



LA SANIDAD VEGETAL COMO CIENCIA Y LA AGRICULTURA

Retos y perspectivas de la sanidad vegetal en el siglo XXI: el punto de vista de un fitopatólogo

Rafael Manuel Jiménez Díaz (Catedrático de Patología Vegetal, de la RADE, Fellow de la APS, Premio Rey Jaime I de Medioambiente. Departamento de Agronomía, ETSIAM, Universidad de Córdoba, Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario ceiA3; e Instituto de Agricultura Sostenible, CSIC. Córdoba; e-mail: ag1jidir@uco.es)

La Fitopatología, como la Entomología Agrícola y la Malherbología, es una ciencia comprometida con la producción agrícola porque su genuina razón de ser como ciencia y profesión es evitar o reducir las repercusiones negativas de los ataques de enfermedades sobre los cultivos. Por ello, es meta de la Fitopatología: i) Asegurar que aquéllos alcanzan el rendimiento determinado por su potencial genético en el marco de las limitaciones físicas determinadas por ambientes variables; ii) Propiciar el uso eficiente de los insumos necesarios para la producción, Ej., agua, suelo, fertilizantes, energía, etc.; y iii) Asegurar la sanidad y salubridad del producto cosechado.

Como disciplina científica, la Fitopatología es de entidad equiparable a la de otras disciplinas que constituyen los currículos agronómicos y biológicos, y además integradora de muchas de ellas, incluyendo algunas de naturaleza estrictamente agronómica, biológica, física, o química, y rica en los matices de las delicadas interacciones entre plantas y microorganismos que gobiernan el desarrollo de la enfermedad en plantas. Sin embargo, a diferencia de las enfermedades que afectan a personas o animales, la percepción social de la incidencia que tienen las enfermedades sobre el crecimiento vegetal y la producción de alimentos y fibras es aún escasa, y ello determina que las consideraciones estratégicas y táctica de las instituciones públicas concernidas con la formación superior y técnica en materia de Sanidad Vegetal o las intervenciones para promover a esta última, no sean del acierto deseado.

Las pérdidas globales de rendimiento relacionadas con la sanidad vegetal ha sido estimada durante las dos últimas décadas por un grupo de científicos de la Universidad de Bonn, en uno de los estudios más concienzudos de los realizados hasta ahora que ha considerado a los ocho cultivos más relevantes para la alimentación y la industria (algodón, arroz, café, cebada, maíz, patata, soja, y trigo), que en conjunto ocupan la mitad de la superficie cultivada en el mundo (OERKE *et al.*, 1994; OERKE y DEHNE, 2004; OERKE, 2006). Los resultados de dichos estudios indican que en el periodo 1988-2003 se ha producido una pérdida global media anual de algo más del 30% de la cosecha alcanzable, de la cual 13% es debida a las enfermedades (al que habría de sumarse al menos 10% de pérdidas adicionales en postcosecha), y todo ello a pesar de que en los cultivos muestreados se habían llevado a cabo acciones de lucha contra enfermedades.

Repercusiones de las enfermedades más allá de la reducción del rendimiento

El impacto de las enfermedades de las plantas sobre las sociedades ha trascendido su repercusión negativa sobre las cosechas en numerosas ocasiones en el curso de la historia de la agricultura. De hecho, la historia de la Fitopatología está jalonada de ejemplos de enfermedades que han

desempeñado un papel relevante en la historia de la Humanidad, porque han originado hambrunas, devastación y ruina económica de los agricultores, y desastres ecológicos; Ej., el Mildiu de la patata (*Phytophthora infestans*), el Fuego bacteriano de peral y manzano (*Erwinia amylovora*), el Mal de Panamá de la platanera (*Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*), el Chancro del castaño (*Cryphonectria parasitica*), y la Necrosis del maíz (*Cochliobolus heterostrophus*). La devastación de cultivos de patata en Irlanda por ataques de



