

CAMBIO CLIMÁTICO Y SANIDAD VEGETAL. PANORAMA PENÍNSULA IBÉRICA

Impactos potenciales del cambio climático sobre las enfermedades de los cultivos

Rafael Manuel Jiménez Díaz (Catedrático de Patología Vegetal, Fellow de la American Phytopathological Society; Premio Rey Jaime I a la Protección del Medio Ambiente . ETSIAM, Universidad de Córdoba, e Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC; Córdoba. ag1jdir@uco.es)

Las enfermedades de las plantas son un componente importante de la producción agrícola porque tienen el potencial de reducir significativamente el rendimiento alcanzable de los cultivos, en extensión que es determinada por su naturaleza y etiología así como por la fisiología y ecología de aquéllos (16). Estimaciones recientes indican que dicha reducción alcanza consistentemente una media anual del 12-13% de la cosecha alcanzable en los ocho cultivos de mayor importancia para la alimentación y la industria, que conjuntamente ocupan más de la mitad de la superficie cultivada en el mundo (20, 21). Además, algunas enfermedades re-emergentes han causado ataques devastadores asociados con determinados cambios ambientales y tecnológicos en la producción de cultivos durante la última década, incluso en países poseedores de la mejor tecnología agrícola (18).

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de enfermedades en cultivos de plantas es consecuencia de procesos interactivos complejos entre un agente primario y una planta susceptible en el marco de un ambiente adecuado, que en la literatura fitopatológica se ha ilustrado generalmente por el denominado triángulo etiológico. En este triángulo se pone de manifiesto el papel fundamental de un ambiente favorable en el desarrollo de las enfermedades, puesto que sin su concurso éste no tiene lugar aún en presencia de huésped susceptible y patógeno virulento. Aunque el ambiente etiológico incluye componentes bióticos (ej., microbiota no patogénica habitantes del suelo y las superficies vegetales, e insectos vectores que contribuyen a la dispersión de los patógenos y a la infección de la planta por ellos), generalmente son los de naturaleza abiótica (ej., excesos o insuficiencias de agua, humedad relativa y nutrientes; temperaturas desfavorables; concentración insuficiente de O₂, exceso de CO₂, etc.) los factores ambientales de mayor significación. De hecho, variaciones extremas en los factores climáticos han determinado epidemias devastadoras que jalonan la historia de la Fitopatología; y las relaciones entre factores climáticos del ambiente etiológico y los ciclos vitales de los patógenos, o entre aquéllos y el desarrollo de las enfermedades, se han utilizado rutinariamente para la predicción de epidemias y el control de las enfermedades (1,7). Puesto que las variaciones de dichos factores asociadas con el Cambio Climático inciden sobre cada uno de los tres componentes del triángulo etiológico, los impactos potenciales que dichas variaciones pueden tener sobre las enfermedades de los cultivos han sido considerados de interés estratégico por los fitopatólogos, y ello se ha visto reflejado en varias revisiones y estudios monográficos publicados desde 1995 (4,8,9,13,19), así como por el tratamiento monográfico que han recibido en dos congresos fitopatológicos de relevancia internacional en el año 2008 (Centennial Meeting, American Phytopathological Society; Minneapolis; EE UU; 9th Internacional Congress of Plant Pathology; Turín, Italia).

Cambio Climático y enfermedades de las plantas

Desde 1990, los informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) han proporcionado evidencias convincentes de que se están produciendo modificaciones significativas en los componentes climáticos asociados con el aumento de la concentración de CO₂ y otros gases de efecto inver-

nadero en la atmósfera, que a escala global, continental, o regional, incluyen, entre otros, tendencias al alza de la temperatura media del aire, variaciones en el régimen estacional (ej., tendencia de adelanto de la primavera y retraso del invierno), incremento de las temperaturas mínimas y de la frecuencia de máximas elevadas, variaciones en la cantidad de precipitación así como en los patrones espacial y temporal de éstas, sequías más intensas y prolongadas sobre áreas

PHYTOMA

geográficas más amplias, relación de los periodos secos con temperaturas altas y precipitaciones reducidas, y aumento de la frecuencia de episodios extremos (ej., precipitaciones intensas, temperaturas extremas, ciclones y tormentas tropicales, etc.) (2). Los estudios sobre variaciones climáticas en la en la Meseta Central durante los últimos 50 años indican incrementos significativos de la temperatura estival y de la variabilidad en las precipitaciones, que pueden estar correlacionados con las predicciones de sequías severas en la Península Ibérica de los modelos de clima global (GCMs) (15).

