



Foto 1. Los agricultores identifican y seleccionan las opciones más prometedoras de adaptación de la explotación agrícola a los cambios climáticos locales previstos.

**Helena Gómez
Macpherson**

Instituto de Agricultura
Sostenible (IAS-CSIC),
Córdoba, España

Cambio Climático y Agricultura en Europa: impacto y adaptación

La producción agrícola está estrechamente relacionada con la temperatura y las precipitaciones y, por tanto, es vulnerable al cambio climático. La mayoría de los estudios sobre el impacto del cambio climático en la producción agrícola utilizan modelos de cultivo a fin de valorar el rendimiento en los escenarios previstos para el futuro. Otros observan las tendencias del rendimiento de los cultivos en las últimas décadas e intentan diferenciar entre los beneficios obtenidos gracias a efectos genéticos y los provenientes de efectos agronómicos o climáticos. Existen, además, investigaciones en torno a las impresiones de los agricultores sobre los cambios, que se basan en la experiencia personal de estos. Independientemente de la incertidumbre existente, las tendencias generales señalan grandes impactos en el futuro, frente a los pequeños del pasado atribuibles al cambio climático. En el sur de Europa se esperan impactos negativos por el aumento de temperaturas y la disminución de precipitaciones, que no se verán contrarrestados por el incremento de CO₂. A la inversa, en el norte y el oeste hay expectativas de efectos beneficiosos gracias al aumento de las temperaturas y a la prolongación del período de crecimiento. La agricultura tendrá que adaptarse a los cambios; las estrategias posibles se estudian típicamente con modelos de cultivo; no obstante, la adaptación debe tener en cuenta el contexto socioeconómico local a la hora de desarrollar alternativas viables. En este proceso, las políticas de la UE desempeñarán un papel clave para lograr el éxito.

El pasado: ¿está afectando ya el cambio climático a la producción agrícola?

La temperatura del aire y las olas de calor han aumentado en Europa (IPCC, 2014), y parece que se aprecian cambios mayores en relación

con la variabilidad natural, probablemente un reflejo de origen antropogénico (Moore y Lobell, 2015). Las fluctuaciones variables de las precipitaciones no permiten establecer una relación clara con este fenómeno; sin embargo, sí se ha observado una mayor frecuencia de episodios extre-

mos y un cambio de patrones según regiones.

¿Han afectado estos cambios ya al rendimiento de los cultivos?

La evolución de la mejora del rendimiento de los cultivos, que se utiliza habitualmente en los estudios sobre valoración de las contribuciones del

desarrollo agronómico y de la mejora genética, puede emplearse también para valorar el impacto de las variaciones climáticas. Si bien el rendimiento de los granos de los principales cultivos básicos ha aumentado con el tiempo, varios estudios muestran que en las últimas décadas este progreso ha disminuido, llegando incluso al estancamiento (Grassini y col. 2013), como en el caso del trigo en Dinamarca, Finlandia, Francia, Países Bajos, España, Suiza y Reino Unido, o del maíz en Francia e Italia (Lin y Huybers, 2012; Finger, 2008; Supit y col., 2010; Olesen y col., 2011). En Francia, se viene apreciando una disminución de la mejora del rendimiento del trigo desde mediados de la década de los noventa (Brisson y col., 2010); de manera similar, en Finlandia, 1996 se considera un año de inflexión durante el cual el progreso del rendimiento de los cereales disminuyó o se estabilizó (Peltonen-Sainio y col., 2009); y en Suiza, los principios de los noventa (Finger, 2010).