Mildiu entre 1845 y 1847 causaron la muerte por hambre de más de 1 millón de personas y la emigración de cerca de 1,5 millones de ellas a América del Norte (AINSWORTH, 1981). El Fuego bacteriano de peral y manzano es ejemplo de enfermedad devastadora y además paradigma de enfermedad que resulta del **encuentro entre plantas nativas de una zona geográfica con agentes fitopatógenos nativos de otra en que aquéllas son introducidas por vez primera**, que es indicador de los riesgos que puede auspiciar la introducción de nuevos cultivos en áreas geográficas donde la especie vegetal y los patógenos que pueden atacarla no han evolucionado conjuntamente. El Mal de Panamá de la platanera es referido como una de las enfermedades de mayor impacto económico y social en los países productores de plátano, probablemente la fruta más consumida en el mundo, y a su vez es paradigma de cómo un cambio simple en la tecnología agrícola puede tener enorme trascendencia para la sanidad de un cultivo. La infección sistémica de la planta por el hongo causal y la propagación asexual de ella mediante nuevos rizomas 'hijos', han contribuido a que el patógeno y la enfermedad se hayan distribuido ampliamente en las zonas de cultivo de platanera en el mundo (PLOETZ, 1990). Una de las consecuencias más lamentables de la introducción de *F. oxysporum* f. sp. *cubense* en nuevas áreas geográficas ha sido la infestación prolongada del suelo y su subsiguiente inhabilitación para el cultivo, de manera que el Mal de Panamá es uno de los ejemplos más claros y convincentes de que **el uso agrícola eficiente de suelos fértiles es puesto en riesgo por la introducción en ellos patógenos exóticos capaces de sobrevivir prolongadamente**. El Chancro del castaño es uno de los ejemplos más dramáticos de la **devastación que puede causar la introducción de agentes fitopatógenos exóticos en un área geográfica nueva** en la que existen plantas susceptibles con las cuales no han co-evolucionado. Además, el Chancro del castaño es **paradigma de enfermedades de importante impacto negativa sobre el medio ambiente**, porque ha arrasado extensas áreas forestales en América del Norte y Europa. La introducción de *C. parasitica* en EE UU a principios del siglo XX en plantones importados de *Castanea* spp. de origen asiático propició su encuentro con el castaño americano (*Castanea dentata*), un huésped muy susceptible, la devastación de bosques de éste en cerca de $3,5 \times 10^6$ ha con una tasa de expansión de 37 km/año, y la muerte de cerca de 3.500 millones de castaños en los 50 años siguientes a la introducción (Anagnostakis, 1988). Finalmente, la Necrosis de la hoja del maíz, que originó pérdidas medias superiores al 50% de la cosecha esperada en zonas maiceras del Centro y Sur de los EE UU en 1970 (ULLSTRUP, 1972), es paradigma de la devastación que puede resultar por la coincidencia de homogeneidad genética sin solución de continuidad en extensa áreas de cultivo del huésped, i.e., maíz híbrido portador del citoplasma androestéril Texas (Tms, de 'Texas male sterility') en cerca del 85% del maíz cultivado, y la prevalencia de una nueva estirpe del patógeno específicamente adaptada a dicho citoplasma, que se denominó raza T. Irónicamente, una indudable mejora tecnológica que auspicia la utilización del vigor híbrido en el maíz, propició la demostración de uno de los principios que determinan el desarrollo de epidemias severas en los cultivos: **la abundancia y homogeneidad genética en la planta susceptible opera a favor de los patógenos mejor adaptados sobre el genotipo predominante**.

Un hecho no menos importante (aunque posiblemente menos conocido) asociado con la incidencia de enfermedades en los cultivos, es la repercusión potencial sobre la salubridad alimentaria del producto cosechado por la formación de micotoxinas en cultivos afectados en el campo o durante el almacenamiento de las cosechas. Las micotoxinas son metabolitos secundarios producidos por diversos hongos, fitopatógenos o no (Ej., *Aspergillus flavus*, *Epichloë festucae*,



Figura 1. Síntomas del síndrome defoliante de la Verticilosis del olivo. A, Olivo "Arbequina" de 2,5 años completamente defoliado; B, Abundante caída de hojas bajo la copa de olivo "Arbequina" de 4 años de edad infectado por el patotipo defoliante de *Verticillium dahliae*.

Fusarium. graminearum, *F. moniliforme* s.l., *F. proliferatum*, *Neotyphodium* spp.) en una variedad de cultivos (Ej., avena, cacahuete, cebada, maíz, soja, trigo) y pastos (*Festuca* spp., *Lolium* spp.), que son altamente tóxicos o potentes agentes carcinógenos (MUNKVOLD y DESJARDINS, 1997; NELSON *et al.*, 1993). Sin duda, la significación de las micotoxinas sobre la calidad y salubridad alimentaria y su relación con la Sanidad Vegetal, constituyen un reto para la Fitopatología en el siglo XXI. Un hecho reciente de significación en este contexto es la creciente preocupación social por la contaminación de productos vegetales frescos con patógenos humanos. Esta preocupación derivada aparentemente del impacto que en Octubre de 2006 causó en EE UU la epidemia de trastornos abdominales, hemorragias, vómitos o síndrome ureico hemolítico asociado con el consumo de espinaca contaminada con la estirpe O157:H7 de *Escherichia coli*, que fue seguida por estallidos de salmonelosis por la contaminación de *Salmonella enterica* en albahaca, brotes de semillas germinadas, lechuga, melón, pimiento, tomate etc., y de gastroenteritis no bacteriana asociada con calicivirus entéricos (Norovirus) contaminantes de productos frescos (BARAK e IVEY, 2011, IVEY y BARK, 2011). Ello ha motivado a la Sociedad Norteamericana de Fitopatología (APS) ha propiciar acciones (Ej., un Symposium sobre 'Human Pathogens Associated with Edible Plants' organizado en el Congreso de la International Association for Food Protection celebrado en Anaheim, California en 2010; y el 'Human Pathogens on Plants Workshop' celebrado en Hyattsville, Maryland en 2012) para estimular la investigación a fin de dilucidar si en las plantas se producen interacciones entre patógenos vegetales y humanos, y en su caso los mecanismos subyacentes.