Entre las diversas variaciones en los factores del clima asociadas con el Cambio Climático, las concernientes a la temperatura, precipitación y humedad ambiental, y el incremento en la concentración de CO₂ atmosférico, son las que repercuten en mayor extensión sobre los componentes del triángulo etiológico, y potencialmente pueden determinar efectos más significativos sobre la incidencia y severidad de las enfermedades en los cultivos. La valoración eficiente y predicción de los impactos que dichas variaciones pueden tener sobre la sanidad de los cultivos y la protección de sus rendimientos, constituyen uno de los retos más importantes que afronta actualmente la Ciencia Fitopatológica. Hasta ahora, la investigación científica sobre los impactos potenciales del Cambio Climático en las enfermedades de los cultivos ha sido limitada y fragmentaria, y circunscrita en general al estudio de los efectos individualizados de uno o dos factores climáticos (pero no de sus interacciones) sobre patosistemas modelo, en experimentos de corta duración en ambiente controlado que difícilmente son representativos de las características de los fenómenos fitopatológicos en condiciones de campo. Aún así, los resultados de dichas investigaciones y el conocimiento que poseemos 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 (8,9,13).

Impacto potencial del Cambio Climático sobre la distribución geográfica de los agentes fitopatógenos

Las variaciones ambientales asociadas con el Cambio Climático pueden originar modificaciones importantes en la distribución geográfica de los agentes fitopatógenos, determinada por los requisitos climáticos (ej., temperaturas máximas y mínimas, pluviometría) para su supervivencia o la de sus vectores entre estaciones de cultivo de sus huéspedes, y/o la existencia de estos últimos en las áreas geográficas. El incremento de las temperaturas mínimas invernales, y la tendencia en el adelanto de la primavera y retraso del invierno, probablemente facilitarían la migración a otras latitudes de cultivos propios de ambientes meridionales y con ellos tendrá lugar la de sus patógenos. La extensión y rapidez con que pueda tener lugar la extensión de los rangos geográficos de los patógenos serán determinadas por los procesos que facilitan su diseminación a nuevas áreas favorecida por episodios climáticos extremos (ej., aerosoles en ciclos tormentosos, inundaciones, etc.) y la capacidad de sobrevivir en ellas determinada fundamentalmente por las temperaturas mínimas invernales.

Los impactos de enfermedades severas por la distribución a nuevas áreas geográficas de patógenos exóticos pueden ser aún más acentuados si se

produce la dispersión de patotipos o razas particularmente virulentos de microorganismos patogénicamente especializados o, en el caso de necrotrofos no especializados, se desarrollan nuevas enfermedades en cultivos ya establecidos en aquéllas. Tanto la expansión de los rangos geográficos de los patógenos como la de las especies cultivadas, favorecida por la tendencia al alza de las temperaturas, puede dar lugar a reencuentros de microorganismos patogénicos con plantas con las que no ha co-evolucionado que generalmente determina el desarrollo de enfermedades devastadoras. Ejemplos de ello, de notable relevancia en la historia de la Fitopatología, son las epidemias devastadoras de Fuego bacteriano de peral y manzano causado por *Erwinia amylovora*, la Roya del caféto causada por *Hemileia vastatrix*, y el chancro del castaño causado por *Cryphonectria parasitica*. En los dos primeros casos, la introducción de la especie vegetal exótica muy susceptible en una nueva área geográfica (peral y manzano en un caso, y caféto en el otro) dio lugar a su encuentro con patógenos endémicos en las comunidades de rosáceas nativas de América del Norte (Fuego bacteriano), o en huéspedes alternativos de *H. vastatrix* en Ceilán (actual Sri Lanka), en general mucho menos virulentos sobre los huéspedes nativos. En el último caso, la introducción de *C. parasitica* (presumiblemente nativo de China y Japón) en Nueva York en plantones de *Castanea* spp. de origen asiático desencadenó una de las epidemias más devastadoras de áreas forestales que se conoce, que es paradigma de la devastación que puede causar la introducción de agentes fitopatógenos exóticos en un área geográfica nueva cuando dichos agentes son capaces de causar enfermedad en plantas establecidas en ella con las cuales no han co-evolucionado y por lo cual son particularmente susceptibles. Además, el acceso a nuevas áreas geográficas de especies patogénicas exóticas, o de estirpes exóticas de patógenos preexistentes, abren también la posibilidad de recombinaciones genéticas entre ellas y el consiguiente desarrollo de nuevos biotipos potencialmente portadores de nuevas virulencias (5,6).

