apoyados por políticas no agrícolas, como veremos más adelante.

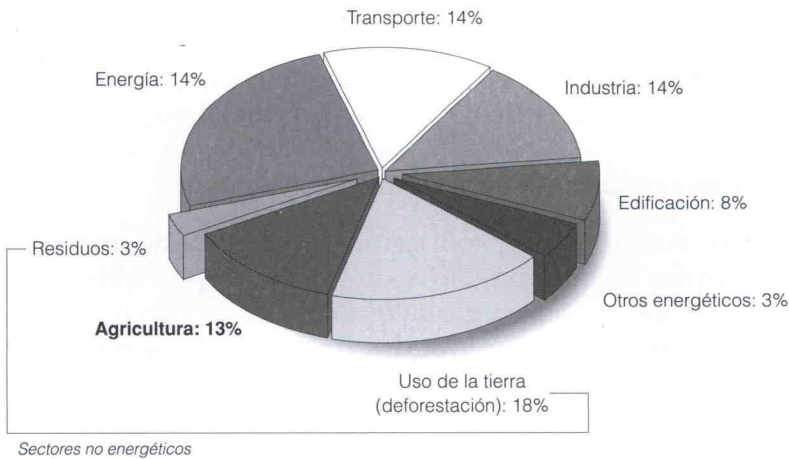
2.1. Tendencias y compromisos en el control de emisiones

Los sectores energéticos (producción y consumo de energía, transporte, industria, edificación, entre otros) son responsables de más de dos tercios de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (gráfico 1), aunque existen grandes diferencias entre regiones con distintos niveles de desarrollo. Las emisiones de la Unión Europea suponen el 10,5 por ciento de las emisiones totales que se contabilizan por la UNFCCC (datos aportados por la EEA, 2008). Los cinco mayores emisores de la Unión Europea, entre los que se encuentra España en el quinto lugar, contribuyen a un 80 por ciento de las emisiones totales. Las emisiones globales han disminuido en relación con las emisiones de 1990 y continúan disminuyendo como consecuencia de los compromisos adquiridos por los Estados miembros para alcanzar los objetivos del Protocolo de Kyoto para el período 2008-2012 y para el 2020. Sin embargo, la Unión Europea ha sobrepasado en un 8 por ciento el compromiso de Kyoto para el período

2008-2012; España ha casi triplicado esta cifra. Estos datos ponen de manifiesto la necesidad de establecer mecanismos que permitan cumplir los compromisos de reducción de emisiones en los Estados miembros. Con el fin de coordinar los objetivos de reducción de emisiones, la Unión Europea ha desarrollado un paquete de medidas y políticas (EU Common and Coordinated Policies and Measures, CCPM) que orientan o reforman las políticas nacionales. Entre estos mecanismos se incluye, además de los mecanismos de reducción de emisiones establecidos en el Protocolo de Kyoto, los sumideros de carbono, y la adopción de esquemas de comercio de emisiones (Emission Trading Schemes, ETS). Los ETS y las políticas de uso de energías renovables (tales con la Directiva de Bicomcombustibles de 2003) tienen un gran potencial de contribuir a los objetivos de Kyoto. Además la posibilidad de contabilizar los sumideros de carbono representa una oportunidad para desarrollar medidas de mitigación en la agricultura.

Gráfico 1

Emisiones de gases de efecto invernadero a nivel global



Fuente: Elaboración propia con datos de la EEA, 2008.

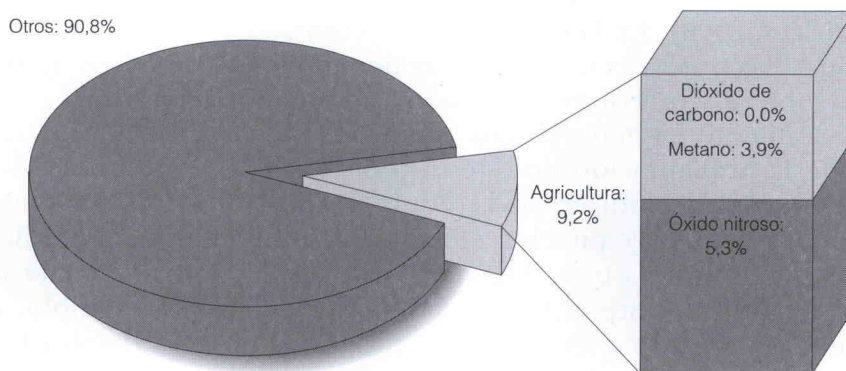
2.2. Las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura

La agricultura cubre casi el 60 por ciento de la superficie de la tierra, y las tierras de cultivo más de la cuarta parte. Según un informe de FAO de 2006, la agricultura es responsable de un 20 por ciento de las emi-

siones de gases de efecto invernadero en el mundo. La ganadería es la mayor responsable de esta desorbitada cifra (más de la mitad del valor en todas las regiones), pero la cifra también incluye las emisiones virtuales derivadas de la no absorción del CO₂ en los terrenos deforestados y las emisiones del transporte y manufacturación de los productos agroalimentarios (que probablemente debiera ser computado a otros sectores). Aunque los datos del informe de FAO están muy cuestionados por numerosos estudios que tratan los datos con rigor (Smith *et al.*, 2007a; 2007b), el informe sobre las emisiones de la agricultura ha servido de llamada de atención para investigar con más profundidad la contribución de la agricultura para alcanzar los compromisos de Kyoto. Según la Agencia Europea de Medio Ambiente la agricultura contribuye en alrededor de un 9 por ciento a las emisiones totales de gases de efecto invernadero de la Unión Europea (EEA, 2008) (la distribución se muestra en el gráfico 2). Dependiendo de la importancia relativa de la agricultura, de las condiciones medioambientales y climáticas, y de los sistemas de producción dominantes, la contribución de la agricultura al total de las emisiones puede ser considerablemente mayor en algunos Estados miembros. Por ejemplo, en Irlanda la agricultura supone un 26 por ciento de las emisiones, en Letonia y Lituania un 18 por ciento, mientras que la agricultura en España representa menos de un 10 por ciento de las emisiones totales (EEA, 2008).

Gráfico 2

Emisiones de gases de efecto invernadero y composición de las emisiones de la agricultura en la Unión Europea



Fuente: Elaboración propia con datos de la EEA, 2008.

La mayor parte de la contribución de la agricultura a los gases de efecto invernadero son emisiones directas de dos gases con fuerte efecto invernadero –el óxido nitroso y el metano–. En la Unión Europea la agricultura emite el 67 por ciento del óxido nitroso y el 50 por ciento del metano. El óxido nitroso se deriva fundamentalmente del laboreo del suelo y de la aplicación de fertilizantes minerales y orgánicos, mientras que las emisiones de metano se derivan de la digestión del ganado y de las pérdidas durante el almacenamiento de fertilizantes orgánicos. El total de las emisiones agrarias de la Unión Europea ha disminuido durante el período 1990 a 2003 (EEA, 2008); esta tendencia ha sido una consecuencia directa de la disminución de explotaciones ganaderas (sobre todo de vacuno) y de cambios en el tipo de fertilización aplicada a los cultivos y de la aplicación de nuevas técnicas de fertilizantes orgánicos. Los objetivos actuales se centran en seguir desarrollando estas medidas, así como en contabilizar la capacidad de los cultivos para convertir dióxido de carbono en materia orgánica y por tanto actuar como sumideros de CO₂.