Nuevos problemas, nuevas soluciones: Enfermedades emergentes o re-emergentes

La persistencia en la magnitud de las pérdidas de rendimiento ocasionadas por enfermedades antes indicada se ha asociado en parte al desarrollo de nuevas enfermedades, y a la re-emergencia de otras que habían sido controladas eficientemente y dejado de tener repercusión importante sobre las cosechas, como consecuencia de modificaciones en las estrategias de producción agrícola para la mejora de productividad basadas en nuevas tecnologías de cultivo (Ej., estructura de las plantaciones, intensificación de su densidad, extensión de monocultivos, tecnologías de riego, estrategias de laboreo, uso de cubiertas vegetales, mecanización de la cosecha, etc.) y de germoplasma vegetal, así como de la profusión, y facilidad de intercambio de material vegetal. Ejemplos notorios de enfermedades re-emergentes son: i) el Mildiu de la patata y tomate,



que devastó cultivos de patata en los EE UU durante los años 1992 a 1997; ii) la Necrosis de la espiga de cebada y trigo causada por el anamorfio *F. graminearum* s. str. del complejo de especies *Gibberella zeae*, que asoló extensas zonas de cultivo de cebada y trigo de primavera en el cinturón cerealista del mismo país durante el periodo de 1991 a 1995; y iii) los Mosaicos y Moteados Amarillentos de solanáceas causados por geminivirus (FRY y GOODWIN, 1997; McMULLEN *et al.*, 1997). La re-emergencia de tales enfermedades ha sido atribuida, según los casos, a: i) la introducción en los lugares de producción de biotipos exóticos de los agentes fitopatógenos más virulentos o de vectores más eficientes (Ej., los biotipos US-7 y US-8 de *P. infestans*, altamente virulentos sobre patata y tomate y resistentes al fungicida metalaxil); ii) una climatología favorable para la enfermedad (pero también para el cultivo) y prolongada durante varios años consecutivos, coincidente con gran cantidad de inóculo del patógeno contenido en restos de cosecha mantenidos sobre el suelo por la práctica del no-laboreo y la utilización de cultivares susceptibles del huésped (Ej., la Necrosis de la espiga de cebada y trigo); y iii) la extensión del monocultivo o la práctica de rotaciones de cultivo de duración insuficiente (Ej., la Necrosis de la espiga de cebada y trigo), entre otros.

Casos similares a los descritos han ocurrido también en España, con la re-emergencia o prevalencia de enfermedades como el Colapso del melón (*Acremonium cucurbitacearum*), la Podredumbre de raíces del pinsapo (*Heterobasidion abietinum*), la 'Seca' de encina y rebollo (*Phytophthora cinnamomi*), la Verticilosis de alcachofa y olivo (*Verticillium dahliae*), el Complejo de enfermedad de Petri de la vid, virosis de cítricos y hortícolas (CTV, TSWV, TYLCV, ToCV), los Jopos del girasol (*Orobanche cumana*) y de las leguminosas (*O. crenata*), y los ataques por *Meloidogyne* spp. (CAMBRA *et al.*, 1998; JIMÉNEZ DÍAZ, no publicado).

La emergencia de nuevas enfermedades está vinculada con la profusión de introducciones de agentes fitopatógenos exóticos. Durante los últimos 20 años han sido introducidos en España al menos 42 nuevos fitopatógenos, incluyendo 12 hongos (*F. circinatum*, *F. oxysporum* f. sp. *basilici*, *F. oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*, *F. solani* f. sp. *cucurbitae* raza 1, *Monilinia fructicola*, *Mycosphaerella nawae*, *Ophiostoma novo-ulmi*, *Pestalotia stevensonii*, *Phytophthora hedraïandra*, *P. ramorum*, *P. tentaculata*, nueva bacterias y fitoplasmas (*Clavibacter michiganense* p.v. *sepedonicus*, *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens*, *Erwinia amylovora*, *Brenneria quercina*, *Pseudomonas viridiflava*, *Ralstonia solanacearum*, Flavecencia dorada, y 'Stolbur'), 20 virus y viroides (CLSV, CVYV, FBNYV, CSVd, MNSV, PPV, PepMV, SBMV, TSWV, y TYLCV) y un nematodo *Bursaphelenchus xylophilus* (Ej., CAMBRA *et al.*, 1998; CAMBRA y PALOMO, 2011). Esta profusión de introducciones de patógenos exóticos ha sido atribuida a la desaparición de barreras fitosanitarias entre países miembros de la UE y es potenciada por la intensificación de intercambio internacional de material vegetal sin la necesaria certificación como libre de infección. Las introducciones de patógenos exóticos tiene el potencial de propiciar enfermedades devastadoras como consecuencia de reencuentros con plantas con la cuales no ha evolucionado; o en el caso de patógenos escasamente especializados, como *Phytophthora* spp., de originar nuevas enfermedades en huéspedes hasta entonces desconocidos (MORALES *et al.*, 2009).