Dada la importancia de la temperatura para la supervivencia, desarrollo y reproducción de los insectos como grupo zoológico, el incremento de las mínimas invernales y la tendencia al alza de las temperaturas al inicio de la primavera repercutirán significativamente sobre la introducción y establecimiento de especies exóticas de insectos vectores de fitopatógenos, particularmente virus y fitoplasmas, en áreas geográficas en las que en la actualidad no pueden sobrevivir el invierno o alcanzar poblaciones elevadas, y consecuentemente favorecerán el desarrollo de nuevas enfermedades en dichas áreas. La eficacia de medidas de control para contrarrestar el impacto negativo de introducciones de patógenos y vectores exóticos, o de biotipos más virulentos de los ya existentes, se basa en la monitorización, identificación rápida, y subsiguiente eliminación de los agentes de riesgo, en escalas geográficas de ambientes climáticos relativamente homogéneos. Los avances en el desarrollo de nuevas técnicas diagnósticas basadas en marcadores de ADN especie- o biotipo-específicos, y la eventual disponibilidad de microarrays de ellos efectivos para diagnósticos múltiples, pueden hacer posible realizar tales cometidos en el supuesto de que se asignen los recursos necesarios y se disponga de personal adecuadamente entrenado para ello. Una acción alternativa, a largo plazo, se basa en la utilización de modelos de predicción basados en los GCMs para identificar zonas de cultivo potencialmente bajo riesgo para el establecimiento de biotipos exóticos de patógenos en expansión. Tal predicción de amenazas proporciona a los fitopatólogos la oportunidad de iniciar acciones en previsión de que tenga lugar el fenómeno en cuestión.

Impacto potencial del Cambio Climático sobre los ciclos vitales de los agentes fitopatógenos y el desarrollo de la patogénesis en las enfermedades

La repercusión de variaciones en los factores climáticos sobre los ciclos de patogénesis (*sensu lato*) de las enfermedades es influida por el efecto de dichas variaciones sobre el desarrollo de los cultivos, y uno de los factores más relevantes en dicho respecto es el incremento en la concentración de CO₂ atmosférico. Las investigaciones realizadas sobre ello sugieren que la elevación de CO₂ en la atmósfera incrementará la tasa fotosintética, dependiendo de los niveles de otros factores ambientales (ej., temperatura, humedad relativa) y tipo de planta (i.e., C3 ó C4), así como la eficiencia en el uso del agua; lo cual redundará en cambios en la morfología (ej., incremento en el número de hojas, grosor y área foliar, ramificación, diámetro del tallo y ramas, etc.) y arquitectura (ej. incremento del tamaño y densidad de la copa) de la planta. Dichos cambios pueden repercutir sobre el microclima en las copas vegetales, incrementando la duración y extensión de humectación de las superficies vegetales.

Un efecto adicional observado en plantas que crecieron en atmósfera con altas concentraciones de CO₂ concierne al aumento de la relación C/N en los restos de tejidos vegetales que son depositados sobre el suelo o incorporados al mismo tras la cosecha, a la que se suma una reducción de su tasa de descomposición microbiana en el tiempo. La mayor persistencia sobre el suelo de los restos de cosecha, como consecuencia de la reducción de su tasa de descomposición en atmósferas de elevada concentración de CO₂, puede favorecer significativamente el desarrollo de enfermedades causadas por patógenos que sobreviven fundamentalmente en restos de cultivos afectados en estaciones anteriores. Un número apreciable de hongos que causan Antracnosis (ej., *Didymella rabiei*/garbanzo), o Manchas necróticas (ej., *Mycosphaerella graminicola*/trigo); bacterias que causan Manchas foliares y 'Blights' (ej., patovares de *Pseudomonas syringae*); y un escaso número de nematodos fitoparásitos (ej., adultos de *Aphelenchoides ritzema-bossi*, el Nematodo foliar del crisantemo, y juveniles de 4ª edad de *Ditylenchus dipsaci*, el Nematodo de bulbos y tallos de numerosas cultivos), sobreviven la ausencia estacional de sus huéspedes mediante estructuras vegetativas en estado hipobiótico en los restos necróticos de hojas, frutos, y tallos herbáceos infectados del cultivo precedente (1,11,14). En la mayoría de los casos, tal capacidad depende de que se mantenga la integridad del tejido infectado y los patógenos conserven la posesión de él, porque en ausencia de estructuras especializadas dichos patógenos no pueden sobrevivir libres en el suelo. Por lo tanto, la mayor persistencia de los restos de cosechas afectadas sobre la superficie del suelo en condiciones de elevada concentración de CO₂, favorecerá la disponibilidad de mayores cantidades de inóculo al comienzo de las estaciones de cultivo y en consecuencia el desarrollo de epidemias más tempranas y rápidas; y este efecto se incrementará con las prácticas de laboreo mínimo y no-laboreo, en particular si se practican junto con el monocultivo (19,16).