2.3. Potencial de mitigación de las prácticas agrarias

Smith *et al.* (2007a; 2007b) han evaluado el potencial de mitigación de una serie de prácticas agrarias. Sus resultados son la base de la evaluación de la contribución de la agricultura al cambio climático realizado por el IPCC en 2007, así como de los informes de FAO (2006). El cuadro 1 resume el potencial de mitigación de algunas prácticas agrarias de especial interés para el desarrollo de políticas agrarias en casi todas las regiones. También se han evaluado los posibles efectos adicionales positivos y negativos para el medio ambiente derivados de la implementación a gran escala de estas prácticas agrarias (Medina e Iglesias, 2009). En la mayoría de los casos, además de reducir las emisiones, las prácticas seleccionadas tienen efectos positivos significativos sobre el control de la erosión, la contaminación difusa, y el medio ambiente en general. Los beneficios medioambientales derivados de la implantación de este tipo de medidas incluyen efectos positivos sobre la biodiversidad, reducción de la erosión del suelo, incremento de la precipitación efectiva y disminución de la pérdida de minerales, entre otros. Algunas medidas pueden tener ciertos efectos negativos sobre el medio ambiente, como, por ejemplo, el incremento del gasto energético que supone el proceso de picado e incorporación al suelo de los restos de cosecha o poda o el potencial contaminante de una mala gestión de los estiércoles en producción animal, entre otros.

Cuadro 1

POTENCIAL MITIGADOR DE LAS DISTINTAS TÉCNICAS AGRARIAS

Medida	Media (t CO ₂ eq/ha y año)	Rango (t CO ₂ eq/ha y año)
Cubiertas vegetales	0,33	-0,21 a -1,05
Laboreo reducido	0,17	-0,52 a +0,86
Gestión de resto de cosecha/poda	0,17	-0,52 a -0,86
Optimización uso fertilizantes	0,33	-0,21 a -1,05
Rotación de cultivos	0,39	+0,07 a -0,71
Asociación con leguminosas	0,39	+0,07 a -0,71
Agroforestación	0,17	-0,52 a -0,86

Fuente: Medina & Iglesias, 2009; Medina, 2009.

2.4. Barreras e incentivos para la implementación

El proyecto PICCMAT «Policy Incentives for Climate Change Mitigation Agricultural Techniques», en el que participan los autores de este artículo, (PICCMAT, 2008) ha evaluado recientemente la efectividad de distintas prácticas o técnicas agrarias con un potencial de mitigación apreciable, las barreras e incentivos para la implementación y los costes que conlleva el desarrollo de algunas prácticas seleccionadas para la producción de cultivos típicamente mediterráneos como el olivar y los cereales en España (Medina, 2009; Medina e Iglesias, 2009). Se ha analizado la viabilidad técnica, económica, social, y legislativa de implantación de cada una de las medidas en nuestro país mediante la consulta a distintos grupos de interés. En primer lugar se realizaron una serie de cuestionarios y entrevistas a representantes de las organizaciones profesionales agrarias (COAG y UPA) y a agricultores afiliados a las mismas durante los meses de septiembre a diciembre de 2007. Además se convocó un grupo de trabajo específico en Madrid en el mes de octubre de 2007 que contó con la participación de expertos del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (5), de las organizaciones profesionales agrarias (2), de expertos del Dpto. de Economía Agraria de la ETSI Agrónomos de Madrid (3) y un investigador del CSIC (1). La evaluación del coste de implantación se ha basado en el cálculo de primas de las medidas agroambientales contempladas en los Programas de Desarrollo Rural; en cada Estado miembro de la Unión Europea este cálculo se realiza de acuerdo con criterios regionales.

El cuadro 2 resume los resultados de la consulta a agricultores sobre su disposición a implementar las prácticas agrarias con potencial de

mitigación. En general, la rentabilidad económica, la condicionalidad y el medio ambiente son las razones más importantes que llevan a los agricultores y ganaderos a tomar la decisión de implantar o desarrollar la mayor parte de las medidas. El crecimiento dispar de los costes de producción respecto al de los ingresos recibidos por la venta de los productos que comercializan hace que muchos productores se planteen la búsqueda de nuevas técnicas de producción más baratas. El laboreo reducido y la optimización en el uso de fertilizantes son las medidas más fáciles de implementar a priori según la opinión de los productores encuestados. Sin embargo, la rotación de cultivos, la reutilización de restos de cosecha y/o poda, la asociación con leguminosas y la utilización de cubiertas vegetales son algo más difíciles de desarrollar según los productores, ya que son técnicas que requieren un mayor conocimiento y grado de formación. Según la opinión de los propios agricultores, la medida más difícil de implantar es el cambio de cultivo hacia producciones de leñosos, ya que las condiciones climatológicas no lo permiten en algunos de los casos.

Cuadro 2

RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA CONSULTA A AGRICULTORES SOBRE SU DISPOSICIÓN A IMPLEMENTAR LAS PRÁCTICAS AGRARIAS CON POTENCIAL DE MITIGACIÓN

Medida	Motivos que determinan la disposición a implementar la práctica	Cambios que suponen dicha implementación	Interés potencial para el agricultor	Barreras a la implementación	Coste estimado de acuerdo con el cálculo de las medidas agroambientales
Cubiertas vegetales	Medio-ambientales	Medio-ambientales	Bajo	Bajo	Medio
Laboreo reducido	Económicos	Económicos	Alto	Bajo	Muy variable
Utilización de restos de cosecha/poda	Hábitos y Medio-ambientales	—	Bajo	Alta	Bajo
Optimización del uso de fertilizantes	Eficiencia Energética	Medio-ambientales económicos	Medio	Medio	Alto
Rotación de cultivos	Medio-ambientales	Biodiversidad económicos	Bajo	Bajo	Medio
Asociación leguminosas	Medio-ambientales	Biodiversidad económicos	Bajo	Medio	Bajo
Plantación de de cultivos leñosos/herbáceos	Económicos	Económicos	Nulo	Alta	Medio

Fuente: Medina et. al., 2008; Medina e Iglesias, 2009.

2.5. Elementos a considerar en las políticas de mitigación

La implementación de medidas puede disminuir la productividad o aumentar los costes, lo que hace necesario ejercer incentivos y también formación de los productores. Los Estados miembros tendrán una asignación presupuestaria para desarrollar medidas de mitigación al cambio climático y la oportunidad de incluir las medidas en la condicionalidad o en los compromisos de las medidas agroambientales. Por ello, es importante seguir haciendo evaluaciones, sobre todo teniendo en cuenta que los fondos provenientes de la modulación van a ir creciendo durante los próximos años. Además, el apoyo a estas medidas puede venir mediante la asignación de los fondos adicionales de la posible aplicación del artículo 68 contemplado en el marco del Chequeo Médico de la PAC. La inclusión de estas técnicas, como compromisos dentro de algunas medidas agroambientales en las que no se incluyan como tal, puede ser una vía interesante para conseguir el grado de implementación deseado de todas estas técnicas teniendo en cuenta su enclave dentro de las normativas actuales relativas a la condicionalidad y a los compromisos agroambientales fijados por la Unión Europea. Además, la inclusión de estos compromisos en todas las medidas agroambientales podría contribuir enormemente a alcanzar los objetivos marcados en cuanto a reducción de las emisiones de GEI provenientes de la actividad agraria, si bien es cierto que deberían recalcularse las primas agroambientales teniendo en cuenta estos nuevos compromisos.