Nuevos paradigmas en las interacciones planta/patógeno que repercuten sobre el control de enfermedades

Los avances que han tenido lugar en biología molecular y la aplicación de

las tecnologías derivadas de ellos a la Fitopatología han dado lugar a nuevos paradigmas en conceptos que conciernen a la etiología y control de enfermedades de las plantas. Por ejemplo, el reconocimiento de especies fúngicas basado en la concordancia de genealogías génicas ("Genealogical Concordance Phylogenetic Species Recognition") ha propiciado la identificación de **especies crípticas** (i.e., grupos fúngicos morfológicamente indistinguibles para los que se puede inferir aislamiento reproductivo porque no manifiestan recombinación entre sí) en las hasta ahora no concebidas complejos de morfo-especies, cuya significación fitopatológica es particularmente relevante cuando se les pueden asignar propiedades biológicas. Ejemplo de ello son especies crípticas en los complejos *Colletotrichum acutatum*/cítricos, *Pythium irregulare*/hortalizas y ornamentales, *F. graminearum*/trigo y cebada (GARZÓN *et al.*, 2007; PERES *et al.*, 2008; O'DONNELL *et al.*, 2004);

Otro nuevo paradigma de importancia en la etiología y control de enfermedades concierne la historia evolutiva en las poblaciones del patógeno. Por ejemplo, avances recientes en filogenia molecular indican que la patogenicidad huésped-específica en la mayoría de las *formae speciales* del complejo de especies *F. oxysporum* es convergente y ha evolucionado en eventos múltiples e independientes, i.e., son polifiléticas; mientras que la monofilia (i.e., la evolución hacia el patogenismo a partir de un antepasado común no patógeno se ha producido una sola vez) parece estar circunscrita a sólo algunas *formae speciales* (Ej., ff. spp. *albedinis*, *ciceris*, *conglutinans*, *lilii*, *tulipae*) (JIMÉNEZ-GASCO *et al.*, 2002; O'DONNELL *et al.*, 1998). Que una *forma specialis* de *F. oxysporum* sea polifilética tiene repercusiones importantes sobre las estrategias de desarrollo y utilización de variedades resistentes al patógeno, ya que el que linajes del patógeno puedan tener historias evolutivas diferentes en distintas áreas geográficas confiere incertidumbre a que la resistencia desarrollada contra poblaciones locales en un área sea efectiva cuando se utiliza en otras evolutivamente diferentes (PLOETZ, 2006).

La caracterización del agente causal a nivel subespecífico también puede ser clave en el control eficiente de las enfermedades cuando a dicho nivel se pueden asociar características patogénicas que determinan su papel etiológico. Por ejemplo, las poblaciones de *V. dahliae* y *Rhizoctonia solani* tienen una estructura clonal basada en la compatibilidad somática entre aislados del hongo, que da lugar al establecimiento de siete Grupos de Compatibilidad Vegetativa (VCGs; VCG1A, 1B, 2A, 2B, 3, 4A, 4B, y 6) en el primer caso y de 13 Grupo de anastomosis (AG1 a AG13) en el segundo. Numerosos estudios han demostrado que en determinados VCGs subyace la adaptación patogénica a huéspedes preferenciales sobre los que son marcadamente virulentos, de manera que son marcadores genéticos de virulencia de valor predictivo para el diseño de rotaciones de cultivos. Por ejemplo, los aislados del VCG1A son muy virulentos y defoliantes sobre algodón y olivo, los del VCG2B son no-defoliantes y altamente virulentos sobre alcachofa, algodón y menta, y los del VCG4A son particularmente virulentos sobre patata. Dicha utilidad predictiva es especialmente válida cuando en un área de cultivo prevalece el escaso número de VCGs que corresponde a la estructura clonal del patógeno, como ocurre en las poblaciones de *V. dahliae* que infecta alcachofa en la Comunidad Valenciana y olivo en Andalucía (JIMÉNEZ-DÍAZ *et al.*, 2006; 2011; KOROLEV *et al.*, 2008). La estructura de las poblaciones de *R. solani* en AGs también lleva consigo la asociación con características patogénicas de sus aislados; así, existen grupos cuyos aislados son no-patogénicos (AG6, -7 y -10), son escasamente virulentos sobre las plantas que pueden atacar (AG9/crucíferas, patatas; AG11/arroz, trigo), son patogénicamente poco específicos (AG4), o son específicos y altamente virulentos (AG3/patata, AG8/cereales) (CUBETA y VILGALYS, 1997). En



consecuencia, tanto con *R. solani* como con *V. dahliae*, sin descartar otros casos, la **identificación específica** del agente durante el proceso diagnóstico es información insuficiente para el control eficiente de la enfermedad.

