

Repercusión del Cambio Climático en la Sanidad Vegetal

## Repercusiones potenciales del cambio climático en las enfermedades de cultivos causadas por hongos y oomicetos

Juan A. Navas-Cortés y Blanca B. Landa (Instituto de Agricultura Sostenible, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario, ceiA3, Córdoba).

### El cambio climático y su repercusión en la agricultura

El cambio climático constituye uno de los ejes centrales en torno al cual gira la preocupación medioambiental, tanto en el ámbito más puramente científico como en el de la sociedad en general, ya que se prevén impactos significativos en aspectos tan dispares como las actividades agrícolas, la salud humana, los sistemas naturales o ciertos sectores financieros, como el de los seguros (IPCC, 2007).

El clima se define como el patrón de las condiciones meteorológicas observadas durante un período de tiempo prolongado. El clima de una región se define por la media y las oscilaciones de las variables climáticas (temperatura, precipitación, viento, etc.). El término cambio climático se refiere a una alteración de las condiciones medias, mientras que la variabilidad climática se refiere a las fluctuaciones respecto a la media (Iglesias, 2008). En este sentido, los recientes informes de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre cambio climático (IPCC) confirman las evidencias proporcionadas por las observaciones de los sistemas físicos y biológicos, que muestran que los cambios regionales en el clima están afectando a los diferentes sistemas y en distintas partes del globo terráqueo. Esto en definitiva indica que las evidencias de la existencia del cambio climático y de los impactos que de él se derivan son consistentes y numerosas (IPCC, 2007; 2013).

De acuerdo a las previsiones del IPCC, es probable que, para finales del siglo XXI, la temperatura global en superficie de la tierra sea superior en 1,5 a 2°C a la del período entre 1850-1900 en función del escenario RCP considerado. Además, el calentamiento continuará mostrando una variabilidad interanual y decenal y no será uniforme entre las regiones del globo. Los cambios que se producirán en el ciclo global del agua, en respuesta al calentamiento durante el siglo XXI, no serán uniformes. Se acentuará el contraste en las precipitaciones entre las regiones húmedas y secas y entre las estaciones húmedas y secas; si bien, podrá haber excepciones regionales. El cambio climático afectará a los procesos del ciclo del carbono de un modo que agudizará el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, que determinará en gran medida el calentamiento medio global en superficie a finales del siglo XXI y épocas posteriores. La mayoría de los aspectos del cambio climático perdurarán en el futuro, incluso aunque cesaran las emisiones de CO<sub>2</sub> actuales, lo que supone una notable inexorabilidad del cambio climático durante varios siglos, debido a las emisiones de CO<sub>2</sub> pasadas, presentes y futuras (IPCC, 2013).

La agricultura, dada su fuerte dependencia de las condiciones climáticas, es un sector que se verá seriamente afectado por las consecuencias del cambio climático. No obstante, ésta se verá afectada de forma no homogénea en diferentes partes del mundo. Los efectos resultantes dependerán fundamentalmente

de las condiciones climáticas y del suelo actuales, la dirección del cambio y la disponibilidad de recursos e infraestructuras para hacerle frente (Rabbinge y van Diepen, 2000). Las variables del clima de más importancia para la producción vegetal y, por tanto, para la agricultura son la temperatura, la precipitación, los niveles de humedad tanto ambiental como del suelo, la radiación solar y la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub> (Fischer y col., 2005). El cambio climático añade así una nueva dimensión al desafío global de aumentar la producción agraria para hacer frente al crecimiento proyectado de la población y garantizar la seguridad alimentaria y las fuentes de ingresos en el medio rural, manteniendo al mismo tiempo un elevado nivel de protección medioambiental.