Por último, la implementación de la Directiva Marco del Agua y de la Directiva de Nitratos en la Unión Europea garantiza grandes reducciones de residuos de fertilizantes nitrogenados. Por lo tanto, ajustes en la cantidad de nitrógeno lixiviado ya es una realidad para la sostenibilidad de los sistemas de producción de cultivos y ganaderos. Los beneficios esperados por la evolución de las políticas están bien definidos; son más difíciles de definir las consecuencias sociales. La educación y la gestión del riesgo pueden contribuir a la transformación esperada de los sistemas de producción europeos.

3. ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA AL CAMBIO CLIMÁTICO

Finalmente, se sugieren algunas estrategias y elementos que se pueden incorporar a las políticas públicas de adaptación al cambio climático, con especial atención a las políticas de la Unión Europea.

Puesto que la agricultura es uno de los sectores más vulnerables a los impactos del cambio climático, es importante también considerar las consecuencias que tiene la adopción de las prácticas de mitigación

en la capacidad de los agricultores y sistemas agrarios de adaptarse al cambio climático. A continuación se resumen los escenarios climáticos futuros, los riesgos y oportunidades que estos escenarios implican para la agricultura en Europa, y se valora la necesidad de diseñar planes de adaptación que sean compatibles con las prácticas de mitigación. Por último se definen algunos elementos a considerar en las políticas de adaptación y mitigación conjuntas.

3.1. Adaptarse a un clima que cambia permanentemente

El clima futuro dependerá en parte de la concentración de gases de efecto invernadero que haya en la atmósfera, que está definida por el crecimiento de la población, el uso de la tierra, y el crecimiento económico que define las emisiones causadas por las actividades humanas. Los modelos actuales, aunque todavía imperfectos, hacen una representación de las condiciones futuras que es ciertamente más acertada que el considerar que las condiciones son invariables.

El sistema climático cambia permanentemente. La evidencia y el consenso científico sobre el aumento de temperaturas durante el último siglo se han publicado en varios miles de artículos científicos y ha sido uno de los temas que más se ha revisado en los últimos diez años debido a las posibles consecuencias potenciales de dichas variaciones. Una extensa revisión de dicha evidencia se ha publicado en el cuarto informe del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007). El informe del IPCC muestra claramente que el aumento de temperatura de la atmósfera en la superficie terrestre observada en las últimas décadas es consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera como consecuencia de ciertas actividades humanas.

La predicción del sistema climático se realiza con modelos que lo representan. A corto plazo los modelos se parametrizan y ajustan a las condiciones actuales de partida; estos resultados son utilizados por la mayor parte de los ciudadanos casi a diario. A más largo plazo, las predicciones no son del tiempo diario sino del clima, que es la estadística del tiempo en grandes períodos. En este caso las predicciones son mucho más complejas puesto que los modelos numéricos no pueden ser ajustados con observaciones, y además es necesario incorporar procesos adicionales derivados de la composición química atmosférica. Todos los modelos de clima global ponen de manifiesto cambios sustanciales cuando se introduce un aumento

en la concentración de CO₂ atmosférico. Los resultados de estas simulaciones numéricas apuntan hacia un calentamiento global del orden de 2°C a 5°C a finales del siglo 21 (IPCC, 2007). Las simulaciones también resultan en un aumento de la precipitación global anual (5 a 25 por ciento). Este resultado es razonable puesto que una atmósfera más caliente contiene más vapor de agua que puede precipitar cuando se den las condiciones. Todos los modelos están de acuerdo con un aumento de la temperatura media mundial durante el próximo siglo de 0,31°C cada 10 años, cifra superior a la registrada en los últimos 10.000 años. Sin embargo, existen grandes diferencias regionales. En Europa, el proyecto PRUDENCE (PRUDENCE, 2006) ha elaborado escenarios detallados a partir de: (1) escenarios socioeconómicos, que definen las emisiones de gases de efecto invernadero y los usos de la tierra; (2) modelos de clima global, que definen los procesos físicos de la atmósfera, troposfera y océanos, y (3) modelos regionales de clima que definen las condiciones climáticas particulares de una determinada región (este proceso también se llama «downscaling»). Cada una de las simulaciones tiene una resolución geográfica de 50 x 50 km. El cuadro 3 contiene un resumen de los datos del proyecto PRUDENCE que definen las condiciones climáticas proyectadas para la década del 2080 en el norte y sur de Europa. Estos datos son el resultado de simulaciones con los modelos indicados anteriormente. Los escenarios climáticos del PRUDENCE se utilizan por numerosos científicos y administraciones públicas, por ejemplo el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino de España.

Cuadro 3

RESUMEN DE LOS CAMBIOS EN TEMPERATURA MEDIA DEL VERANO (JUNIO A AGOSTO) Y PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PARA EL PERÍODO 2071 A 2100 COMPARADO CON EL PERÍODO 1961 A 1990 PARA EL NORTE Y EL SUR DE EUROPA, PARA LOS ESCENARIOS CLIMÁTICOS DEL PRUDENCE

Área geográfica	Cambios en el clima del período 2071-2100 relativos al período 1961-1990	
	Media de la temperatura media de verano (junio a agosto) (°C) implementación	Media de la precipitación anual (mm/día)
Norte de Europa (47.5°N-75.0°N; 15.0°W-35°E)	+1 a +4	+0,0 a +0,3
Sur de Europa (25.0°N-47.5°N; 15.0°W-35°E)	+2 a +8	+0,1 a -0,5

Fuente: PRUDENCE, 2006.

Al mismo tiempo que se proyectan cambios en las temperaturas y precipitaciones medias, se proyectan cambios en la distribución, intensidad y frecuencias de fenómenos extremos tales como olas de calor o sequías. Los fenómenos extremos son mucho más difíciles de predecir, y en la actualidad se está realizando un gran esfuerzo internacional para comprender sus procesos y desarrollo, puesto que puede resultar más difícil adaptarse a extremos que a cambios en las medias. Los proyectos ENSEMBLES y CIRCE tratan los fenómenos extremos con gran detalle (ENSEMBLES, 2008; CIRCE, 2008).

