

# Plantas vs patógenos



Photos courtesy of [CIMMYT](#), [Scott Bauer](#), USDA Agricultural Research Service, [IRRI](#), [IRRI](#), [IITA](#)

# Tipos de interacciones entre organismos

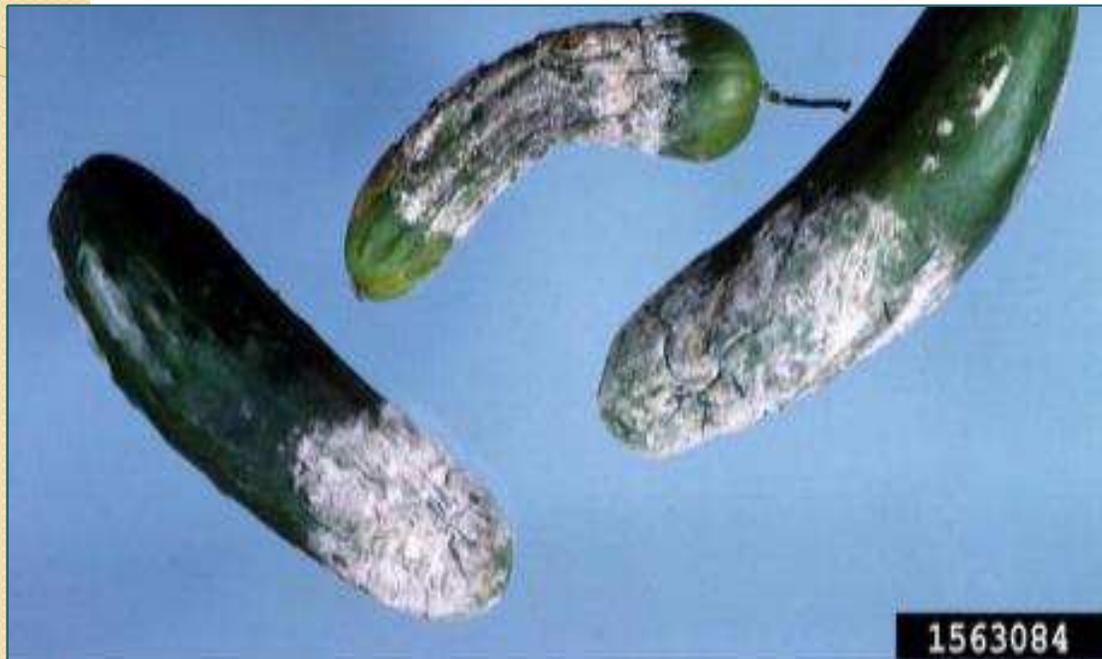
Tipo de interacción	Especie 1	Especie 2	Naturaleza de la interacción
<b>Predación</b>	+	-	En ambos, la especie 1 se beneficia a expensas de la especie 2. Diferencia sutil entre ambos mecanismos (parásitos generalmente invaden al hospedante y lo consumen por dentro; predadores actúan en forma externa)
<b>Parasitismo</b>	+	-	
<b>Competencia</b>	-	-	Ambas especies sufren (genera un costo para ambas)
<b>Amensalismo</b>	-	0	Una especie es inhibida (1) y la otra no se ve afectada
<b>Neutralismo</b>	0	0	Ninguna de las especies afecta a la otra
<b>Comensalismo</b>	+	0	Una especie se ve beneficiada (1) mientras que la otras no es afectada
<b>Mutualismo</b>	+	+	Ambas especies ganan de la interacción

# ¿A qué llamamos Patógeno?

Organismo que causa o produce enfermedad.



# Los patógenos y las plagas causan pérdidas mundiales de cultivos de $\geq 25\%$



*Phytophthora capsici* en el pepino (*Cucumis sativus*)



Perforador europeo del maíz (*Ostrinia nubilalis*) en su hospedante

# Las plantas son susceptibles a enfermedades causadas por muchos organismos ...



Photo courtesy of [CIMMYT](#), [CIMMYT](#), [IRRI](#), [IRRI](#), [IITA](#)

# Hongos



Maíz infectado con fusariosis  
(*Fusarium verticillioides*)



Trigo infectado con la roya del  
tallo (*Puccinia graminis*)

# Virus



Dibujo sobre tela mostrando plantas de mandioca infectada con el virus mosaico, de Guinea-Bissau

Se han identificado variedades resistentes y genes que confieren resistencia

Los tubérculos de mandioca (*Manihot esculenta*) son la tercera fuente más importante de calorías en los trópicos.