El control integrado de enfermedades de cultivos

El Control Integrado es una de las estrategias de lucha contra enfermedades más largamente deseada y perseguida, pero su significación ha sido incrementada si cabe por la Directiva 2009/128/CE del Parlamento Europeo y del Consejo que establece la Gestión Integrada y el uso de medios no químicos como estrategia fundamental de lucha contra enfermedades, plagas y malas hierbas, cuya puesta en práctica por los Estados miembros de la UE ha de tener lugar partir del año 2014 a través de Planes Nacionales. Sin embargo, aún son escasos los ejemplos convincentes de sistemas de producción agrícola en los que las estrategias de control integrado se hayan puesto en práctica con éxito. De hecho, los entomólogos agrícolas han tenido mucho más éxito que los fitopatólogos en la puesta en práctica de estrategias similares para el manejo de plagas, posiblemente porque éstas se basan en acciones de intervención comparada con la naturaleza preventiva en que se han de basar las acciones de los fitopatólogos en el control integrado de enfermedades (ZADOKS, 2001).

El Control Integrado de Enfermedades implica la **utilización combinada de todas las medidas de lucha disponibles de forma secuencial o simultánea en acciones previas o posteriores a la siembra o plantación de un cultivo**, y su diseño y puesta en práctica no deben ser concebidos simplísticamente, sino dificultados por la complejidad inherente de las interacciones entre organismos y la que además le confiere la naturaleza ambiente-dependiente de la producción agrícola. Un ejemplo de acciones para el control integrado de enfermedades en el marco de la referida Directiva incluiría: i) el diagnóstico exacto y rápido del agente(s) causal(s) implicado en la enfermedad o complejo de enfermedades; ii) la utilización eficiente de variedades resistentes, independientemente de su nivel de resistencia; iii) la evaluación de riesgo durante elección del lugar de siembra o plantación; iv) la utilización de material vegetal certificado libre de patógenos; v) la modificación de las prácticas de cultivo para evitar condiciones demasiado favorables para la enfermedad o para el patógeno; y (vi) la utilización de productos fitosanitarios y agentes microbianos para suplementar niveles de control insuficiente alcanzados por otras medidas de lucha.

La utilización de variedades resistentes al patógeno es la medida de lucha más práctica, económicamente eficiente y ambientalmente respetuosa para el control de enfermedades de cultivos y sin duda es clave para la aplicación de programas de control integrado, pero su uso puede ser dificultado por el desarrollo de razas y patotipos virulentos en las poblaciones del patógeno. Por ello, la utilización eficiente de variedades resistentes adaptadas a determinadas áreas de cultivos requiere el conocimiento previo de la naturaleza y prevalencia de las razas/patotipos del patógeno existentes en dichas áreas. Esta cautela es todavía escasamente practicada a pesar de que en muchos casos existen protocolos moleculares para el diagnóstico específico de razas y patotipos del patógeno, que hacen factible la caracterización a gran escala de las poblaciones de éste en extensas áreas de cultivo de las plantas huésped, posibilitando con ello la toma de decisiones anticipadamente sobre la oportunidad de siembra o plantación y la elección de las variedades más adecuadas para ello (Ej., JIMÉNEZ-GASCO *et al.*, 2003; JIMÉNEZ-DÍAZ *et al.*, 2011). Un aspecto adicional a la eficiencia en el uso de variedades resistentes para el control integrado de enfermedades concierne las estrategias para el desarrollo de ellas. El que las



Figura 2. Fusariosis vascular del garbanzo. A, Selección de una colección de líneas de garbanzo por resistencia a *Fusarium oxysporum* f. sp. *ciceris*; B, Crecimiento de una variedad resistente (derecha) a la raza 5 del patógeno comparado con la muerte y destrucción de plantas de una variedad susceptible.

razas de un patógeno puedan tener un origen evolutivo polifilético, Ej., la raza 3 de *F. oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fusariosis vascular del tomate) (CAI *et al.*, 2003; GALE *et al.*, 2003) y la raza 2 de *V. dahliae* (DOBINSON *et al.*, 1998), aconseja que para la selección de resistencia a ellas en los programas de mejora genética se utilicen estirpes del patógeno representativas de los linajes clonales más frecuentes y ampliamente distribuidos, y se desestime la práctica común de emplear un sólo aislado local del patógeno.

La utilización de variedades resistentes, incluso con resistencia parcial al patógeno, es clave para el empleo eficiente de fungicidas que complementen los niveles de control alcanzados con otras medidas de lucha. Hace más de 30 años, los trabajos pioneros de Fry en Cornell demostraron que el control del Mildiu de la patata en la var. Sebago, parcialmente resistente, podía alcanzarse empleando algo más de un tercio de la dosis de Mancozeb y la mitad de la cantidad total de materia activa requeridos para un nivel de control comparable en la var. Russet Rural susceptible (FRY, 1975).