3.2. Riesgos y oportunidades

Una modificación de las características climáticas actuales afecta directamente a la distribución de cultivos puesto que la radiación solar, la temperatura y el agua controlan a los cultivos, pastos y otros agroecosistemas. Por otra parte, la vegetación responde directamente a un incremento en la concentración de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) incrementando –en teoría– su biomasa y su eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, estudios recientes cuestionan hasta qué punto estos efectos directos del CO₂ se manifiestan en condiciones de cultivo donde la planta está sometida a condiciones limitantes de otros factores que influyen en el crecimiento. Al mismo tiempo, los cambios en variables climáticas también modifican a la agricultura indirectamente, modificando los factores clave para la producción agraria, tales como la calidad del suelo y del agua y la incidencia de plagas y enfermedades, con costes para la salud pública. El cuadro 4 resume los posibles efectos positivos y negativos de cambios en el clima para la producción de cultivos.

El cambio climático puede suponer oportunidades y riesgos para distintas zonas de producción, dependiendo de las características del clima y de los cultivos actuales y de los cambios potenciales. La mayoría de los estudios están de acuerdo en la distribución espacial de los efectos (OECD, 2008; Rosenzweig *et al.*, 2004; Parry *et al.*, 2004; Antle *et al.*, 2004; Darwin, 2004; Long *et al.*, 2006; Iglesias *et al.*, 2007a). En general hay un gran contraste entre los impactos negativos potenciales en las regiones tropicales y subtropicales y ventajas potenciales en regiones de clima templado. Sin embargo, en la región Mediterránea los efectos pueden ser particularmente negativos si disminuye la disponibilidad de agua para la agricultura. Para esta región es de especial importancia tener en cuenta que la alteración en los regímenes hídricos supone una necesidad de redefinir el uso de agua por la agricultura como veremos más adelante (Bates *et al.*, 2008; Vorosmarty *et al.*, 2000; Iglesias *et al.*, 2007a; Alcamo *et al.*, 2003).

Cuadro 4

POSIBLES EFECTOS POSITIVOS Y NEGATIVOS DEL CLIMA EN LA PRODUCCIÓN DE CULTIVOS

Factor de cambio	Posibles beneficios	Posibles efectos negativos
Aumento de temperaturas	<ul style="list-style-type: none"> - Períodos de crecimiento más largos - Períodos de crecimiento más rápidos 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento del estrés térmico por las temperaturas ambientales - Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades
Variación de la precipitación	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de la productividad de los cultivos - Disminución de la demanda de agua - Aumento de las garantías de abastecimiento de agua 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento de inundaciones y salinización - Aumento de la frecuencia de sequías - Aumento de malas hierbas, plagas y enfermedades - Aumento de la erosión
Aumento de gases de efecto invernadero	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento de la fertilización por la mayor concentración de CO₂ atmosférico 	<ul style="list-style-type: none"> - Efectos negativos de otros gases

Fuente: Iglesias, et. al., 2007a

Casi con toda certeza se producirán cambios en zonificación y productividad. La posición de la agricultura en algunos países exportadores de clima templado puede verse afectada. Por ejemplo, no hay seguridad de que las exportaciones de productos agrarios de Europa, Estados Unidos Argentina y Australia pueda mantener los niveles actuales a mediados del siglo 21 (Quiroga e Iglesias, 2007; PESE-TA, 2008).

El riesgo al que están sometidos otros aspectos de la producción agraria tiene un mayor nivel de incertidumbre. Por ejemplo, la alteración de los ciclos de carbono y nitrógeno puede tener importantes consecuencias para la erosión del suelo, la calidad del agua y los ecosistemas (Schröter *et al.*, 2005; Thuiller *et al.*, 2005). El cambio climático puede suponer una necesidad de incrementar el uso de productos fitosanitarios que tienen un riesgo asociado para la salud pública, el medio ambiente y los gastos económicos de las explotaciones debido a un aumento de la vulnerabilidad de los cultivos y la producción animal a las plagas y enfermedades (Chen & McCarl, 2001; Rosenweig *et al.*, 2001).

La realización de estos cambios potenciales depende en gran parte del manejo de los cultivos y de las limitaciones o incentivos de las políticas agrícolas en cada zona. El cuadro 5 resume los riesgos y oportunidades para Europa, indicando el grado de certidumbre y algunas implicaciones. El cuadro 6 sugiere algunas

implicaciones concretas para cultivos mediterráneos. Es evidente que los agricultores habrán de enfrentarse a una planificación más complicada sea cual sea la combinación de estos efectos en una región determinada, la incertidumbre o las acciones de adaptación que haya que desarrollar para anticiparse a los cambios esperados.

Cuadro 5

RIESGOS Y OPORTUNIDADES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN DISTINTAS ZONAS AGROCLIMÁTICAS DE LA UNIÓN EUROPEA (EU-27)

Descripción	Boreal	Atlántica	Continental	Alpina	Mediterránea
RIESGOS					
Cambios de superficie de cultivo, debido a disminución de las condiciones de cultivo óptimo		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 cultivos de calidad		Medio	Medio		Alto
Aumento del riesgo de inundaciones	Alto			Alto	
Aumento del riesgo de la sequía y la escasez de agua		Alto	Alto	Alto	Alto
El aumento de las necesidades de riego		Medio	Alto		Alto
Deterioro de la calidad del agua	Alto			Alto	
La erosión de los suelos, la salinización, la 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
OPORTUNIDADES					
Cambios en la distribución de cultivos para aumentar la agricultura en óptimas condiciones	Alto	Medio	Alto	Alto	Medio
Aumentar la productividad de los cultivos	Medio	Medio		Alto	
La disponibilidad de agua	Alto	Alto		Medio	
Disminución de los costes de la energía para invernaderos	Medio	Medio	Medio		Medio
Mejora en la productividad de la ganadería	Alto			Alto	

Fuente: Iglesias et al., 2007a.

Cuadro 6

RIESGOS Y OPORTUNIDADES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ALGUNOS GRUPOS DE CULTIVOS MEDITERRÁNEOS

Cultivos	Riesgos y oportunidades del cambio climático
Cereales de primavera y forrajes	<ul style="list-style-type: none"> – Beneficios potenciales al incrementarse el periodo libre de heladas. – Daños por estrés térmico y sequía en primavera
Cereales de invierno	<ul style="list-style-type: none"> – Daños en la vernalización por incremento de temperaturas en invierno. – Daños por estrés térmico y sequía en primavera
Hortícolas	<ul style="list-style-type: none"> – Incremento de las necesidades de riego – Aumento de plagas y enfermedades durante todo el ciclo
Hortícolas protegidos	<ul style="list-style-type: none"> – Disminución del apoyo de calefacción y posibilidad de ampliar calendarios y gama de productos
Viñedo	<ul style="list-style-type: none"> – Variación de la calidad y del grado alcohólico para vinificación – Necesidad de introducir nuevas variedades – Necesidad de intensificar la superficie regada y el volumen de agua por superficie