Las epidemias de Antracnosis, "Blights" y Manchas necróticas, así como las causadas por otros hongos (ej., Royas) y oomicetos (ej., Mildius) que infectan tejidos aéreos, también pueden ser potencialmente favorecidas por el aumento de la biomasa vegetal y de la densidad de las copas que promueven los niveles elevados de CO₂ atmosférico, ya que ambos contribuyen a extender la magnitud y duración del periodo de humectación de los tejidos vegetales que es determinante para las infecciones severas de ellos por hongos y bacterias

fitopatógenas. Las tendencias al alza de las temperaturas, en especial de las mínimas, y al adelanto y extensión de la duración de las estaciones de cultivo, pueden influir sobre el desarrollo de los ciclos de patogénesis y de las epidemias de enfermedades, especialmente las causadas por patógenos típicamente policíclicos (ej., Antracnosis, "Blights", Manchas foliares, Mildius, Royas, etc.) así como numerosas Virosis transmitidas por áfidos, moscas blancas y trips (ej. BYDV/cereales, CMV/hortícolas, TYLCV/tomate, TSWV/hortícolas, etc.), y dicha influencia puede ser modulada por efectos del incremento en la concentración de CO₂ sobre el crecimiento vegetal. Estaciones de cultivos de mayor duración, en las que además se produzcan prontamente temperaturas que favorezcan el desarrollo de los patógenos y acorten la duración de los ciclos reproductivos de hongos, bacterias, nematodos e insectos vectores, darán lugar al incremento en el número de las generaciones de éstos y repercutirán favorablemente sobre la generación/transmisión de inóculo secundario en las epidemias policíclicas.

Impacto potencial del Cambio Climático sobre la fisiología de las interacciones entre la planta y el patógeno

Uno de los efectos más negativos de la mayor frecuencia de temperaturas elevadas asociada con el Cambio Climático sobre las interacciones planta-patógeno concierne a la supresión de la expresión de genes de resistencia termo-sensibles. Investigaciones recientes demuestran que la resistencia conferida por oligogenes que regulan la expresión de mecanismos defensivos contra la infección puede resultar comprometida por ligeros incrementos de la temperatura, y que tal fenómeno ocurre de forma inespecífica en la resistencia contra hongos, bacterias y nematodos. Por ejemplo, el incremento de 24°C a 27°C en la temperatura de incubación de plantas de garbanzo inoculadas artificialmente con la raza 1A de *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris* convierte en completamente susceptible la reacción altamente resistente del cv. PV-1, e incrementaba la respuesta moderadamente susceptible del cv. Ayala a dicha raza a 24°C hasta determinar la muerte de las plantas a 27°C (17). El fenómeno de supresión de resistencia conferida por genes termo-sensibles puede ser complejo y depender de la naturaleza de los patosistemas en las interacciones entre las plantas y sus patógenos. De hecho, en la resistencia de cultivares de trigo a *Puccinia recondita* (Roya de la hoja), distintos genes de resistencia pueden ser comprometidos por diferentes intervalos térmicos; y en arroz, algunos genes de resistencia (ej., *Xa7*) a *Xanthomonas oryzae* ("Blight" del arroz) son eficientes a temperaturas elevadas mientras que la eficiencia de otros es disminuida por tales temperaturas (8,13).

