

Tizón de los brotes en *Pinus nigra* (Fente: D. Piou, DSF).

Cambio climático y efecto de enfermedades fúngicas en especies forestales de ecosistemas naturales

Benoit Marçais

UMR Interactions Arbre /
microorganismes, INRA-
Nancy, France.

Los ecosistemas forestales se han visto cada vez más afectados por la aparición de nuevas enfermedades infecciosas (EID, por sus siglas en inglés) en las últimas décadas (Santini y col., 2013). Las EID son inducidas por patógenos que provocan pérdidas de biodiversidad, reducen los servicios de los ecosistemas y la producción de madera. El cambio global es el principal factor en la aparición de EID, en particular de invasiones biológicas que se producen esencialmente como consecuencia del aumento de los intercambios internacionales y del cambio climático. Se sabe que las enfermedades de las plantas, ya sean causadas por hongos, oomicetos o bacterias, dependen en gran medida del clima. Por tanto, es esencial analizar la magnitud del cambio climático con respecto al impacto global patógeno al que se enfrentan nuestras masas arbóreas.

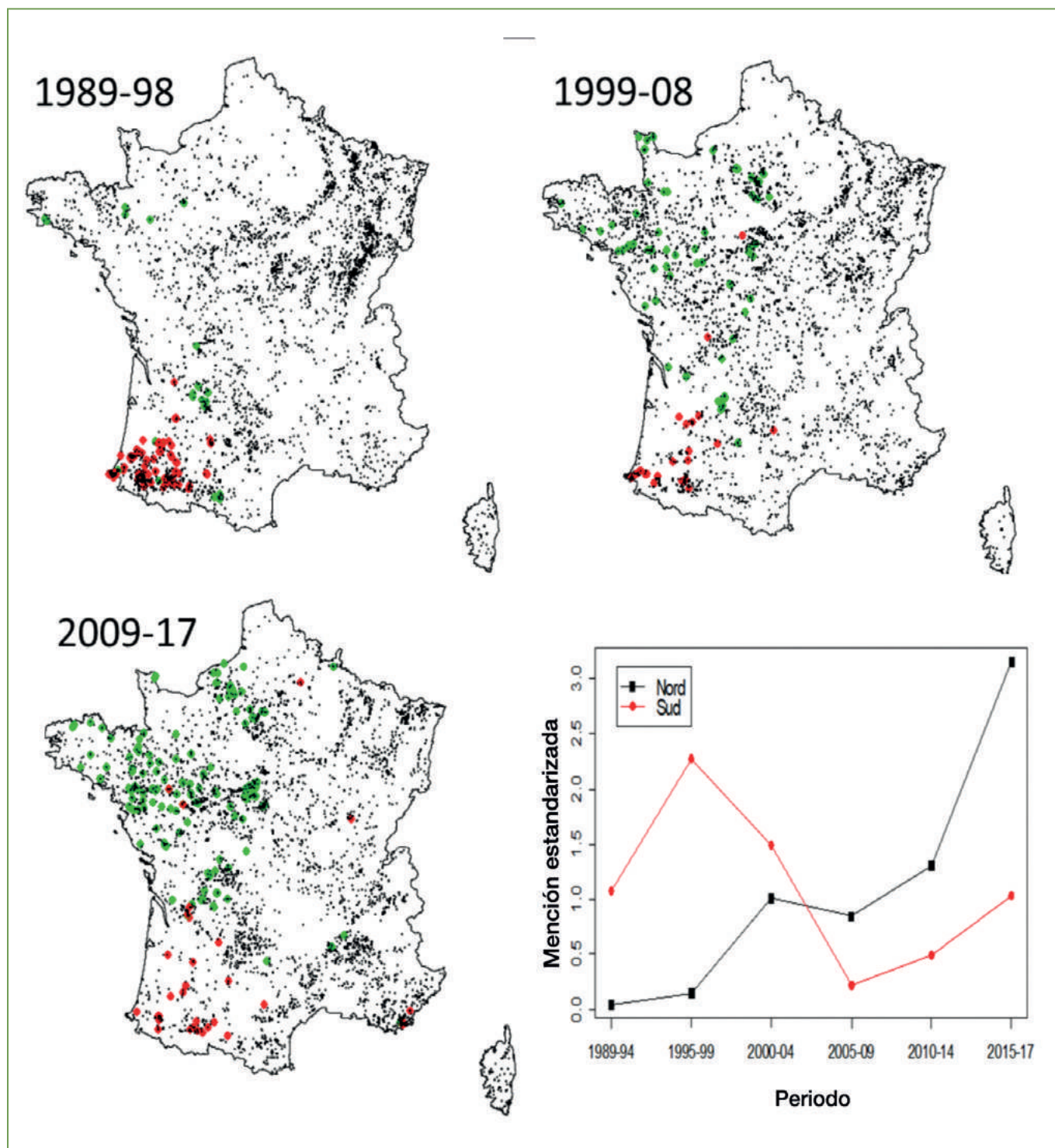


Figura 1. Informe de *Phytophthora* spp. en robles y castaños de la base de datos DSF. • Robles (*Q. ilex*, *Q. petraea*, *Q. pubescens*, *Q. suber* y *Q. robur*), • Castaños. Informe de problemas de salud distintos a *Phytophthora* spp. en robles y castaños. Aunque la frecuencia de detecciones de *Phytophthora* no aumenta en el sur de Francia, sí lo hace en la mitad norte.

Un factor que se señala con frecuencia es la rápida evolución y dispersión de los patógenos, frente a los huéspedes perennes. De hecho, la mayoría de los microorganismos tienen un ciclo de vida corto, de aproximadamente un año y, por tanto, un potencial alto de adaptación a un nuevo entorno. La capacidad de los patógenos para superar

una resistencia seleccionada por fitogenitistas es un buen ejemplo de este potencial de adaptación. No obstante, cabe notar que se conocen pocos ejemplos de patógenos que se adapten a las nuevas condiciones climáticas. La gran capacidad de dispersión está mucho mejor documentada. Existen datos de propagación de patógenos invasores