3.3. Implicaciones para la gestión del agua

Tal y como se señala en el cuadro 5, la sequía y la escasez de agua representan un riesgo potencial importante para la mayoría de las zonas agroclimáticas de la Unión Europea, aunque dicho riesgo a lo largo de las distintas regiones no es ni mucho menos homogéneo, siendo la región Mediterránea la más vulnerable. Las sequías en el Mediterráneo han sido más frecuentes desde 1970, y en particular en España más de 6 millones de personas se vieron afectadas por el episodio de sequía más importante a mediados de los años 90, que además tuvo efectos muy severos sobre la economía agraria. Iglesias *et al.* (2007b) muestra cómo tanto las series de precipitación como los índices de sequía para el Mediterráneo presentan al menos dos períodos con una tendencia y patrón de variabilidad distintos. La precipitación exhibe una tendencia claramente decreciente a partir de los años 70, provocando mayor déficit hídrico en muchas zonas de la región. En lo referente al futuro, las proyecciones de cambio climático indican un aumento en la probabilidad de sequías especialmente en toda la franja Mediterránea (Iglesias *et al.*, 2008; Bates *et al.*, 2008). La combinación de los cambios a largo plazo (mayores temperaturas medias) unidos a un mayor número de eventos extremos (sequías) podría tener un impacto decisivo en la disponibilidad de recursos hídricos a la vez que la demanda de riego se incrementa notablemente (Iglesias *et al.*, 2007b). Por otra parte, es importante considerar los cambios socioeconómicos como parte del cambio global. Los cambios sociales,

a través de aumentos poblacionales, incrementan la presión sobre los recursos hídricos y los cambios en el modelo medioambiental podrían implicar una mayor competencia en el reparto de los recursos (Iglesias *et al.*, 2009).

El enfoque general de los gestores de recursos hídricos para responder a la sequía se caracteriza por su reactividad, la gestión de emergencia, gestión de crisis o respuesta no planeada. Este tipo de respuesta se basa en medidas tácticas para afrontar los problemas de deficiencia hídrica una vez que la sequía ya ha comenzado y es demasiado tarde para construir nuevas infraestructuras de regulación. Este tipo de medidas se oponen a las medidas estratégicas que consisten en acciones planeadas, como la mejora de la infraestructura de abastecimiento o la modificación de instituciones o legislaciones.

Las medidas efectivas de adaptación a unas condiciones de sequía y escasez de agua a largo plazo son limitadas y complicadas de implementar debido a la variedad de grupos de interés involucrados y la falta de medios para negociar nuevas políticas. La capacidad actual de las políticas de adaptación al cambio climático se ve amenazada, especialmente en aquellas zonas donde hay un mayor estrés hídrico y en las zonas donde la debilidad institucional limita la gestión de esta adaptación. En este aspecto, aquellos países con mayor tradición legislativa en materia de recursos hídricos y con una clara definición de responsabilidades serán capaces de adaptarse con mayor facilidad a las consecuencias del cambio climático (Iglesias *et al.*, 2008; Garrido y Gómez-Ramos, 2000).

En este contexto de incertidumbre, el desarrollo y generalización del uso de nuevas tecnologías tendrá un papel fundamental a la hora de reducir la vulnerabilidad y por lo tanto el riesgo asociado al cambio climático en los recursos hídricos. La tecnología para la desalinización y la reutilización de agua ha evolucionado significativamente en los últimos años. En ese sentido cabe señalar como ejemplo que a pesar de que el Mediterráneo representa apenas un 8 por ciento del total de área cultivada en el mundo y no más de un 10 por ciento del agua que se usa para riego en el planeta, la región mediterránea presenta un 64 por ciento del agua reutilizada y un 24 por ciento del total del agua desalinizada en todo el mundo. Sin embargo, como alternativa para su uso masivo todavía no es sostenible en muchos casos.

3.4. Potencial de adaptación de las prácticas de mitigación

El tema de la sinergia entre las prácticas adecuadas para la mitigación y la adaptación al cambio climático está muy poco desarrollado. Olesen y Porter (2008) analizan las relaciones entre las prácticas agrarias

de mitigación y adaptación en un estudio reciente en Dinamarca. Estos autores proponen unas estrategias de adaptación de la agricultura que también son relevantes para la mitigación. Las estrategias incluyen: medidas que reducen la erosión del suelo; medidas que reducen la contaminación difusa por nitratos y fósforo; medidas que ayudan a la conservación de la humedad del suelo; estrategias de diversificación y rotación de cultivos con selección de variedades y especies adecuadas; modificación del microclima para reducir los extremos térmicos; y cambio en el uso de la tierra incluyendo el abandono de tierras de cultivo y la extensificación de las tierras actualmente cultivadas. Está claro que las estrategias con mayor sentido desde el punto de vista práctico son las que incrementan la resistencia de los agroecosistemas a las perturbaciones climáticas y a la variación de la humedad del suelo —y que por tanto previenen la erosión— tienen que ser consideradas con seriedad (Lal, 2008). El estudio de Olesen y Porter también identifica una serie de consecuencias negativas de algunas técnicas de mitigación. Por ejemplo, las cubiertas vegetales que ayudan a la retención del carbono en el suelo consumen agua que puede ser crucial en condiciones de cambio climático. Otros ejemplos de efectos negativos son el uso de residuos (mulching) en plantaciones de frutales, que actúan como aislantes térmicos y pueden aumentar los daños de heladas y de sobrecalentamiento. La realización de este tipo de estudios prácticos es fundamental para definir las prácticas agrarias que pueden estar sujetas a incentivos en un futuro próximo.

3.5. Elementos a considerar en las políticas de adaptación

El diseño de estrategias efectivas de adaptación al cambio climático en la agricultura tiene como objetivo ayudar a los agricultores y ganaderos a reducir sus efectos. Sin embargo, las estrategias concretas de adaptación están mucho menos desarrolladas, pues el objetivo «¿adaptarse a qué?» presenta incertidumbre, en contraposición con mitigar una cantidad exactamente definida de gases de efecto invernadero. En teoría un plan de adaptación debe incluir tanto estrategias ex-ante como ex-post. La adaptación ex-ante se basa en la creación de información y el establecimiento de las condiciones normativas, institucionales y de gestión que permiten desarrollar las acciones que deban implementarse en el futuro. Por ejemplo, la investigación y la educación son instrumentos fundamentales para la adaptación ex-ante en cualquier sector. La adaptación ex-post se centra en la adopción de medidas que ayuden a reducir la vulnerabilidad a los riesgos climáticos y/o aprovechar las oportunidades. Cualquier tipo de estrategia se puede desarrollar en los distintos niveles del sis-

tema productivo: en el ámbito de la explotación agraria y con la participación exclusiva de los agricultores; estrategias de mercado; externalización de los riesgos con la participación del sector público y privado, y, por último, instrumentos de ayuda pública, especialmente ante situaciones de catástrofe.