Otra importante repercusión de las variaciones climáticas extremas sobre la fisiología de las interacciones planta-patógeno, concierne la predisposición que confieren estreses hídricos y térmicos en las plantas a infecciones más severas por patógenos que en condiciones normales son moderada o escasamente virulentos, especialmente en el caso de Podredumbres de raíces y Chancros en cultivos herbáceos y leñosos. Ejemplos del estrés hídrico como predisponente a enfermedad severa incluyen la Podredumbre carbonosa de girasol, soja y sorgo causada por *Macrophomina phaseolina* (3), las Necrosis de raíz y tallo de maíz y trigo causadas por *Fusarium graminearum* y *Fusarium moniliforme* (*sensu lato*), y diversas Podredumbres de raíces y Chancros de cultivos leñosos y forestales causadas por *Armillariella mellea*, *Botryosphaeria dothidea* y *Gremmeniella* (*Scleroterris*) *lagerbergii*. Investigaciones recientes sobre la expresión

génica en plantas sometidas a estreses abióticos están desvelando los mecanismos que subyacen en las respuestas a dichos estreses, e indican que las rutas de señales implicadas en las respuestas a estreses abióticos mediadas por el ácido absísico pueden interactuar negativamente con aquéllas que intervienen en la expresión de mecanismos defensivos relacionados con la expresión de resistencia a los fitopatógenos (12). De hecho, análisis genómicos sobre la adaptabilidad de praderas de *Festuca* spp. a los nuevos ambientes que define el Cambio Climático en los EE UU indican que tras la recuperación del estrés ambiental se produce en las plantas un incremento en la severidad de la Roya del tallo asociado con reducción en la expresión de genes de defensa y de respuestas fitohormonales (13).

Impacto del Cambio Climático sobre la eficiencia de las estrategias empleadas para el control de las enfermedades

La multiplicidad de efectos de las variaciones en los factores climáticos sobre el desarrollo de las enfermedades en los cultivos repercute necesariamente sobre la adecuación y eficiencia de las estrategias disponibles para el control de las enfermedades, que en consecuencia deberán ser cuidadosamente revisadas ante los nuevos escenarios que planteará el Cambio Climático. Así, por ejemplo, habrán de intensificarse las acciones para la detección temprana y erradicación de los fitopatógenos y vectores exóticos que puedan ser introducidos en un área geográfica, lo cual requerirá la dotación de recursos instrumentales y personal técnico adecuadamente formado en Fitopatología y en el uso de nuevas tecnologías de detección [i.e., tecnologías de base molecular, sistemas posicionamiento global (GPS) e información geográfica (GIS), tecnologías de detección remota basadas en fotogrametría y teledetección, etc.].

En particular, los impactos potenciales del Cambio Climático sobre las estrategias de control de enfermedades pueden ser especialmente relevantes en sistemas agrícolas cuya sanidad se base en la práctica de programas IPM y la utilización preferentemente de estrategias no-químicas que promueve la Agricultura Sostenible. Los potenciales impactos negativos sobre la eficiencia y/o durabilidad de las resistencias, como consecuencia de cambios en la estructura de virulencia de las poblaciones de los patógenos, hará aconsejable la monitorización periódica de dichas poblaciones y el uso en la mejora para resistencia de los genes de resistencia que presenten menores riesgos de ser superados por nuevas virulencias. En la misma línea, será aconsejable evaluar la termo-sensibilidad de genes de resistencia clave a patógenos de importancia estratégica, a fin de asegurar la mayor estabilidad de los fenotipos resistentes ante la previsible elevación de las temperaturas. Las repercusiones de prácticas agrícolas sostenibles como el mínimo o no-laboreo sobre muchas enfermedades de etiología bacteriana o fúngica, en las que el inóculo inicial reside fundamentalmente en los restos de cosechas infectadas que permanecen sobre el suelo, tampoco pueden ser desestimadas. Otras prácticas culturales sostenibles, como adelantos en las fechas de siembra para explorar condiciones ambientales desfavorables a la infección, de por sí frágiles a la influencia de los factores etiológicos, pueden asimismo ser menos consistentes como consecuencia de la previsible tendencia al alza de las temperaturas mínimas invernales y adelanto de la primavera. De igual manera, la eficiencia y consistencia de los agentes de control biológico de enfermedades pueden verse comprometidas por las variaciones en temperaturas y precipitaciones, porque la estabilidad del bio-

control es fuertemente influida por las variaciones ambientales en los cultivos, y la vulnerabilidad de los agentes microbianos a los extremos ambientales puede dificultar que éstos alcancen los niveles de población en los nichos vegetales necesarios para su acción de control.