De igual manera, la eficiencia de modificaciones en las prácticas de cultivo para el control de una enfermedad no es independiente de las características del patosistema sobre el que se aplican. En Andalucía, la Fusariosis vascular del garbanzo (*F. oxysporum* f. sp. *ciceris*) puede ser controlada mediante modificación de la fecha de siembra, de manera que la siembra en periodos fríos, a principio del invierno, retrasa el inicio, ralentiza el desarrollo, y reduce la cantidad total de enfermedad comparados con las epidemias que se desarrollan en los cultivos de siembra habitual a principio de primavera. Sin embargo,



dichos efectos no tienen lugar si la raza del patógeno prevalente en el suelo es altamente virulenta, en cuyo caso el control de la enfermedad mediante el adelanto de la fecha de siembra sólo es posible si se utilizan cultivares moderadamente resistentes (NAVAS CORTÉS *et al.*, 1998). Ello implica que los niveles de ambos factores (raza del patógeno y su virulencia, y resistencia de los cultivares disponibles) prevalentes en los lugares de aplicación de dicha medida de lucha deben ser conocidos *a priori* para la utilización eficiente de ésta.

Conclusiones

La información disponible que he tratado de resumir en las páginas anteriores indica convincentemente que la Fitopatología y los fitopatólogos han de afrontar escenarios de complejidad creciente para contribuir a la Sanidad Vegetal a través del control de enfermedades. Satisfacer adecuadamente este reto requiere disponer del conocimiento científico-técnico más completo posible de patógenos y patosistemas derivado de la investigación fitopatológica, y una armonización de la formación superior y técnica y la transferencia de conocimientos y tecnologías que haga posible que dicho conocimiento alcance a los destinatarios finales de ella, agricultura y agricultores, con objeto de incrementar la eficiencia en el control de las enfermedades y mejorar la sanidad de los cultivos (Ej., WALE, 2005). En particular, Fitopatología y fitopatólogos deben hacer frente al reto de superar con esfuerzo la limitación con que aparentemente son percibidos los cometidos y responsabilidades que le son genuinos, por parte de las administraciones públicas concernidas con la formación superior y técnica en materia de Sanidad Vegetal o las intervenciones para promoverla, a tenor de las acciones que están teniendo lugar durante los últimos años en materia de estructura curricular universitaria y de legislación agraria.

La información bibliométrica y de las actividades de las Sociedades Científicas concernidas con la Fitopatología en España y otros países indican que durante las últimas décadas se han producido avances significativos en el conocimiento sobre los patógenos y patosistemas que auspician mejoras en el control de las enfermedades que causan. Sin embargo, es cada vez más patente que dichos avances no alcanzan satisfactoriamente la 'diana' sobre la que subyace su búsqueda. Para alcanzar dicha 'diana', los conocimientos deben ser transmitidos durante el proceso de educación superior y técnica, y ser adaptados para su transferencia a los sectores profesionales y técnicos. Sin embargo, las perspectivas de que ello pueda tener lugar satisfactoriamente en España no son alentadoras.

Un aspecto particular de la forma en que repercute una formación especializada insuficiente en Fitopatología concierne la aplicación de las estrategias de control integrado. La práctica de estas estrategias requiere la implicación de fitopatólogos adecuadamente formados y profesionalizados, con capacidad para poner en práctica los elementos del concepto de control integrado en los escenarios locales, así como de incorporar en los esquemas de decisión los nuevos conocimientos y tecnología que puedan ser desarrollados por la investigación científico-técnica. Sin embargo, el incremento en la necesidad de fitopatólogos profesionales adecuadamente formados y capaces de integrar los conocimientos pluridisciplinarios en programas rigurosos de control integrado parece estar negativamente correlacionado con la formación universitaria especializada en Fitopatología y el apoyo a las acciones de extensión fitopatológica en la agricultura comercial.

La preocupación por las carencias de formación universitaria especializada en Fitopatología, y en general en Sanidad Vegetal, es de carácter internacional y ha originado iniciativas orientadas a mitigar dichas deficiencias. Entre ellas