La Comisión Europea publicó a mediados del 2007 el Libro Verde de la Adaptación al Cambio Climático en Europa: Opciones de actuación para la UE (COM (2007) 354 2007), donde expone las líneas de acción relativas a la adaptación para los próximos años. El Libro Verde indica que las actuaciones destinadas a atenuar el cambio climático (mitigación) se deben complementar, pero no sustituir, con medidas de adaptación que permitan hacer frente a los efectos. Las actuaciones propuestas se basan en la necesidad de una actuación coordinada de las políticas relativas al cambio climático. La principal contribución del Libro Verde se centra en la acción de la UE y propone las líneas prioritarias para un enfoque con cuatro Pilares para la adaptación. El cuadro 7 detalla los instrumentos políticos definidos en la estrategia planteada por el Libro Verde de la UE. El Primer Pilar es la alerta temprana de la UE en las siguientes líneas prioritarias: integración de la adaptación en la aplicación o modificación de las políticas actuales y futuras, integración de la adaptación en los actuales programas comunitarios de financiación, y el desarrollo de nuevas respuestas políticas. El Segundo Pilar se centra en la integración de la adaptación en las políticas exteriores de la UE y se refiere a las necesidades de adaptación que puedan influir en las relaciones de la UE con otros países, con especial interés en los países menos desarrollados. El Tercer Pilar se centra en la reducción de la incertidumbre mediante la transferencia del conocimiento a través de la investigación integrada sobre el clima. El Cuarto Pilar incluye la participación de la sociedad europea, de las empresas y del sector público en la preparación de las estrategias de adaptación de forma coordinada y global; este pilar se centra en concienciar a la sociedad sobre los cambios necesarios a realizar para adaptarse al cambio climático.

4. CONCLUSIONES

A pesar del progreso internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (políticas de mitigación), el sistema climático continuará su ajuste a las emisiones actuales durante las próximas décadas, con efectos inevitables en los sistemas naturales o intervenidos por el hombre. El reto es prepararse para las condiciones cambiantes, responder a ellas o recuperarse de los impactos (políticas de adaptación).

Cuadro 7

RIESGOS Y OPORTUNIDADES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN ALGUNOS GRUPOS DE CULTIVOS MEDITERRÁNEOS

Pilares del enfoque	Instrumentos políticos y acciones relacionadas
Primer Pilar: Alerta temprana	<p>Instrumentos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Política Agrícola Común (PAC) - La Política Pesquera Común - Política marítima de la UE, estrategia marina y legislación conexas - Plan de acción Europeo de medio ambiente y salud (2004-2010) (COM (2004) 416 final) - Directiva Marco del Agua (DMA, 2000) - Directiva de Inundaciones (2007) - Comunicación sobre escasez de agua y sequías (COM (2007) 414 final) - Comunicación sobre la biodiversidad y su plan de acción (2006) - Plan de acción forestal (COM (2006) 302 final, 2006) - Estrategia de Suelo (COM (2006) 231 final, 2006) - Paquete energético y climático (2008) - Plan de acción sobre consumo y producción sostenibles (2009) - Directiva de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA, 1997) - Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) - Directiva sobre gestión integrada de zonas costeras (GIZC, 2001) <p>Planificación de políticas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plan de acción de industria y servicios (2008) - Plan estratégico de tecnología energética que conduzcan a la creación de una política energética común Europea <p>Programas de financiación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Política Agrícola Común (PAC) - Política de cohesión de la UE - Fondo Social Europeo - Fondo estructural de la pesca - LIFE +
Segundo Pilar: Integración de la adaptación en las políticas de exteriores	<ul style="list-style-type: none"> - Política Común Exterior y de Seguridad de la UE (PESC) - Contribución de la UE a la Convención Marco - Esfuerzo para integrar la adaptación en los planes nacionales de desarrollo, aunque los programas nacionales de adaptación (PNA) - Apoyo a la UE en 2004 - Plan de Acción sobre el Cambio Climático y el Desarrollo (COM (2003) 85 final, 2003) - Próxima estrategia de la Unión Europea sobre Reducción del Riesgo de catástrofes
Tercer Pilar: Reducción de incertidumbre	<ul style="list-style-type: none"> - 7º Programa Marco de la UE - INSPIRE (Sistema de información compartida sobre medio ambiente) Directiva (2007) - GMES (Monitorización global para medio ambiente y seguridad) - Apoyo a los sistemas de información de la Comunidad (inundaciones, incendios forestales, - MIC (Centro de Control e Información de la protección civil) - Centros de datos europeos - Promover la cooperación con los programas internacionales
Cuarto Pilar: Participación de la	<ul style="list-style-type: none"> - Programa Europeo de cambio climático (EPCC) - Posible creación de un grupo sobre adaptación de la sociedad al cambio climático - Consulta con agentes implicados en el proceso

Fuente: Libro Verde, 2007; Iglesias, 2009.

Antes de 2020 la Comisión propone una reducción de un 10 por ciento de las emisiones sobre los niveles de 2005 para los sectores no incluidos en los ETS (Emission Trading Schemes), tal como la agricultura. Será la responsabilidad de los Estados miembros individuales determinar los objetivos específicos para cada sector y seleccionar la combinación de medidas y políticas que sean más favorables en la relación coste-efectivas. En el presente, la agricultura no tiene compromisos adquiridos para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, aunque esto puede cambiar en un futuro muy próximo. El paquete de medidas sobre clima y energía de la Comisión Europea lanzado en enero de 2008 propone unos objetivos de reducción por sectores. Estos objetivos también incluyen a la agricultura. Esto significa que hay todavía incertidumbre en relación a la inclusión de la agricultura entre los sectores que estarán sometidos a normativas específicas sobre emisiones con penalizaciones. Sin embargo, está claro que el sector agrario de la Unión Europea necesita ser consciente de las necesidades de su contribución para la mitigación de gases de efecto invernadero.

El papel de la agricultura en relación con el cambio climático ha recibido una creciente atención entre el público y los políticos de la Unión Europea. Debido a la contribución significativa de la agricultura a las emisiones de gases de efecto invernadero y a los posibles impactos de la agricultura derivados del cambio climático. Está claro que el sector debe contribuir tanto al esfuerzo para controlar las emisiones como a prepararse para la adaptación para enfrentarse a los riesgos y vulnerabilidades del cambio climático. Los desarrollos políticos recientes, tales como la propuesta legislativa bajo el «Chequeo Médico» de la PAC (COM (2008) 306/4), los esfuerzos de la Comisión Europea para proteger a sus ciudadanos del cambio climático, y la revisión de los presupuestos de la Unión Europea, aportan una oportunidad para reorientar la política agrícola y fortalecer las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

Para lograr los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio climático ha sido incluido como uno de los cuatro retos principales que tiene la agricultura a medio y largo plazo en el marco del Chequeo Médico de la PAC aprobado recientemente (COM, 2008), estableciendo una serie de medidas de apoyo a prácticas agrarias que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero articuladas a través del Segundo Pilar de la PAC. Con el fin de que las medidas sean efectivas, se necesita saber, por una parte, cuál es el grado de mitigación efectivo de algunas prácticas potenciales y, por otra, cuál es la disponibilidad potencial de los agricultores a la imple-

mentación de las mismas (grado de aceptación, coste, necesidades de control, implicaciones, requisitos). Por tanto, es necesario analizar si existen barreras a la implementación, medidas que puedan incentivar el desarrollo de las mismas por el mayor número de agricultores posible, así como los costes y beneficios que suponen cada una de ellas.