### Impacto del cambio climático en las enfermedades de cultivos

El desarrollo de una enfermedad en cultivos de plantas es consecuencia de las interacciones entre un agente causal y una planta susceptible en el marco de un ambiente adecuado, en tanto que, sin el concurso de éste último, la enfermedad no tiene lugar aún en presencia de huésped susceptible y patógeno virulento (Jiménez Díaz, 2008). Variaciones extremas en los factores climáticos han determinado epidemias devastadoras a lo largo de la historia y las relaciones entre factores climáticos y los ciclos vitales de los patógenos, o entre aquéllos y el desarrollo de las enfermedades, se han venido utilizado con éxito para la predicción de epidemias y el control de las enfermedades (Madden y col., 2007). No obstante, es importante destacar que la naturaleza compleja de las interacciones entre plantas y patógenos dificulta notablemente la predicción de impactos sobre el rendimiento y calidad de las cosechas debido a modificaciones en las variables climáticas, así como que se puedan establecer generalizaciones respecto de las estrategias adecuadas para minimizarlos (Boland y col., 2004; Coakley y col., 1999; Jiménez Díaz, 2008). Por ello, es previsible que el cambio climático tenga especial relevancia en los efectos que las enfermedades ejercerán sobre la producción agrícola (Oerke, 2006).

Entre las diversas variaciones en los factores climáticos asociadas con el cambio climático, la de temperatura, precipitación y humedad ambiental, y el incremento en la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, son las que inciden en mayor extensión sobre los componentes de los patosistemas, y potencialmente pueden determinar efectos más significativos sobre la incidencia y severidad de las enfermedades en los cultivos. Los conocimientos actuales sobre la epidemiología de las enfermedades, indican que, potencialmente, las modificaciones ambientales asociadas con el cambio climático pueden dar lugar a alteraciones importantes en: (i) los ciclos vitales de los agentes fitopatógenos; (ii) el desarrollo de la patogénesis en las enfermedades; y (iii) la fisiología de las interacciones

entre la planta y el patógeno. Tales alteraciones tendrían repercusión sobre: (a) la distribución geográfica de los patógenos; (b) la incidencia y severidad de las enfermedades y las pérdidas de rendimiento que éstas originen; y (c) la eficiencia de las estrategias empleadas para el control de las enfermedades (Chakraborty y col., 2000b; Coakley y col., 1999; Garret y col., 2006).

La distribución geográfica de los agentes fitopatógenos viene determinada en gran medida por los requisitos climáticos, esencialmente las temperaturas máximas y mínimas, y la pluviometría, para su supervivencia o la de sus vectores, en caso de tenerlos, entre estaciones de cultivo del huésped, y/o la existencia de estos últimos en las áreas geográficas, por lo que puede ser notablemente modificada por las variaciones ambientales asociadas con el cambio climático. El incremento de las temperaturas mínimas invernales, y la tendencia en el adelanto de la primavera y retraso del invierno, probablemente facilitarán la migración a otras latitudes de cultivos propios de ambientes meridionales y con ellos también muy probablemente la de sus patógenos y sus vectores. La extensión y rapidez con que pueda tener lugar la extensión de los rangos geográficos de los patógenos estarán determinadas por los procesos que facilitan su diseminación a nuevas áreas favorecida de forma importante por episodios climáticos extremos y la capacidad de sobrevivir en ellas determinada fundamentalmente por las temperaturas mínimas invernales (Chakraborty y col., 2011; Coakley y col., 1999; Scherm and Coakley, 2003).

La previsión sobre el incremento de las temperaturas puede favorecer la reducción temporal de los ciclos reproductivos y de infección por patógenos foliares, así como un incremento de su tasa reproductiva (Coakley y col., 1999). Ambos efectos pueden operar a favor del potencial evolutivo y procesos de ganancia de virulencia de los agentes fitopatógenos, que pueden ir asociados tanto con el aumento en el tamaño de las poblaciones resultantes como con la mayor expectativa de supervivencia de dichas poblaciones entre estaciones de cultivo (Chakraborty y Datta, 2003; Garret y col., 2006). Finalmente, los ataques de las enfermedades pueden alcanzar niveles elevados de severidad aún con temperaturas moderadamente favorables para su desarrollo debido a que el menor efecto de niveles subóptimos de temperatura puede ser compensado por niveles más favorables de otros factores en el patosistema (Navas-Cortés y col., 2007).