de unos 20-100 km al año (Evans, 2016). A pesar de esto, las poblaciones de patógenos a menudo no colonizan todo su posible nicho climático, debido a la fuerte barrera existente contra la dispersión, en particular entre continentes. Nuestras especies arbóreas forestales, caracterizadas por la larga duración de los cultivos -de aproxima-

damente 50 a 130 años-, tendrán que enfrentarse a comunidades de patógenos que reaccionarán mucho más rápidamente a las nuevas condiciones ambientales.

La diversidad y la plasticidad de los bosques son activos importantes en la adaptación a este nuevo clima. Se ha demostrado que la mayoría de las especies arbóreas presentan una gran diversidad genética (Lefèvre y col., 2014) que les permite adaptarse a un medio ambiente cambiante, en particular durante las etapas jóvenes. Sin embargo, la capacidad de adaptación tiene sus límites. Un cambio climático muy rápido podría causar en poco tiempo daños en rodales de árboles seleccionados en condiciones climáticas y comunidades patógenas diferentes. Desde hace 15-20 años, los estudios han documentado diversas evoluciones de enfermedades de los árboles relacionadas con el cambio climático.

Un ejemplo bien documentado

La influencia del cambio climático se encuentra bien documentada en el caso de algunas de las enfermedades importantes que afectan a los bosques europeos. Un caso estudiado durante mucho tiempo es la enfermedad de la tinta del castaño y del roble. Esta enfermedad es causada por *Phytophthora cinnamomi* en el roble (*Quercus rubra*, *Q. robur*, *Q. ilex* y *Q. suber*) y por *P. cambivora* en el castaño. Sin embargo, de entre estas últimas especies, *P. cinnamomi* ha sido la especie dominante en Francia en las últimas décadas; representa el 87% de los informes sobre la enfermedad de la tinta del castaño en la base de datos del DSF (departamento de salud forestal francés), en la que se haya también identificada la *Phytophthora* como especie causante de la enfermedad. Se sabe que el área de distribución de *P. cinnamomi* está determinada por la temperatura: la supervivencia es limitada en rangos de temperatura inferiores a 0°C y se precisan altas temperaturas óptimas para el crecimiento (Desprez-Loustau y col., 2007). En Francia se prevé un aumento de la frecuencia de la enfermedad de la tinta, en particular