merece destacar el programa pionero de postgrado en Medicina Vegetal ('Plant Medicine') establecido en la Universidad de Florida en 1993 por el recientemente fallecido Prof. George Agrios. La repercusión de este programa motivó que pocos años después se reclamara su extensión generalizada en los EE UU para consolidar una formación multidisciplinar de postgrado en Sanidad Vegetal, mediante programas de doctor en Sanidad/Medicina Vegetal, i.e., 'que sirvan a los cultivos de plantas como los doctores en Medicina Veterinaria sirven a los animales domésticos' (BROWNING, 1998). La necesidad de contar con programas de formación universitaria encaminada a la actividad profesional en materia de Sanidad Vegetal ha vuelto a ser resaltada recientemente por expertos en las disciplinas que la conforman (Ej., Tjamos, 2010), y ha dado lugar a: i) el establecimiento de nuevos Programas de Postgrado Profesional en diversas universidades [Ej., Doctor en Sanidad Vegetal ('Plant Health') en la Universidad de Nebraska (EE UU) en 2009, Master en Protección de Cultivos en la Universidad de Gottingen (Alemania) en 2010]; ii) iniciativas para el desarrollo de Programas de Master en Fitiatría comunes en varios países de la Unión Europea (EU) a través de un Proyecto Tempus (158875-TEMPUS-IT-JPCR) liderado por la Universidad de Bari (Italia); y (iii) el establecimiento de nuevas sociedades de Fitiatría ('Phytiatry') o Fitomedicina ('Phytomedicine') en Alemania, Grecia y Suiza. El compromiso ilustrado por dichas iniciativas debería servir de ejemplo para iniciativas similares en España.

Abstract: Evidence from the past and current times indicate that agriculture will continue to be threatened by emergent and re-emergent diseases that can limit food production and devastate natural forest. As a consequence, Phytopathology and plant pathologists are continuously challenged to provide society with new means and strategies for the effective control of those diseases, which must accommodate to social claims for safety and sustainability through integrated disease management (IDM). The generalized applicability of IDM programs must be considered with caution because its design and use is complex and based on scientific and technical knowledge about the pathosystems of application. During the last few decades, progress in research on Phytopathology and other sciences has provided plant pathologists with new concepts and tools of practical application for the control of plant diseases, which have to be properly transferred to potential users in agricultural production through specialized University education in Plant Pathology and extension-related activities. However, the overall perception across countries and systems is that institutional support for both activities has declined or even despaired. Erosion in higher, specialized education and of the trickle-down structure responsible for knowledge transfer to the field is one of the most serious threats to implementation of IDM programs. Success in the implementation of IDM programs requires significant improvements in the higher education system to assure specialized training of technical people that must be involved in the practice of IDM.