Finalmente, el impacto del cambio climático sobre el control de las enfermedades puede ser especialmente relevante en el caso de la utilización preferente de estrategias no químicas promovidas por la agricultura sostenible. Además del impacto del cambio climático sobre la eficiencia y/o durabilidad de la resistencia, no debe ser desestimada la previsible repercusión negativa sobre la consistencia y eficacia de medidas de lucha de naturaleza cultural (Ej., modificaciones en la fecha de siembra), y en particular las de control biológico, dada la vulnerabilidad de los agentes microbianos a variaciones extremas en los factores ambientales (Landa y col., 2013).

## Cambio climático y las enfermedades causadas por hongos fitopatógenos y oomicetos

Unas 10.000 especies de hongos de las más de 100.000 especies conocidas, pueden causar enfermedad en las plantas. Dentro de los hongos fitopatógenos existe gran complejidad de especies diferentes con ciclos de vida y especies susceptibles muy diferentes, por lo que es lógico pensar que es difícil predecir o generalizar el efecto que factores asociados al cambio climático pueden ejercer tanto en las poblaciones de estos hongos como en las enfermedades que causan y su posible evolución (Garrett y col., 2011). Es importante distinguir los efectos diferenciales que podrán producirse como consecuencia del cambio climático en

hongos fitopatógenos según su tipo de nutrición, i.e. necrotrofos frente a biotrofos. Los primeros obtienen los nutrientes de tejido muerto, mientras que los segundos lo hacen de células vivas y mantienen una profunda y prolongada interacción con el huésped. Así, aquellos factores climáticos que causen o aceleren la muerte del tejido como elevadas temperaturas o alta concentración de O<sub>3</sub> pueden favorecer la infección de hongos necrotrofos; mientras que factores climáticos que afecten al crecimiento de la planta como CO<sub>2</sub> elevado, incremento de temperatura o sequía pueden provocar cambios en la fisiología del huésped alterando la colonización de los tejidos del huésped por hongos biotrofos (Elad and Pertot, 2014.).

Algunos efectos constatados del cambio en las condiciones ambientales sobre la incidencia de enfermedades causadas por hongos incluyen: la muerte extensa de especies forestales en Norte América debido al incremento de la temperatura, precipitación y humedad (Van Mantgem y col., 2009; Sturrock y col., 2011); el incremento en la incidencia de podredumbres de raíz en especies forestales en centro Europa causadas por especies de *Phytophthora* como consecuencia del incremento de las temperaturas medias invernales, el cambio en el patrón de precipitación de invierno a verano y la tendencia a lluvias más intensas (Jung, 2009); la ocurrencia de severas epidemias de *Phaeocryptopus gaeumannii* en Douglas-fir en Oregón (EE UU) asociada al incremento de temperaturas invernales y el incremento del período de humectación en primavera y otoño (Manter y col., 2005); el incremento de severidad y rango geográfico del pie negro de la colza causado por *Leptosphaeria maculans* en el sur del Reino Unido debido fundamentalmente al incremento de las temperaturas invernales (Sun y col., 2000); la mayor incidencia hacia el norte en Alemania para *Cercospora beticola*, causante de la cercosporiosis de la remolacha azucarera, ocasionada por un incremento en la temperatura media anual (Richerzhagen y col., 2011); el incremento de riesgo de Mildiu de la patata causada por *Phytophthora infestans* en el Norte de Europa debido al incremento de temperatura invernal y la incidencia de precipitación, que ha hecho que se hayan registrado ataques de Mildiu de severidad inusual en cultivos de patata en Finlandia (Hannukkala y col., 2007); la aparición en EE UU de poblaciones de *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici* adaptadas a temperaturas más cálidas causante de la roya estriada del trigo (Mboup y col., 2012); o el desplazamiento de *Monilinia laxa* por *M. fructicola* en Europa, por su mejor adaptación a temperaturas más altas; o la adecuación de condiciones climáticas favorables para *Fusarium oxysporum* f.sp. *ciceris*, actualmente presente en la cuenca del Mediterráneo a centro de Europa (Landa y Navas-Cortés, 2010).