Finalmente, las modificaciones ambientales derivadas del Cambio Climático también pueden incidir sobre la eficiencia de los tratamientos fungicidas en las estrategias de control químico. Por ejemplo, la absorción, translocación y metabolismo de fungicidas sistémicos pueden ser interferidos por la formación de ceras cuticulares, aumento de grosor de la epidermis vegetal y cambios fisiológicos en la planta promovidos por concentraciones elevadas de CO₂. Igualmente, el incremento de la biomasa vegetal y de la densidad de la copa favorecidos por altas concentraciones de CO₂ pueden reducir la proporción de tejidos vegetales tratados que resultan adecuadamente cubiertos por el fungicida, y las tendencias al alza de temperaturas y precipitaciones pueden repercutir sobre la dinámica temporal de los residuos de materias activas sobre el tejido tratado, dando lugar todo ello a incrementos en el número de tratamientos necesarios para asegurar el nivel de control perseguido.

Conclusiones

Los impactos potenciales del Cambio Climático sobre la sanidad de los cultivos y sus rendimientos pueden ser complejos, negativos, positivos o neutros según la naturaleza específica de los patosistemas. De hecho, dicha complejidad, unida a la inherente en las interacciones entre plantas y patógenos que subyacen en las enfermedades de los cultivos, dificulta notablemente la predicción de los impactos debidos a modificaciones en las variables climáticas, así como que se puedan establecer generalizaciones respecto de las estrategias adecuadas para minimizarlos.

Corresponde a la Fitopatología y los fitopatólogos afrontar el reto de determinar la extensión en que las enfermedades incidirán sobre el rendimiento de los cultivos y la provisión de alimentos en los supuestos que establece el Cambio Climático, y desarrollar estrategias de adaptación que permitan mitigar sus efectos negativos. Los avances para afrontar dicho reto han de resultar de mejoras en nuestra comprensión de los procesos que determinan el desarrollo de epidemias en cultivos de plantas a través de la investigación científica y técnica. De hecho, sería de desear la puesta en marcha de programas de estudio para evaluar anticipadamente la vulnerabilidad potencial de cultivos estratégicos en la agricultura española ante enfermedades clave en el escenario del Cambio Climático.

Los avances en la investigación epidemiológica procederán posiblemente del desarrollo de modelos cuantitativos que permitan explorar simultáneamente escenarios múltiples e interacciones complejas entre variables climáticas y parámetros epidémicos. Dichas investigaciones deberán llevarse a cabo independientemente de las convicciones que pudieran existir sobre las certidumbres e incertidumbres del Cambio Climático, porque en el 'peor' de los escenarios mejorarán nuestra comprensión acerca del desarrollo de enfermedad severa en las condiciones climáticas actuales, además de capacitarnos para responder mejor a las variaciones climáticas asociadas con aquél. Desafortunadamente, tales abordajes epidemiológicos han sido escasamente utilizados en la investigación fitopatológica hasta ahora, y menos aún a nivel de sistema.

La complejidad inherente de los escenarios que pueden plantearse respecto de los impactos potenciales del Cambio Climático sobre la Sanidad Vegetal,

la predicción de su incidencia, y la mitigación de sus efectos, hacen indispensable disponer de técnicos superiores que dispongan de un nivel de especialización profesional en Sanidad Vegetal superior al que proporcionan los *curricula* universitarios actuales. La reestructuración curricular que se está llevando