El estancamiento de la mejora del rendimiento de los cultivos en Europa se ha asociado, en parte, al cambio climático. Moore y Lobell (2015) descubrieron que los cambios de temperatura y precipitaciones en Europa tenían un efecto negativo sobre el rendimiento de los granos de trigo y cebada, y un efecto positivo en el caso del maíz y de la remolacha azucarera. El efecto fue pequeño cuando se realizó un promedio en la región (un 10% de desaceleración progresiva de la mejora de rendimiento del trigo y la cebada desde los años noventa); sin embargo, el impacto fue mayor en el sur de Europa. En el Reino Unido e Irlanda, el aumento de las precipitaciones ha compensado el impacto negativo de las altas temperaturas. La disminución de la mejora del rendimiento del trigo también se ha asociado al potencial de rendimiento limitado, a una brecha de bajo rendimiento en los sistemas europeos intensivos (Fischer y col., 2014) y a cambios en las políticas agrícolas y ambientales (Lin y Huybers, 2012), cuya relevancia puede variar según el país. En el Reino Unido, el siste-

ma de producción intensiva, que presenta una brecha pequeña en el rendimiento, requiere esfuerzos mayores en la mejora genética con objeto de aumentar el rendimiento del grano. Por otra parte, en Suiza y Finlandia la estabilización del rendimiento de los cereales se asoció a la reducción de los insumos, que tuvo lugar cuando la PAC dejó de estar vinculada al rendimiento de los cultivos (Finger, 2010; Peltonen-Sainio y col., 2009). Con respecto a Francia (Brisson y col., 2010), sin embargo, las causas señaladas no fueron estas, sino los cambios en la rotación de cultivos, el aumento de las sequías durante el encañado o el estrés térmico durante la formación de los granos, de forma que se halla vinculada a los cambios climáticos, según Moore y Lobell (2015).

Cuando se preguntó a los agricultores europeos por sus impresiones sobre el cambio climático (proyecto Climate-CAFE*), la mayoría de ellos coincidieron en que el clima está cambiando y que supone un riesgo para la agricultura. Cuando se les pidió que especificaran qué tendencias de cambio climático habían percibido en los últimos veinte años, los resultados confirmaron, en parte, los patrones climáticos detectados al analizar series históricas. Casi el 60% de los agricultores señalaron un aumento de temperaturas en invierno, especialmente en Alemania, Suecia, Reino Unido y Finlandia. El consenso general fue menor con respecto a los cambios en las precipitaciones y la frecuencia de sequías y períodos de inundación. Mientras que en Alemania y en el Reino Unido coincidieron en que las precipitaciones anuales habían aumentado, en otros países la mayoría de los agricultores opinaron que las precipitaciones anuales no habían variado. En España, un 40% afirmaron que habían disminuido y otro 40% señalaron que no había habido cambios, sobre todo por los últimos años húmedos, en los que se había interrumpido el período seco. La variabilidad de las precipitaciones en el sur dificulta la percepción de tendencias a largo plazo.

El futuro: ¿qué previsiones hay sobre el efecto del cambio climático en la producción agrícola?

Los modelos climáticos predicen unos cambios en los patrones de temperatura y de precipitaciones mayores que los observados en las últimas décadas en Europa y que afectan, de nuevo, de manera diferente a las regiones (Giorgi y col. 2004 a, b). Las perspectivas para 2071-2100, frente al período de 1961 a 1990, hablan de un calentamiento global en Europa en un rango de 1 a 5°C y se prevé un aumento mayor en verano en el oeste y el sur y en invierno en el este. En cuanto a las precipitaciones anuales, en general, se espera una disminución de las mismas en el sur de Europa y un aumento en el resto de las regiones, particularmente en invierno, pero hay previsiones de una disminución general en verano; los cambios en las precipitaciones de otoño y primavera son menos claros. Hay pronósticos de un aumento general de episodios de precipitaciones extremas a lo largo de todo el año en Europa, incluso en las regiones en las que las precipitaciones disminuirán. La región mediterránea destaca como "zona caliente", con una pronunciada disminución de precipitaciones (de alrededor del -15% con respecto al cambio medio pronosticado) y un aumento del calentamiento (cerca de 5°C más de temperatura media anual) y variabilidad interanual, especialmente en verano (Giorgi y col., 2008; IPCC, 2014).