en el noroeste del país, debido a que los inviernos más suaves favorecen la supervivencia durante esta estación (Bergot y col., 2004). Se ha demostrado además que el cambio climático ha facilitado la aparición del tizón de la aguja (*Dothistroma*) en el pino en Columbia Británica y en el Reino Unido (Wood y col., 2005). Esta enfermedad de la hoja, causada por un complejo de dos ascomicetos, se ha convertido en un factor limitante para el cultivo de *Pinus nigra* subsp. *laricio* en Francia en los últimos veinte años. La tasa de multiplicación de patógenos crece gracias a la frecuencia de períodos cálidos y húmedos que favorecen la esporulación y propagación en primavera y verano, con lo que aumenta la frecuencia de años epidémicos (Welsh y col., 2012); por último, el clima cálido también favorece el desarrollo del tizón de los brotes (*Sphaeropsis*) en el pino (Fabre y col., 2011). Esta enfermedad, inducida por *Diplodia pinea*, era mucho menos frecuente en Francia en los años sesenta y setenta (Lanier y col., 1978); en los últimos treinta años se ha convertido en uno de los patógenos con mayor presencia en la base de datos del DSF. Las altas temperaturas estivales facilitan el desarrollo de este hongo termófilo, pues aumentan el inóculo presente en los rodales de pino en los conos (Fabre y col., 2011); igualmente, la sequía estival favorece la presencia de este hongo, ya que debilita al árbol huésped y lo hace más propenso al patógeno (Blodgett y col., 1997).

Por otra parte, las modificaciones climáticas pueden posibilitar la reducción de la gravedad de algunas enfermedades. *Phytophthora* en el aliso es un ejemplo de patógeno que, aunque se beneficia de los inviernos suaves, se ve también limitado por las temperaturas cálidas del verano (Aguayo y col., 2014). *P. xalni* es un híbrido estéril que no produce esporas resistentes y, por tanto, es muy vulnerable a condiciones climáticas extremas. Otro ejemplo es la acronecrosis del fresno, causada por *Hymenoscyphus fraxineus*, un patógeno que sobrevive pocas horas a temperaturas superiores a 35°C (Hauptman y col., 2013), lo que

/ En Francia se prevé un aumento de la frecuencia de la enfermedad de la tinta /

limita la gravedad de la enfermedad en el valle del Ródano, en el sudeste de Francia (Grosdidier y col., 2017).

Impacto global de los efectos de los patógenos en los bosques

Es un reto llegar a comprender, a partir de unos cuantos ejemplos bien documentados, cómo puede modificar el cambio climático el impacto global de los patógenos. Un enfoque posible es determinar los mecanismos de la evolución climática que tienen un efecto en las enfermedades de los árboles. Estos mecanismos se conocen desde hace unos veinte años (Ayres & Lombardero, 2000; Marçais y col., 2000). Existen tanto efectos directos del cambio climático sobre los patógenos como efectos indirectos a través de la modificación de la fisiología o fenología del huésped. El clima a menudo afecta en gran medida a la supervivencia de los patógenos vegetales durante la temporada baja (invierno o verano, dependiendo de las condiciones) o al número de ciclos infecciosos y la capacidad de dispersión durante la temporada de vegetación (Juroszek y von Tiedemann, 2013). Los ejemplos explicados en la sección anterior ilustran estos mecanismos. La mayor parte del trabajo se centra en la parte de calentamiento del cambio climático. Sin embargo, si

los modelos climáticos coinciden a la hora de predecir un aumento de la temperatura en toda Francia, la incertidumbre es mucho mayor en torno a los niveles de precipitaciones. No obstante, es un factor crítico para muchas enfermedades de las plantas y, en particular, para enfermedades foliares como el tizón de la aguja (*Dothistroma*), que requiere condiciones de calor y humedad para desarrollarse (Wood y col., 2005, Sturrock y col., 2011). Este tipo de enfermedad, que podría exacerbarse en gran medida si las precipitaciones se mantienen estables o aumentan, sería mucho menos grave en condiciones climáticas de más sequedad. Por tanto, será difícil llegar a deducir a partir de estos mecanismos la influencia global del cambio climático en las enfermedades forestales. Parte de la respuesta puede venir de la ecología comunitaria. De hecho, se ha demostrado que, en el caso de muchos grupos de organismos, existe un gradiente latitudinal de diversidad, y la diversidad aumenta hacia el ecuador. Este gradiente suele interpretarse como una mayor disponibilidad de energía -mayor temperatura media o evapotranspiración (Hawkins y col., 2003). Aunque todavía despierta polémica, se ha demostrado que este gradiente latitudinal podría ser importante para los patógenos vegetales (Tedersoo y col., 2014); en este caso, el calentamiento significaría un aumento de la diversidad de hongos y, supuestamente, sería mayor el número de hongos que se beneficiaría del calentamiento que el de hongos que se verían obstaculizados. Hay que señalar que el aumento de la diversidad no se traduce necesariamente en un aumento de la gravedad general de las enfermedades que afectan al bosque, ya que un gran porcentaje de los patógenos presentes en el bosque solo tienen un impacto limitado en nuestras masas forestales.