Los estudios sobre el cambio climático en patógenos de suelo son más escasos, probablemente debido a que las interacciones con factores climáticos sean más complejos y por tanto sus impactos más difíciles de predecir (Pritchard, 2011; Jurossek & von Tiedemann, 2013; Chakraborty, 2013). El cambio climático puede modificar atributos clave del suelo como la temperatura, disponibilidad de agua y nutrientes, temperatura o poblaciones microbianas (Ghini y col., 2011). En este tipo de patógenos, el incremento de temperatura y reducción en la disponibilidad de agua se presentan como los elementos clave. Así, en Reino Unido se estima un incremento de la incidencia de patógenos como *Verticillium longisporum* en colza o *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* en trigo, o *Cochliobolus sativus* en cereales como consecuencia de condiciones de sequía y temperaturas más altas en primavera y verano (West y col., 2012). En la verticilosis del olivo causada por *Verticillium dahliae* el incremento de temperatura y de CO<sub>2</sub> conllevará una reducción en la incidencia y severidad de esta enfermedad, no obstante, el efecto neto de esta reducción dependerá en gran medida del nivel de virulencia del patógeno y la susceptibilidad del cultivar de olivo (J.A. Navas-Cortés, datos no publicados).

## BIBLIOGRAFÍA

- Agrios G.N. 2005. Plant Pathology. 5th Ed. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Boland, G. J., Melzer, M.S., Hopkin, A., Higgins, V., Nassuth, A. 2004. Climate change and plant diseases in Ontario. Canadian Journal of Plant Pathology 26:335-350.
- Chakraborty, S. 2013. Migrate or evolve: options for plant pathogens under climate change. Global Change Biol. 19: 1985-2000.
- Chakraborty, S., Datta, S. 2003. How will plant pathogens adapt to host plant resistance at elevated CO<sub>2</sub> under a changing climate?. New Phytologist 159: 733-742.
- Chakraborty, S., Newton, A.C. 2011. Climate change, plant diseases and food security: An overview. Plant Pathology 60: 2-14.
- Chakraborty, S., Tiedemann, A.V., Teng, P.S. 2000b. Climate change: potential impact on plant diseases. Environ. Pollution 108: 317-326.
- Coakley, S.M., Scherm, H., Chakraborty, S. 1999. Climate change and plant disease management. Annual Review of Phytopathology 37: 399-426.
- Ghini, R., Bettiol, W., Hamada, E. 2011. Diseases in tropical and plantation crops as affected by climate changes: current knowledge and perspectives. Plant Pathology 60: 122-132.
- Iglesias A. 2008. Cambio climático y medidas de adaptación para la agricultura. p. 31-44. En: Repercusiones del Cambio Climático en la Agricultura y la Alimentación Mundial. J. Lamo de Espinosa y R.M. Jiménez Díaz (Coordinadores). Eumedica S.A. 190 pp.
- IPCC 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Elad, Y., Pertot, I. 2014. Climate Change Impacts on Plant Pathogens and Plant Diseases. Journal of Crop Improvement, 28: 99-139.
- Fischer, G., Shah, M., Tubiello, F.N., van Velhuizen, H. 2005. Socio-economic and climate change impacts on agriculture. Philos. Trans. Royal Soc. B 360: 2067-2083.
- Garrett, K. A., Forbes, G. A., Savary, S., Skelsey, P., Sparks, A. H., Valdivia, C., van Bruggen, A. H. C., Willcoquet, L., Djurle, A., Duveiller, E., Eckersten, H., Pande, S., Cruz, C. V., and Yuen, J. 2011. Complexity in climate-change impacts: An analytical framework for effects mediated by plant disease. Plant Pathology 60:15-30.
- Garrett, K. A., Dendy, S. P., Frank, E. E., Rouse, M. N., and Travers, S. E. 2006. Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems. Annual Review Phytopathology 44:201-221.
- Hannukkala, A.O., Kaukoranta, T., Lehtinen, A., Rahkonen, A. 2007. Late-blight epidemics on potato in Finland, 1933-2002; increased and earlier occurrence of epidemics associated with climate change and lack of rotation. Plant Pathology 56: 167-176.