El virus del mosaico de la mandioca es el patógeno más importante que la afecta. Las plantas infectadas frecuentemente no producen tubérculos

**Resistentes**      **Susceptibles**



# Bacterias



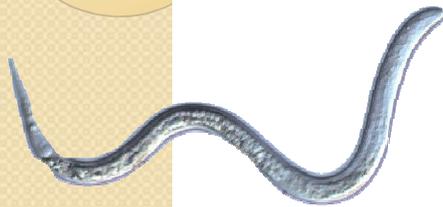
Plátanos infectados con *Xanthomonas*



Maíz infectado con mancha bacteriana de la hoja (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*)



# Nemátodos



Los nematodos son gusanos redondos y minúsculos (diámetro de 0,1 mm) que se encuentran en todos lados (ubíquos). Algunos son plagas de plantas, algunos comen plagas de plantas, y algunos son patógenos humanos

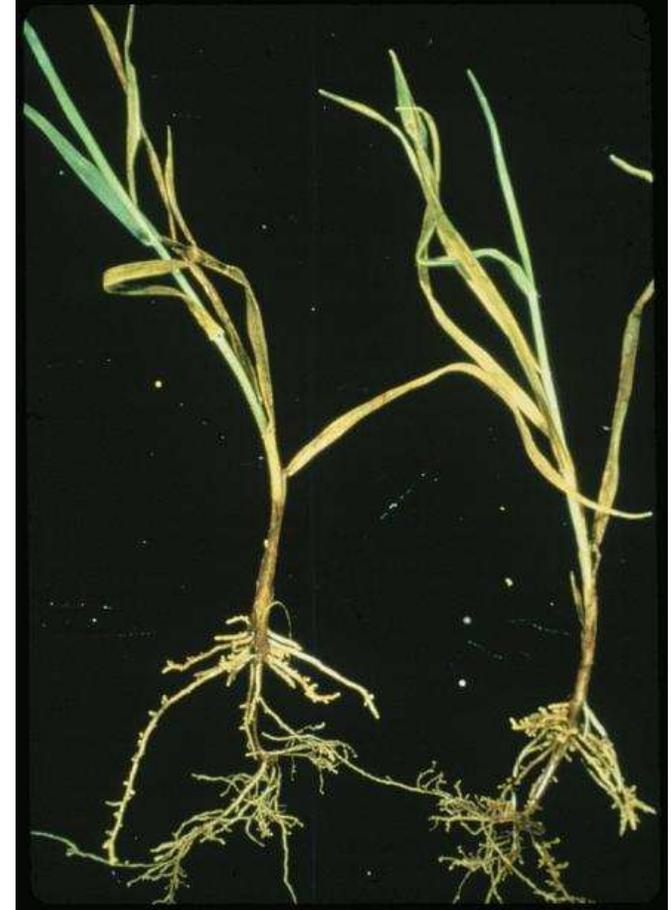


Tubérculo de papa afectado por nemátodos



Nódulos de *Meloidogyne* sp en raíz de nabo (*Brasica napus*)

Trigo infectado con nemátodos de nudos de raíz (*Meloidogyne* spp.)



# Los patógenos de las plantas son agentes infecciosos que afectan (enferman) a las plantas

Causan 10 a 30% de pérdidas de rendimiento anualmente. Pero pueden llegar al 100%.