Los cambios de temperaturas, precipitaciones y CO₂ tendrán un impacto en el rendimiento de los cultivos diferenciado y complejo, pero no necesariamente negativo. Por regla general, los cambios de temperatura afectarán al desarrollo fisiológico, al crecimiento de las plantas y a la senescencia; el estrés hídrico repercutirá en el crecimiento, el rendimiento y la calidad del fruto, dependiendo del nivel de estrés y la interacción con la temperatura; y el aumento de concentración atmosférica de CO₂ hará que la fotosíntesis sea más eficiente y el crecimiento más rápido. Los cambios de temperaturas y precipi-

* www6.inra.fr/climate-cafe

taciones tendrán además un impacto en la presencia de plagas y enfermedades (este tema será abordado ampliamente por otros participantes en el congreso) e interferirán en las operaciones de las explotaciones agrícolas (por ejemplo, la siembra o cosecha), en sentido positivo o negativo; no obstante, las olas de calor extremas o los episodios de inundación, en la mayoría de los casos, dañarán los cultivos y causarán erosión y degradación del suelo. Las bajas temperaturas impiden el crecimiento de las plantas durante el invierno y la primavera, pero el aumento de las temperaturas ampliará el período de crecimiento de producción de cultivos. Un efecto positivo general es el aumento de la mineralización de nitrógeno en el suelo y su disponibilidad para los cultivos, debido al incremento de temperaturas.

Los modelos de simulación de cultivos brindan la posibilidad de integrar los efectos de la temperatura, las precipitaciones y el CO₂ en el rendimiento de los cultivos. Así, existen numerosos estudios sobre el impacto de los futuros escenarios de cambio climático en la productividad de los cultivos que utilizan modelos de simulación de cultivos, entre ellos, las evaluaciones del IPCC. Challinor y col. (2014) recogieron un conjunto de datos de 1700 simulaciones de estudios publicados en todo el mundo y llegaron a la conclusión de que, aunque los resultados varían según la metodología que se use, por lo general, el rendimiento de los principales cultivos básicos se verá afectado negativamente si estos no se adaptan. En Europa, el impacto en la producción de cultivos dependerá de la región (Tabla 1). Se pronostican efectos mayores que los observados en las últimas décadas (IPCC, 2014). En el norte de Europa, las temperaturas más cálidas, los inviernos más húmedos y los niveles más altos de CO₂ incrementarán la productividad y facilitarán nuevos cultivos; sin embargo, se espera una mayor incidencia de plagas y enfermedades. En el sur de Europa y en otras regiones con un medio ambiente más cálido y menos precipitaciones, el aumento de CO₂ no podrá compensar los efectos negativos.

En el caso específico del trigo, cultivado y estudiado extensamente en

Impacto climático	Sur	Norte	Oeste	Este
Incremento de las temperaturas y reducción del período de heladas, y aumento consecuente de la gama de cultivos y su idoneidad		+		
Estrés térmico para la producción de plantas	- -		-	
Reducción de las precipitaciones estivales, disminución general de la disponibilidad de agua, más períodos de sequía	- -	-	-	-
Aumento de episodios de inundación + frecuencia. Daños a los cultivos y límites de manejabilidad del suelo		-	- -	- -
Propagación de plagas y enfermedades	-	- -	- -	-
Mayor riesgo de daños por viento	-	-	-	-

Cuadro 1. Impactos positivos y negativos previstos del cambio climático en los cultivos de las regiones de la UE (adaptado del IEEP, 2017).

Europa, se cree que el impacto del cambio climático será negativo en la mayoría de las condiciones, particularmente en el sur (Moore y Lobell, 2015; Olesen y col. 2011). En general, el aumento de las temperaturas acortará las fases de desarrollo y el posible rendimiento, y el estrés térmico durante la formación del grano reducirá el peso de este. El estrés hídrico durante las fases tardías de elongación del tallo, floración y formación del grano tendrá un efecto negativo importante, particularmente en ambientes cálidos. Por otra parte, la inundación de suelos en invierno puede dañar las raíces, y los episodios de heladas durante las fases de espigado y floración reducirán el número de granos.