BIBLIOGRAFÍA

- AINSWORTH, G.C. 1981. *Introduction to the History of Plant Pathology*. Cambridge Univ. Press. Londres, Reino Unido.
- ANAGOSTAKIS, S.L. 1988. Cryphonectria parasitica, cause of chestnut blight. *Advances in Plant Pathol.* 6: 123-136.
- BARAK, J., e IVEY, M.L. 2011. *Research funded by USDA-NIFA in the area of human pathogen-plant interactions*. *Phytopathol. News* 45(3): 40-41.
- BROWNING, J.A. 1998. *One phytopathologist's growth through IPM to holistic plant health*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 36: 1-24.
- CAI, G., GALE, L.R., SCHNEIDER, R.W., KISTLER, H.C., DAVIS, R.M., ELIAS, K.S., y MIYAO, E.M. 2003. *Origin of race 3 of Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici at a single site in California*. *Phytopathology* 93:1014-1022.
- CAMBRA, M., LÓPEZ, M.M. JORDÁ, C., y GARCÍA, J. 1998. *La fitopatología española en los últimos diez años*. 10º Aniversario PHYTOMA España 100 (Junio/Julio): 154-156.
- CAMBRA, M., y PALOMO J. 2011. *Los Servicios de Sanidad Vegetal y la Patología Vegetal: sus fortalezas y debilidades*. *PHYTOMA España* 233: 69-70;
- CUBETA, M.A., y VILGALYS, R. 1997. *Population biology of the Rhizoctonia solani complex*. *Phytopathology* 87:480-484.
- DOBINSON, K.F., PATTERSON, N.A., WHITE, G.J., y GRANT, S. 1998. *DNA fingerprinting and vegetative compatibility analysis indicate multiple origins for Verticillium dahliae race 2 tomato isolates from Ontario*. *Can. Mycol. Res.* 102:1089-1095.
- FRY, W.E. 1975. *Integrated effects of polygenic resistance and a protective fungicide on development of potato late blight*. *Phytopathology* 65: 908-911.
- FRY, W.E., y GOODWIN, S.B. 1997. *Re-emergence of potato and tomato late blight in the United States*. *Plant Dis.* 81: 1349-1357.
- GALE, L.R., KATAN, T., y KISTLER, H.C. 2003. *The probable center of origin of Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici VCG 0033*. *Plant Dis.* 87:1433-1438.
- GARZÓN, C.D., YÁNEZ, J.M., y MOORMAN, G.W. 2007. *Pythium cryptoirregulare, a new species within the P. irregulare complex*. *Mycologia* 99:291-301.
- IVEY, M.L., y BARK, J. 2011. *The public policy board is actively engaged in food safety*. *Phytopathol. News* 45(1): 9.
- JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M., MERCADO-BLANCO, J., OLIVARES-GARCÍA, C., COLLADO-ROMERO, M., BEJARANO-ALCÁZAR, J., RODRÍGUEZ-JURADO, D., GIMÉNEZ-JAIME, A, GARCÍA-JIMÉNEZ, J., y ARMENGOL, J. 2006. *Genetic and virulence diversity in Verticillium dahliae populations infecting artichoke in eastern-central Spain*. *Phytopathology* 96:288-298.
- JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M., OLIVARES-GARCÍA, C., LANDA, B.B., JIMÉNEZ-GASCO, M.M., y NAVAS-CORTÉS, J.A. 2011. *A region-wide analysis of genetic diversity in Verticillium dahliae infecting olive in southern Spain and agricultural factors influencing the distribution and prevalence of vegetative compatibility groups and pathotypes*. *Phytopathology* 101:304-315.
- JIMÉNEZ-GASCO, M.M., MILGROOM, M.G., y JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M. 2002. *Gene genealogies support Fusarium oxysporum f. sp. ciceris as a monophyletic group*. *Plant Pathol.* 51:72-77.
- JIMÉNEZ-GASCO, M.M., y JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M. 2003. *Development of a polymerase chain reaction-based assay for the identification of Fusarium oxysporum f. sp. ciceris and its pathogenic races 0, 1A, 5, and 6*. *Phytopathology* 93:200-209.
- KOROLEV, N., PÉREZ-ARTÉS, E., MERCADO-BLANCO, J., BEJARANO-ALCÁZAR, J., RODRÍGUEZ-JURADO, D., JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M., KATAN, T., y KATAN, J. 2008. *Vegetative compatibility of cotton-defoliating Verticillium dahliae in Israel and its pathogenicity to various crop plants*. *Eur. J. Plant Pathol.* 122:603-617.
- 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.
- MORALEJO, E., PÉREZ-SIERRA, A.M., ÁLVAREZ, L.A., BELBAHRI, L., LEFORT, F., y DESCALS, E. 2009. *Multiple alien Phytophthora taxa discovered on diseased ornamental plants in Spain*. *Plant Pathol.* 58:100-110.
- MUNKVOLD, G.P., y DESJARDINS, A.E. 1997. *Fumonisin in maize: can we reduce their occurrence*. *Plant Dis.* 81: 555-565.
- NAVAS-CORTÉS, J.A., HAU, B., y JIMÉNEZ-DÍAZ, R.M. 1998. *Effect of sowing date, host cultivar and race of Fusarium oxysporum f. sp. ciceris on development of Fusarium wilt of chickpea*. *Phytopathology* 88: 983-991.
- NELSON, P.E., DESJARDINS, A.E., y PLATTER, R.D. 1993. *Fumonisin, mycotoxins produced by Fusarium species*. *Annual Rev. Phytopathol.* 31: 233-252.
- O'DONNELL, K., KISTLER, H.C., CIGELNIK, E., y PLOETZ, R.C. 1998. *Multiple evolutionary origins of the fungus causing Panama disease of banana: concordant evidence from nuclear and mitochondrial gene genealogies*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 95: 2044-2049.
- O'DONNELL, K., WARD, T.J., GEISER, D.M., KISTLER, H.C., y AOKI, T. 2004. *Genealogical concordance between the mating type locus and seven other nuclear genes supports formal recognition of nine phylogenetically distinct species within the Fusarium graminearum clade*. *Fungal Genet. Biol.* 41:600-623.
- 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, Holanda
- 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.
- OERKE, E.-C., 2006. *Crop losses to pests*. *J. Agric. Sci.* 144:31-43.
- PERES, N.A., MACKENZIE, S.J., PEEVER, T.L., y TIMMER, L.W. 2008. *Post bloom fruit drop of citrus and Key lime anthracnose are caused by distinct phylogenetic lineages of Colletotrichum acutatum*. *Phytopathology* 98:345-352.
- PLOETZ, R.C. (ed.). 1990. *Fusarium Wilt of Banana*. APS Press. St. Paul, MN, EEUU
- PLOETZ, R.C. 2006. *Fusarium wilt of banana is caused by several pathogens referred to as Fusarium oxysporum f. sp. cubense*. *Phytopathology* 96:653-656.
- ULLSTRUP, A. 1972. *The impacts of the southern corn leaf blight epidemics of 1970-1971*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 10: 37-50.
- ZADOKS, J.C. 2001. *IPM philosophy: an appraisal of pros and cons in botanical epidemiology*. Pgs. 76-88 en: Proc. 8th International Workshop on Plant Disease Epidemiology "Understanding Epidemics for Better Disease Management". Ouro Preto, Brasil. Mayo 6-11.
- WALE, S.J. 2005. *The science of appliance*. *Plant Pathol.* 54:715-722.
- TJAMOS, E.C. 2010. *Establishing a new Science in Universities*. *Phytopathol. News* 64 (5).