Sin embargo, aunque se controlen las emisiones de gases de efecto invernadero a partir de este momento, el sistema climático seguirá ajustándose al incremento en las emisiones que ya ha tenido lugar. Se puede proyectar casi con certeza un cambio en la distribución y productividad de los sistemas agrarios que implica mayores riesgos que oportunidades para la agricultura de la Unión Europea, especialmente en la región mediterránea. La adaptación de los sistemas agrarios forma ya parte de todos los borradores de políticas de sostenibilidad. A través de la historia, la agricultura ha demostrado su capacidad de adaptación a cambios en tecnología, disponibilidad de recursos y cambios en la demanda de productos agrarios. Sin embargo, la capacidad de respuesta depende de limitaciones en infraestructura, disponibilidad de recursos y regulaciones agrarias. La mayor parte de los agricultores de la Unión Europea se pueden adaptar potencialmente al cambio climático, teniendo en cuenta los avances científicos y tecnológicos y el nivel de desarrollo; sin embargo, no todas las regiones y sistemas de cultivo tienen el mismo potencial de adaptación. Es importante resaltar la vulnerabilidad y las limitaciones técnicas y sociales para la adaptación de la región Mediterránea a la sequía y escasez de agua. Las medidas que ayuden a reducir la vulnerabilidad a los riesgos climáticos y/o aprovechar las oportunidades deben incluir a los distintos niveles del sistema productivo: agricultores, mercados y sector público. Es especialmente importante evaluar de qué manera participan combinadamente los sectores público y privado en la externalización de los riesgos, especialmente ante situaciones de catástrofe. Las regulaciones agrarias en principio pueden ayudar a potenciar las oportunidades y mitigar los riesgos. Sin embargo, también pueden limitar las opciones de respuesta de dichos sistemas ya que restringen la libertad en su diseño.

¿Son las políticas de mitigación adecuadas para la adaptación de la agricultura al cambio climático? Las estrategias con mayor sentido desde el punto de vista práctico son las que combinan estos dos aspectos y las actuaciones propuestas se basan en la necesidad de una actuación coordinada. Se puede definir con un alto nivel de certidumbre la efectividad potencial de la agricultura para mitigar el cambio climático. Sin embargo, la efectividad de las medidas de adaptación solamente se podrá comprobar en el futuro. Es necesario desa-

rollar marcos conceptuales para la evaluación conjunta de estos dos aspectos del cambio climático para reforzar los Planes de Actuación que se están empezando a desarrollar en la Unión Europea.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCAMO, J.; DOLL, P.; HEINRICHS, T.; KASPAR, F.; LEHNER, B.; RÖSCH, T. y SIEBERT, S. (2003): «Global estimates of water withdrawals and availability under current and future business-as-usual conditions». *Hydrological Sciences Journal*, 48: 339-348.
- ANTLE, J. M.; CAPALBO, S. M.; ELLIOTT, E. T. y PAUSTIAN, H. K. (2004): «Adaptation, Spatial Heterogeneity, and the Vulnerability of Agricultural Systems to Climate Change and CO₂ fertilization: An Integrated Assessment Approach». *Climate Change*, 64(3): 289-315.
- BATES, B.; KUNDZEWICZ, Z.; WU, S. y PALUTIKOF, J. (2008): «Climate change and water». IPCC, *Technical Report*, June 2008, Geneva, Switzerland.
- CE (2003): Reg. 1782/2003. *Direct payments of Common Agricultural Policy (CAP)*. — (2004): Reg. 796/2004 about cross compliance in European Agricultural Policy.
- CHEN, C. C. y MCCARL, B. A. (2001): «An Investigation of the Relationship between Pesticide Usage and Climate Change». *Climatic Change*, 50(4): 475-487.
- CIRCE (2008): *Climate change and impact research: the Mediterranean environment*. <http://www.circeproject.eu/> (last visited January 2009).
- COM (2007): 354 (2007): *Green Paper on Adaptation to Climate Change*. — (2008): 306/4. *Propuesta de reglamento del consejo en el marco del chequeo médico de la PAC*.
- DARWIN, R. (2004): «Effects of greenhouse gas emissions on world agriculture, food consumption, and economic welfare». *Climatic Change*, 66: 191-238.
- DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA (2009): Dictamen del Comité Económico y Social Europea sobre el tema «El cambio climático y la agricultura en Europa». (2009/C 27/14), 3 de febrero de 2009.
- EEA (2008): *Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2008*. European Environment Agency.
- (2008): *Impacts of climate change in Europe: An indicator based report*. European Environment Agency.
- ENSEMBLES (2008): (*ENSEMBLE-based Predictions of Climate Changes and their Impacts*). <http://ensembles-eu.metoffice.com/> (last visited 22 Nov 2008).
- FANKHAUSER, S. y TOL, R. S. J. (2005): «On Climate Change and Economic Growth». *Resource and Energy Economics*, 27: 1-17.
- FAO (2006): *Livestock's long shadow*, Rome, Italy.
- GARRIDO, A. y GÓMEZ RAMOS, A. (2000): «Socio-economic aspects of drought»: 197-207 in *Drought and drought mitigation in Europe*, Vogt, J. V. and Somma, F. (eds.). Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

- IGLESIAS, A. (2009): «Policy issues related to climate change in Spain. In: Dinar, A.; Albiac, J.; Policy and Strategic Behaviour in *Water Resource Management*: 350 p., Earthscan, London, United Kingdom, ISBN: 978-1-84407-669-7.
- IGLESIAS, A.; AVIS, K.; BENZIE, M.; FISHER, P.; HARLEY, M.; HODGSON, N.; HORROCKS, L.; MONEO, M. y WEBB, J. (2007a): *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.
- IGLESIAS, A.; CANCELLIERE, A.; CUBILLO, F.; GARROTE, L. y WILHITE, D. A. (2008): *Coping with drought risk in agriculture and water supply systems: Drought management and policy development in the Mediterranean*. Springer, The Netherlands, 320 pp; DOI 10.1007/978-1-4020-9045-5.
- IGLESIAS, A.; GARROTE, L.; FLORES, F. y MONEO, M. (2007b): «Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean». *Water Resources Management*, 21(5): 227-288.
- IGLESIAS, A.; GARROTE, L. y MARTÍN-CARRASCO, F. (2009): «Drought Risk Management in Mediterranean River Basins». *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5(1): 11-16.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- LAL, R. (2008): «Managing soil water to improve rainfed agriculture in India. J.». *Sustain. Agric.* 32: 51-75.
- LONG, S.; AINSWORTH, E. A.; LEAKEY, A. D. B.; NÖSBERGER, J. y ORT, D. R. (2006): «Food for Thought: Lower-Than-Expected Crop Yield Stimulation with Rising CO₂ concentrations». *Science*, 312: 1.918-1.921.
- MARM (2009): «Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Políticas de cambio climático». *Unidad de Análisis y Prospectiva, Serie Medio Ambiente*, enero 2009.
- MEDINA, F. (2009): *La gestión del riesgo y las políticas de cambio climático en la agricultura ecológica*. Tesis Doctoral, en elaboración.
- MEDINA, F. e IGLESIAS, A. (2009) *Agricultural practices with greenhouse mitigation potential in Mediterranean countries: Evaluation and policy implications*. Submitted to the IAAE, China.
- OECD (2008): *Climate change and agriculture*, Paris.
- OLESEN, J. y PORTER, J. (2008); OLESEN, J. E. y PORTER, J. R. (2008): «Adaptation and Mitigation». *PICCMAT Deliverable*, 10, *Workpackage*, 3. <http://climatechangeintelligence.baastel.be/piccmat/adaptation.php> (last visited January 2009).
- PARRY, M. L.; ROSENZWEIG, C.; IGLESIAS, A.; LIVERMORE, M. y FISCHER, G. (2004): «Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios». *Global Environmental Change*, 14(1): 53-67.
- PESETA (2008): *Projection of Economic impacts of climate change in Sectors of the European Union based on bottom-up Analysis*. <http://peseta.jrc.ec.europa.eu> (last visited 22 Nov 2008).