Los estudios no suelen considerar el aumento de los niveles de CO₂ y su interacción con el crecimiento en las simulaciones; sin embargo, cuando se incluye el CO₂, los efectos positivos no siempre contrarrestan los efectos negativos causados en ambientes más cálidos y secos. Otra dificultad con respecto a los modelos es que las variables en juego pueden estar relacionadas entre sí, de forma que es posible que un solo modelo no capte dichas relaciones; consecuentemente, algunos autores recomiendan utilizar 'multimodelos' para pronósticos en los estudios acerca del impacto.

Presente y futuro: ¿cómo adaptarse al cambio climático?

Aunque la temperatura afecta directamente al crecimiento y a la producción de los cultivos, la escasez de agua es la principal preocupación con respecto al impacto negativo en la agricultura europea (AEMA, 2012; EIP-AGRI, 2018). El efecto perjudicial de los períodos de sequía dependerá de su duración, de la capacidad del cultivo para afrontarlos (agua almacenada en el suelo y profundidad de las raíces) y de la fase de desarrollo en que se encuentre (la floración es generalmente la fase más sensible). Los cambios en el régimen de lluvias también afectarán a los recursos hídricos para el riego. Existe una bibliografía considerable que propone medidas de adaptación a la escasez de agua dentro y fuera del dominio hídrico y a diferentes escalas (ver los estudios de Turrall y col. 2011; Gómez-Macpherson, 2015; Iglesias y Garrote, 2015); estas medidas son similares a las que se estudian actualmente en zonas propensas a la sequía (Blum, 2018).

Pueden distinguirse varias estrategias posibles para las explotaciones agrícolas: maximizar la disponibilidad de agua para los cultivos, utilizar el agua de la manera más eficiente posible o aumentar la resiliencia de las explotaciones en condiciones va-

CALIBITT®

EL **CALCIO** DE LA ALTA EFICIENCIA



M **MASSÓ**
AGRO DEPARTMENT

COMERCIAL QUÍMICA MASSÓ, S.A.
Viladomat, 321, 5º - 08029 Barcelona (Spagna)
Tel. +34 93 495 25 00 - Fax +34 93 495 25 02
E-mail: masso@ccqm.es

riables (Gómez-Macpherson, 2015). La eficacia de las opciones se suele estudiar a través de la simulación del rendimiento de los cultivos en futuros escenarios de cambio climático. Los resultados muestran que los efectos negativos previstos podrían reducirse con las estrategias de adaptación; sin embargo, esto no será sencillo para algunas regiones y cultivos (Moore y Lobell, 2015). Por ejemplo, mientras que en las regiones en las que se prevén cambios moderados de temperaturas y precipitaciones, la combinación de diferentes fechas de siembra y variedad de cereales podría ser suficiente para adaptarse a estos cambios, en la región mediterránea las alternativas y estrategias de adaptación propuestas para los cereales de secano no parecen suficientes para superar los efectos perjudiciales, salvo que se acompañen de riego complementario (Ruiz Ramos y col., 2018).

Algunos agricultores y otras partes interesadas han argumentado que las opciones propuestas por los científicos no son siempre eficaces a escala de la explotación agrícola, que se desconoce el rendimiento económico de las inversiones (EIP-AGRI, 2018) y que la adaptación de la producción de cultivos a los cambios previstos debe abordarse localmente, de modo que se tengan en cuenta los aspectos agronómicos, edafológicos y socioe-