a cabo actualmente en las Universidades Españolas para su adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior brinda una excelente oportunidad para superar tal deficiencia de formación.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AGRIOS, G.N.** 2005. *Plant Pathology*. 5ª edición. Elsevier-Academic Press. Amsterdam.
2. **BALDASANO, J.M.** 2007. *Evidencias del actual Cambio Climático*. Pgs. 43-56 en Presidencia de la Generalitat Valenciana. Cambio Climático y sus Consecuencias. Fundación Premios Rey Jaime I. Valencia.
3. **BLANCO-LÓPEZ, M.A. y JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M.** 1983. *Effect of irrigation on susceptibility of sunflower to Macrophomina phaseoli*. Plant Dis. 67: 1214-1217.
4. **BOLAND, G.J., MELTZER, M.S., HOPKIN, A., HIGGINS, V., y NASSUTH, A.** 2004. *Climate change and plant diseases in Ontario*. Can. J. Plant Pathol. 26: 35-350.
5. **BRASIER, C.M.** 2001. *Rapid evolution of introduced plant pathogens via interspecific hybridization*. BioScience 51: 123-133.
6. **BRASIER, C.M., COOKE, D.E.L., y DUNCAN, J.M.** 1999. *Origin of a new Phytophthora pathogen through interspecific hybridization*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96: 5878-5883.
7. **CAMPBELL, C.L. y MADDEN, L.V.** 1990. *Introduction to Plant Disease Epidemiology*. John Wiley and Sons. Nueva York.
8. **CHAKRABORTY, S., TIEDEMANN, A.V., y TENG, P.S.** 2000. *Climate change: potential impact on plant diseases*. Environ. Pollution 108: 317-326.
9. **COAKLEY, S.M., SCHERM, H. y CHAKRABORTY, S.** 1999. *Climate change and plant disease management*. Annu. Rev. Phytopathol. 37: 399-426.
10. **COOK, R.J. y YARHAM, D.J.** 1998. *Epidemiology in sustainable systems*. Pgs. 260-277 en D.G. Jones (ed). The Epidemiology of Plant Diseases. Kluwer Publishers, Dordrecht.
11. **DROPKIN, V.H.** 1980. *Introduction to Plant Nematology*. Wiley, Nueva York.
12. **FUJITA, M., FUJITA, Y., NOUTOSHI, Y., TAKAHASHI, F., NARUSAKA, Y., YAMAGUSHI-SHINOZAKI, K., y SHINOZAKI, K.** 2006. *Crosstalk between abiotic and biotic stress responses: a current view from the points of convergence in the stress signalling network*. Curr. Opinion in Plant Biol. 9: 436-442.
13. **GARRET, K.A., DENDY, S.P., FRANK, E.E., ROUSE, M.N., y TRAVERS, S.E.** 2006. *Climate change: Form genomes to ecosystems*. Annu. Rev. Phytopathol. 44: 489-509.
14. **GILBERTSON, R.L., RAND, R.E., y HAGEDORN, D.J.** 1990. *Survival of Xanthomonas campestris pv. phaseoli and pectolytic strains of Xanthomonas campestris in bean debris*. Plant Dis. 74: 322-327.
- IGLESIAS, A.** 2008. *Cambio climático y medidas de adaptación para la agricultura*. Pgs. 31-44 en: J. Lamo de Espinosa y P Urbano Terrón (eds.). Repercusiones del Cambio Climático en la Agricultura y la Alimentación Mundial. Eumedia, Madrid.
16. **JIMÉNEZ DÍAZ, R.M.** 1998. *Control de enfermedades*. Pgs. 345-375 en R.M. Jiménez Díaz y J. Lamo de Espinosa (eds). Agricultura Sostenible. Agrofuturo, Life, Mundi-Prensa. Madrid.
17. **LANDA, B.B., NAVAS-CORTÉS, J.A., JIMÉNEZ-GASCO, M.M., KATAN, J., RETIG, B., y JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M.** 2006. *Temperature response of chickpea cultivars to races of Fusarium oxysporum f. sp. ciceris, causal agent of Fusarium wilt*. Plant Dis. 90: 365-374.
18. **MACMULLEN, M.P., JONES, R., y GALLENBERG, D.** 1997. *Scab of wheat and barley: A re-emerging disease of devastating impact*. Plant Dis. 81: 1340-1348.
19. **MANNING, W.J. y TIEDEMANN, A.V.** 1995. *Climate change: potential effects of increased atmospheric carbon dioxide (CO₂), ozone (O₃), and ultraviolet-B (UV-B) radiation on plant diseases*. Environ. Pollution 88: 219-245.
20. **OERKE, E.-C. y DEHNE, H.-W.** 2004. *Safeguarding production-losses in major crops and the role of crop protection*. Crop Prot. 23: 275-285.
21. **OERKE, E.-C., WEBER, A., DEHNE, H.-W., y SCHÖNBECK, F.** 1994. *Conclusions and Perspectives*. Pgs. 742-770 en E.-C. Oerke, H.-W. Dehne, F. Schönbeck, y A. Weber (eds). Crop Production and Crop Protection. Elsevier. Amsterdam.