Otro mecanismo importante es la modificación de la fisiología de los árboles. Se prevé un aumento en la frecuencia o la gravedad de la sequía estival. Este hecho puede favorecer a muchos parásitos forestales que son capaces de inducir más daños en huéspedes debilitados por la escasez de agua (Desprez-

Loustau y col., 2006, Jactel y col., 2012). Los patógenos causantes del cancro (*Botryosphaeria*, *Cytospora*, *Biscognauxia* y *Diplodia*) y, en menor grado, de la pudrición de las raíces son los más afectados por este mecanismo. Por tanto, la acción de estos patógenos podría afectar más seriamente al declive de los bosques en el caso de que muchos rodales maduros se encuentren en situaciones climáticas a las que ya no están adaptados. Por el contrario, se ha observado que el debilitamiento de los árboles durante la sequía facilita el desarrollo de solo unas pocas enfermedades foliares (Desprez-Loustau y col., 2006).

Otros mecanismos no aportan ideas sobre la modificación del impacto global de los patógenos. Los cambios en la sincronía fenológica entre el huésped y el patógeno pueden ser importantes en algunas condiciones (Marçais y Desprez-Loustau, 2014), pero el que la consecuencia sea un aumento o una disminución de la gravedad de la enfermedad dependerá, en gran medida, tanto de la interacción huésped/patógeno como de la ubicación.

Interacción con invasiones biológicas

El impacto global de las enfermedades en los bosques se relaciona de forma importante con la invasión biológica, como lo demuestran la enfermedad del olmo holandés y la acronecrosis del fresno (Santini y col., 2013). Estos patógenos invasores son especialmente dañinos porque afectan a huéspedes que no han coevolucionado con ellos y, en consecuencia, pueden presentar niveles de resistencia muy bajos (Desprez-Loustau y col., 2015); además, a menudo se introducen en su nuevo entorno sin enemigos naturales, por lo que tienen una ventaja sobre sus competidores (hipótesis de liberación de enemigos). Por el contrario, los mecanismos citados con anterioridad se aplican a un patógeno nativo que aparece con un clima más favorable; debería representar un menor riesgo. Desafortunadamente, el cambio climático puede favorecer las invasiones biológicas, en particular al aumentar la probabilidad de esta-

blecimiento de patógenos (Be-llard y col., 2013). De hecho, entre los ejemplos vistos anteriormente, hay varios casos de patógenos invasores en Europa (*P. cinnamomi*, *P. xalni* y, supuestamente, *Dothistroma pini*) que no deberían beneficiarse de esas ventajas.

¿Cómo podemos adaptar el bosque?

Las grandes incertidumbres sobre la identidad de las EID que tendrán un impacto en el bosque representan un desafío a la hora de diseñar una estrategia de adaptación. La aparición repentina e impredecible de un patógeno (ej. *H. fraxineus* y *Phytophthora ramorum*) podría comprometer las altas expectativas puestas en una pocas especies de árboles seleccionadas por su capacidad para prosperar en un clima más cálido y seco.

Las acciones preventivas pueden representar alternativas atractivas. Es siempre importante limitar la introducción y dispersión de patógenos invasores en nuestros países. Un buen ejemplo de un patógeno que debe evitarse es *P. cinnamomi*. Este patógeno se propaga en gran medida a través de material plantado infectado en Europa, por lo que se trata de uno de los patógenos forestales más destructivos del mundo que, además, se ve favorecido por el calentamiento. Habitualmente, este patógeno se detecta en el material de vivero para la silvicultura y el riesgo de presencia de la enfermedad de la tinta es mucho más alto en las plantaciones, frente a la regeneración natural en el Suroeste de Francia (razón de momios (RM) 21.5, Jung y col., 2016). El aumento de detecciones de este patógeno en el oeste de Francia en los últimos años fue pronosticado por los patólogos forestales europeos en la década de 1990.