- Jiménez Díaz, R.M. 2008. Impactos del cambio climático en las enfermedades de las plantas. p. 143-162. En: Repercusiones del Cambio Climático en la Agricultura y la Alimentación Mundial. J. Lamo de Espinosa, R.M. Jiménez Díaz (Coordinadores). Eumedica S.A. 190 pp.
- Jung, T. 2009. Beech decline in Central Europe driven by the interaction between *Phytophthora infections* and climatic extremes. Forest Pathology 39: 73-94.
- Jurczek, P., von Tiedemann, A. 2013. Plant pathogens, insect pests and weeds in a changing global climate: a review of approaches, challenges, research gaps, key studies and concepts. The Journal of Agricultural Science 151: 163-188.
- Landa, B.B., Montes-Borrego, M., and Navas-Cortés, J.A. 2013. Use of PGPR for controlling soilborne fungal pathogens: Assessing the factors influencing its efficacy. p. 259-292. En: Series Microbiology Monographs. Bacteria in Agrobiolgy: Disease Management. Edited by: D. K. Maheshwari, Ed. Springer, Heidelberg, Germany.
- Landa, B.B., Navas-Cortés, J.A. 2010. Climate change, biocontrol and integrated plant disease management: Problems and perspectives of biocontrol under Mediterranean conditions. Proceedings of the IOBC/WPRS Working group on Biological Control of fungal and bacterial plant pathogens: Climate change: Challenge or threat to bio-control?. Graz, Austria, June 7-11, 2010.
- Madden, L.V., Hughes, G., van den Bosch, F. 2007. The Study of Plant Disease Epidemics. St. Paul, MN: APS Press.
- Manter, D.K., Reeser, P.W., Stone, J.K. 2005. A climate-based model for predicting geographic variation in swiss needle cast severity in the Oregon coast range. Phytopathology 95: 1256-1265.
- Mboup, M., Bahri, B., Leconte, M., De Vallavieille-Pope, C., Kaltz, O., Enjalbert, J. 2012. Genetic structure and local adaptation of European wheat yellow rust populations: the role of temperature-specific adaptation. Evolutionary Applications 5: 341-352.
- Navas-Cortés, J.A., Landa, B.B., Méndez-Rodríguez, M.A., Jiménez-Díaz, R.M. 2007. Quantitative modeling of the effects of temperature and inoculum density of *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* races 0 and 5 in chickpea cultivars. Phytopathology 97: 564-573.
- Oerke, E.C. 2006. Crop losses to pests. Journal of Agricultural Science 144: 31-43.
- Pritchard, S.G. 2011. Soil organisms and global climate change. Plant Pathology 60: 82-99.
- Rabbinge, R., van Diepen, C.A. 2000. Changes in agriculture and land use. European Journal of Agronomy 13: 85-100.
- Richerzhagen, D., Racca, P., Zeuner, T., Kuhn, C., Falke, K., Kleinhenz, B., Hau, B. 2011. Impact of climate change on the temporal and regional occurrence of cercospora leaf spot in lower saxony. Journal of Plant Diseases and Plant Protection 118: 162-177.
- Scherm, H., Coakley, S.M. 2003. Plant pathogens in a changing world. Australasian Plant Pathology 32:157-165.
- Sturrock, R.N., Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J., Woods, A.J. 2011. Climate change and forest diseases. Plant Pathology 60:133-149.
- Sun, P., Fitt, B.D.L., Gladders, P., Welham, S.J. 2000. Relationships between phoma leaf spot and development of stem canker (*Leptosphaeria maculans*) on winter oilseed rape (*Brassica napus*) in southern England. Annals of Applied Biology 137: 113-125.
- Van Mantgem, P. J., Stephenson, N.L., Byrne, J.C., Daniels, L.D., Franklin, J.F., Fulé, P.Z., Harmon, M.E., Larson, A.J., Smith, J.M., Taylor, A.H., Veblen, T.T. 2009. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. Science 323:521-524.
- West, J., Townsend, J., Stevens, M., Fitt, B. L. 2012. Comparative biology of different plant pathogens to estimate effects of climate change on crop diseases in Europe. European Journal of Plant Pathology 133: 315-331.