conómicos específicos (Reidsma y col., 2010). Los dos primeros aspectos pueden analizarse con modelos, pero, en el caso del tercero, es necesaria la interacción con las partes interesadas locales (y, por esta razón, algunos puntos del programa H2020 requieren un enfoque con múltiples actores). Cuando se preguntó a las partes interesadas sobre la adaptación (Olesen y col., 2011; proyecto Climate-CAFE), estas propusieron varias medidas relacionadas con la gestión del agua, el suelo o los cultivos. Una vez que se demuestre el valor que tienen en la adaptación, la adopción de las mismas dependerá en gran medida de la capacidad que tengan los agricultores para llevar a cabo dicha adopción dependiendo de sus contextos socioeconómicos (Foto 1). En caso necesario, las políticas deberían promover las nuevas opciones, sistemas de seguros, el acceso al asesoramiento técnico y a la formación, y otras acciones, entre las que la investigación debería ser un elemento clave para el desarrollo de alternativas viables. Se necesitan protocolos claros para la investigación sobre las explotaciones agrícolas a fin de evaluar nuevas estrategias y determinar los riesgos económicos y ambientales asociados; asimismo, se necesitan estudios locales a largo plazo para las alternativas relacionadas con la mejora de la materia orgánica del suelo y los beneficios derivados.

Las políticas europeas que abordan el cambio climático consideran dos aspectos sobre la agricultura: su necesidad de adaptación y su posible papel en la mitigación de efectos. El principal instrumento de la UE para esta adaptación y mitigación en las explotaciones agrícolas se encuentra en los programas de desarrollo rural de los Estados miembros (parte del segundo pilar de la PAC). Las estrategias de adaptación para el sector agrícola incluyen medidas para el fomento de una gestión mejor de los suelos y de los recursos hídricos, la elaboración de planes de gestión de la sequía o la facilitación del acceso a instrumentos de gestión de riesgos (por ejemplo, planes de seguros). Además, el primer pilar de la PAC incluye pagos directos para medidas 'ecológicas', principalmente con el fin de apoyar la diversificación de cultivos. En cuanto a la investigación, varios puntos del programa H2020 buscan incrementar los conocimientos sobre la adaptación de la agricultura al cambio climático. Además, la Iniciativa de Programación Conjunta sobre Agricultura, Seguridad Alimentaria y Cambio Climático (FACCE-JPI) entre 21 países busca alternativas para aumentar la resiliencia de la agricultura, la silvicultura y la biodiversidad ante el cambio climático y para reducir las emisiones de GEI.

Bibliografía

- Blum, A. (2018). PlantStress on-line platform (www.plantstress.com).
- Challinor A., Watson J., Lobell D., Howden S., Smith D., Chhetri N. 2014. *Nat. Clim. Change* 4, 287–291.
- Diffenbaugh, N.S., Giorgi, F. 2012. *Clim. Chang.* 114, 813–822.
- EEA, 2015. (www.eea.europa.eu/signals/signals-2015/articles/agriculture-and-climate-change)
- EIP-AGRI. 2018. (ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip)
- Finger, R. 2008. *Eurochoices* 7, 24–25.
- Finger, R. 2010. *Food Policy* 35, 175–182.
- Giorgi F., Bi X., Pal J.S. 2004. *Clim. Dyn.*, 22, 733–756.
- Giorgi F., Bi X., Pal J.S. 2004. *Clim. Dyn.*, 23, 839–858.
- Gómez-Macpherson, H. 2015. (ec.europa.eu/eip/agriculture/sites/agri-eip/files/fg15_wateragriculture_starting_paper_2015_en.pdf)
- Grassini P., Eskridge K.M., Cassman K.G. 2013. *Nat Commun* 4:2918.
- IEEP. 2017. Policy Department B: Structural and Cohesion Policies, European Parliament.
- Iglesias A., Garrote L. 2015. *Agricultural Water Management*, 155, 113–124.
- IPCC. 2014. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Lin M., Huybers P. 2012. *Environ. Res. Letters* 7, 024016, 6 p.
- Moore F.C., Lobell D.B. 2015. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 112, 2670–5.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. 2009. *Agric and Food Sci* 18, 206–226.
- Reidsma P., Ewert F., Lansink A.O., Leemans R. 2010. *Europ. J. Agron.* 32, 91–102.
- Supit I., van Diepen C.A., de Wit A.J.W., Kabat P., Baruth B., Ludwig F. 2010. *Agric Syst* 103, 683–694.
- Turrall H., Burke J., Faurès J.M. 2011. *FAO Water Reports* 36. FAO, Rome, Italy.