Otra posibilidad es gestionar nuestro rodal para aumentar su resistencia a los problemas bióticos. Se ha demostrado que el aumento de rodales con mezcla de varias especies es una manera sólida de alcanzar este objetivo (Jactel y Brockerhoff, 2007; Keesing, 2010). Sin embargo, la baja diversidad de árboles

de los bosques europeos puede limitar nuestra capacidad para establecer rodales variados, en particular cuando las EID han causado ya una reducción de las mismas. Este es el caso de los bosques aluviales, donde la aparición sucesiva de la enfermedad del olmo holandés, *Phytophthora* en el aliso y la acronecrosis del fresno han reducido las posibilidades para los silvicultores, lo que puede justificar el uso de especies arbóreas exóticas. A menudo se piensa que las plagas y enfermedades afectan poco a los árboles exóticos; el abeto de Douglas es un buen ejemplo de ello en Europa. Sin embargo, con frecuencia esto no es cierto, como lo demuestra el análisis de la base de datos de DSF: suele haber más informes de problemas de salud en las especies exóticas en Francia; hay que tener mucho cui-

dado con los posibles problemas de plagas y enfermedades cuando se seleccionan especies exóticas como candidatas.

Conclusión

Sigue habiendo una incertidumbre muy grande con respecto a la evolución de las comunidades de patógenos que afectan a nuestros bosques. Algunas evoluciones pueden pronosticarse, pero la mayoría son impredecibles, en parte debido a nuestra falta de conocimiento sobre las comunidades de patógenos forestales. Consecuentemente, es imposible predecir si algún patógeno desatendido puede convertirse en un problema grave en diferentes condiciones ambientales. ¿Quién hubiera pronosticado que *Hymenoscyphus fraxineus*, considerado como un saprófito en Asia, iba a provocar la

acronecrosis del fresno en Europa? El aumento en el número de especies conocidas de *Phytophthora*, un género que comprende muchos patógenos vegetales importantes, ilustra muy bien nuestro escaso conocimiento de las comunidades de patógenos. La mitad de las especies comenzaron a describirse en el año 2000, principalmente porque los investigadores empezaron a estudiar comunidades presentes en zonas templadas y mediterráneas en busca de fuentes de especies invasoras. Sigue siendo difícil predecir si el impacto global de los patógenos en nuestros bosques puede aumentar, pero podemos afirmar que las comunidades de patógenos evolucionarán y es probable que aparezcan nuevas enfermedades.



"EI CAMBIO CLIMÁTICO ES LA MAYOR AMENAZA PARA LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA MUNDIAL" AFORTUNADAMENTE, NO TODO ESTÁ PERDIDO...