- PICCMAT (2008): *Policy Incentives for Climate Change Mitigation Agricultural Techniques*. European Commission, DG Agriculture, Specific Support Action. Brussels, October 2008.
- PRUDENCE (2006): *Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects*. <http://prudence.dmi.dk/> (last visited 22 Nov 2008).
- QUIROGA, S. e IGLESIAS, A. (2007): «Projections of economic impacts of climate change in agriculture in Europe». *Economía Agraria y Recursos Naturales* 7(14): 65-82. (in English).
- ROSENZWEIG, C.; IGLESIAS, A.; YANG, X. B.; CHIVIAN, E. y EPSTEIN, P. (2001): «Climate Change and Extreme Weather Events: Implications for Food Production, Plant Diseases, and Pests». *Global Change and Human Health*, 2: 90-104.
- ROSENZWEIG, C.; KAROLY, D.; VICARELLI, M.; NEOFOTIS, P.; WU, Q.; CASASSA, G.; MENZEL, A.; ROOT, T. L.; ESTRELLA, N.; SEGUIN, B.; TRYJANOWSKI, P.; LIU, C.; RAWLINS, S. y IMESON, A. (2008): «Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change». *Nature*, 453: 353-357.
- ROSENZWEIG, C.; STRZEPEK, K.; MAJOR, D.; IGLESIAS, A.; YATES, D.; HOLT, A. y HILLEL, D. (2004): «Water availability for agriculture under climate change: Five international studies». *Global Environmental Change*, 14: 345-360.
- SCHÄR, C.; VIDALE, P. L.; LÜTHL, D.; FREI, C.; HÄBERLI, C.; LINIGER, M. A. y APPENZELLER, C. (2004): «The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves». *Nature*, 427: 332-336.
- SCHRÖTER, D.; CRAMER, W.; LEEMANS, R.; PRENTICE, I. C.; ARAÚJO, M. B.; ARNELL, A. W.; BONDEAU, A.; BUGMANN, H.; CARTER, T.; GRACIA, C. A.; DE LA VEGA-LEINERT, A. C.; ERHARD, M.; EWERT, F.; GLENDINING, M.; HOUSE, J. I.; KANKAANPÄÄ, S.; KLEIN, R. J. T.; LAVOREL, S.; LINDNER, M.; METZGER, M.; MEYER, J.; MITCHELL, T. D.; REGINSTER, I.; ROUNSEVELL, M.; SABATE, S.; SITCH, S.; SMITH, B.; SMITH, J.; SMITH, P.; SYKES, M. T.; THONICKE, K.; THUILLER, W.; TUCK, G.; ZÄHLE, S. y ZIERL, B. (2005): «Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe». *Science*, 310: 1.333-1.337.
- 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. y SIRINTORNTHAP TOWPRAYOON, A. N. D. (2007b): «Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture». *Agriculture Ecosystems and Environment*, 118: 6-28.
- SMITH, P.; SOMOGYI, Z.; TRINES, E.; WARD AND, M. y YAMAGATA, Y. (2007a): «Greenhouse gas mitigation in agriculture». *Philosophical Transactions of Royal Society*, 363(1492): 789-813.
- STERN, N.; PETERS, S.; BAKHSHI, V.; BOWEN, A.; CAMERON, C.; CATOVSKY, S.; CRANE, D.; CRUICKSHANK, S.; DIETZ, S.; EDMONSON, N.; GARBETT, S. L.; HAMID, L.; HOFFMAN, G.; INGRAM, D.; JONES, B.; PATMORE, N.; RADCLIFFE, H.; SATHIYARAJAH, R.; STOCK, M.; TAYLOR, C.; VERNON, T.; WANJIE, H. y ZENGHELIS, D. (2006): Stern Review: *The Economics of Climate Change*, HM Treasury, London.

- THULLER, W.; LAVOREL, S.; ARAÚJO, M. B.; SYKES, M. T. y PRENTICE, I. C. (2005): «Climate change threats to plant diversity in Europe». *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*: 8: 245-8.250.
- TOL, R. S. L. (2006): «The Stern review of the economics of climate change: A comment. Economic and Social Research». Institute Hamburg, Vrije and Carnegie Mellon Universities. November 2, 2006. <http://www.fnu.zmaw.de/fileadmin/fnu-files/reports/sternreview.pdf>.
- UNFCCC (1992): *United Nations Framework Convection on Climate Change*. FCCC/INFORMAL/84. GE.05-62220 (E) 200705.
- VOROSMARTY, C.; GREEN, P.; SALISMURY, J. y LAMMERS, R. B. (2000): «Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth». *Science*, 289: 284-288.

RESUMEN

Consecuencias del cambio climático para la agricultura: ¿un problema de hoy o del futuro?

Este artículo trata de las consecuencias del cambio climático para la agricultura del presente y del futuro. El problema fundamental del presente es la necesidad del sector agrario (entre otros) de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de aumentar la capacidad para secuestrar dióxido de carbono, es decir, de mitigación del cambio climático. En el futuro, aunque la mitigación continúe siendo importante, el principal problema será de adaptación a unas condiciones diferentes. A pesar del progreso de la comunidad internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (políticas de mitigación del presente), el sistema climático continuará su ajuste a las emisiones actuales, con efectos inevitables para los sistemas naturales o intervenidos por el hombre. La agricultura debe prepararse para las condiciones cambiantes, responder a ellas y tener la capacidad para recuperarse de sus impactos (políticas de adaptación en el presente y en el futuro). El reto es definir una combinación óptima de los compromisos de mitigación por parte de la agricultura y de las necesidades de adaptación de la producción de alimentos.

PALABRAS CLAVE: cambio climático, agricultura, adaptación, mitigación.

SUMMARY

Consequences of climate change for agriculture: a present of future problem?

This article addresses the consequences of climate change for agriculture in the present and in the future. In the present, the main challenge of the agricultural and food sector is to control greenhouse gas emissions, that is: mitigation of climate change. In the future, mitigation will remain important, but a main problem will be adaptation to different conditions. The international community is making an effort to mitigate greenhouse gas emissions (current mitigation policy), but climate will continue to adjust to the current level of atmospheric gases, with unavoidable risks to natural or managed systems. Agriculture needs to be prepared for never-experienced conditions, respond to them and recover from their impacts. The response needs to be triggered by adaptation policy in the present and in the future. The challenge is to define an optimal combination of mitigation and adaptation policies for agriculture and food production.

KEY WORDS: Climate change, agriculture, adaptation, mitigation.