HIDRO STRESS⁴⁰

Floramec[®] AVANCE

AGROWHITE[®] PROTECTOR SOLAR CULTIVOS

FitoKontrol[®] EL PODER DEL SILICIO



Bibliografía

- ! Aguayo J., Elegbede F., Husson C., Saintonge F.X. Marçais B. (2014). Modeling climate impact on an emerging disease, the Phytophthora alni induced alder decline. *Global Change Biology*, 20: 3209-3221.
- Ayres M.P., Lombardero M.J. (2000) Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *The Science of the total environment*, 262, 263–286.
- Bellard C., Thuiller W., Leroy B., Genovesi P., Bakkenes M., Courchamp F. (2013) Will climate change promote future invasions? *Global Change Biology*, 19: 3740–3748.
- Bergot, M., Cloppet, E., Pérarnaud, V., Déqué, M., Marçais, B., Desprez-Loustau M.L. (2004). Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Global Change Biology*, 10: 1539-1552.
- Blodgett J.T., Kruger E.L., Stanosz G.R. (1997) Effects of Moderate Water Stress on Disease Development by *Sphaeropsis sapinea* on Red Pine. *Phytopathology*, 87: 422–428.
- Desprez-Loustau, M.L., Marçais, B., Nageleisen, L.M., Piou, D., Vannini, A. (2006). Interactive effects of drought and pathogens on forest trees. *Ann. For. Sci.*, 63: 597-612.
- Desprez-Loustau, M.L., Robin, C., Renaud, G., Déqué, M., Badeau, V., Piou, D., Husson, C. and Marçais B. (2007). Simulating the effects of a climate change scenario on geographical range and activity of forest pathogenic fungi. *Can. J. Plant Pathol.*, 29: 101-120.
- Desprez-Loustau M.L., Aguayo J., Dutech C., Hayden J.K., Husson C., Jakushkin B., Marçais B., Piou D., Robin C., Vacher C. (2016). An evolutionary ecology perspective to address forest pathology challenges of today and tomorrow. *Annals Forest Science*, 73: 45–67
- Evans A. (2016) The Speed of Invasion: Rates of Spread for Thirteen Exotic Forest Insects and Diseases. *Forests*, 7: 99.
- Fabre B., Piou D., Desprez-Loustau M.L. and Marçais B. (2011). Can the emergence of pine *Sphaeropsis* shoot blight in France be explained by changes in pathogen pressure linked to climate change? *Global Change Biology*, 17: 3218–3227.
- Grosdidier M, loos R, Marçais B. (2017). Hot temperatures restrict *Hymenoscyphus fraxineus* in southeast of France. *Forest Pathology*, e12426. <https://doi.org/10.1111/efp.12426>.
- Hauptman T., Piškur B., de Groot M., Ogris N., Ferlan M., Jurc D. (2013) Temperature effect on *Chalara fraxinea*: heat treatment of saplings as a possible disease control method. *Forest Pathology*, 43, 360–370.
- Hawkins B.A., Field R., Cornell H.V., Currie D.J., Guégan J.-F., Kaufman D.M., Kerr J.T., Mittelbach G.G., Oberdorff T., O'Brien E.M. (2003). Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. *Ecology* 84, 3105–3117.
- Jactel H., Brockerhoff E.G. (2007). Tree diversity reduces herbivory by forest insects. *Ecology Letters* 10, 835–848.
- Jactel H., Petit J., Desprez-Loustau M.-L., Delzon S., Piou D., Battisti A., Koricheva J. (2012) Drought effects on damage by forest insects and pathogens: a meta-analysis. *Global Change Biology*, 18, 267–276.
- Jung T., Orlikowski L., Henricot B. y col. (2016). Widespread *Phytophthora* infestations in European nurseries put forest, semi-natural and horticultural ecosystems at high risk of *Phytophthora* diseases. *Forest Pathology*, 46: 134–163.
- Juroszek, Von Tiedemann A. (2015) Linking plant disease models to climate change scenarios to project future risks of crop diseases: a review. *Journal of Plant Disease and Protection*, 122, 3–15.
- Keesing F., Belden L.K., Daszak P., Dobson A., Harvell C.D., Holt R.D., Hudson P., Jolles A., Jones K.E., Mitchell C.E., y col. (2010). Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature* 468, 647–652.
- Lanier L., Joly P., Bondoux R., Bellemère A. (1978). *Mycologie et Pathologie forestière, II Pathologie forestière*. Ed. Masson.
- Lefèvre F., Loustau D., Marçais B., Rantien C. (2014). Vers une gestion adaptative des forêts. *Pour la Science*, 437: 78-81
- Marçais B., Bouhot-Delduc L., Le Tacon F. (2000). Effets possibles des changements globaux sur les micro-organismes symbiotiques et pathogènes et les insectes ravageurs des forêts. *Revue Forestière Française*, 12: 99-118
- Marçais B., Desprez-Loustau M.L. (2014). European oak powdery mildew: impact on trees, effects of environmental factors and potential effects of climate change. *Ann. For. Sci.*, 71: 633-642.
- Santini A, Ghelardini L., De Pace C. y col. (2013). Biogeographical patterns and determinants of invasion by forest pathogens in Europe. *New Phytologist*, 197: 238–250.
- Sturrock R.N., Frankel S.J., Brown A.V., Hennon P.E., Kliejunas J.T., Lewis K.J., Worrall J.J., Wood, A.J. (2011) Climate change and forest diseases. *Plant Pathology*, 60: 133–149.
- Tedersoo L., Bahram M., Polme S., y col. (2014) Global diversity and geography of soil fungi. *Science*, 346, 1256688–1256688.
- Woods A.J., Coates K.D., Hamann A. (2005) Is an Unprecedented *Dothistroma* Needle Blight Epidemic Related to Climate Change? *BioScience*, 55: 761–769.
- Welsh C., Lewis K.J., Woods A.J. (2014) Regional outbreak dynamics of *Dothistroma* needle blight linked to weather patterns in British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 44: 212–219.