Hasta el 25% de los genes de las plantas responden a la infección por patógenos

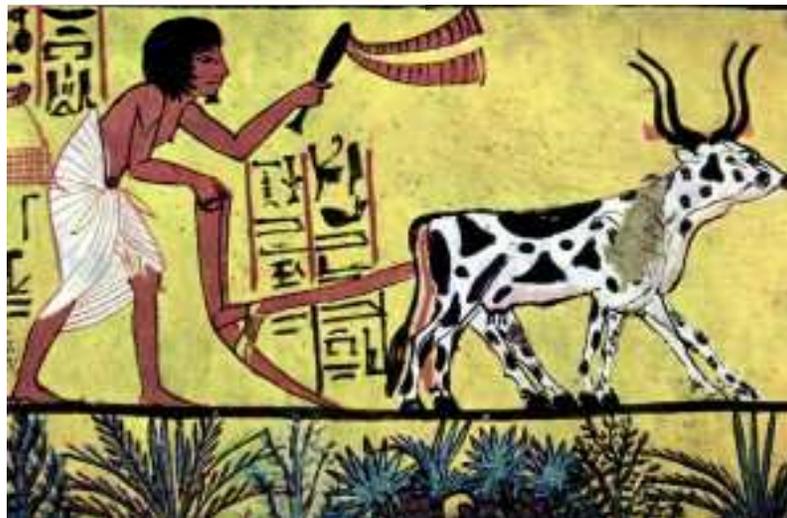
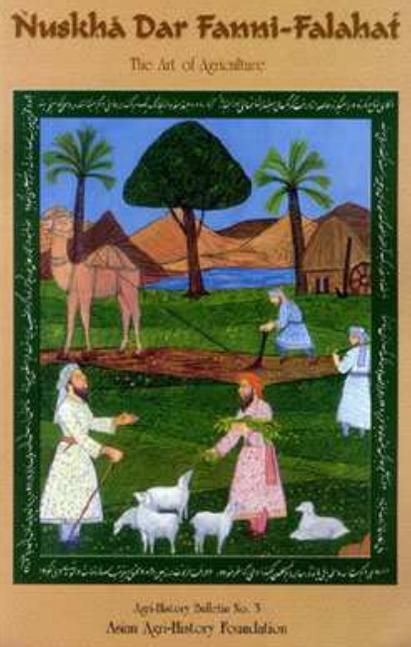
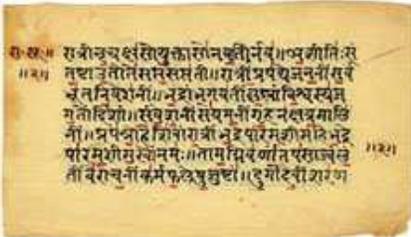
**La enfermedad es la excepción, no la regla**

La batalla entre las plantas y los patógenos estimula la diversidad en los genes de defensa y patogenicidad



# Desde que comenzó la agricultura, los humanos han luchado con patógenos vegetales

Los textos que describen las mejores prácticas para evitar las enfermedades de las plantas datan de miles de años



# Se atribuían enfermedades a los dioses



Zeus controlando el clima

se pensaba que dioses y diosas controlaban los eventos naturales



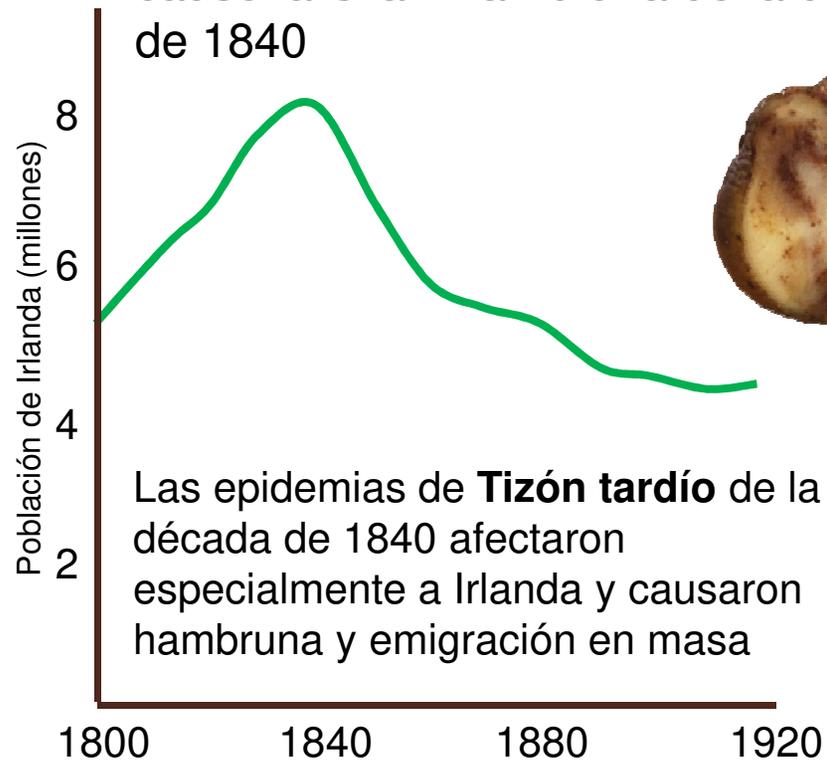
Ceres o Demeter diosa del grano

# Ejemplo: *Phytophthora infestans*, destructor de plantas

Las papas llevadas a Europa desde América del Sur en el siglo XVI, pero el patógeno *Phytophthora infestans* no se observó en Europa hasta el siglo XIX



Un brote de *Phytophthora infestans* causó la Gran Hambruna de la década de 1840



Las epidemias de **Tizón tardío** de la década de 1840 afectaron especialmente a Irlanda y causaron hambruna y emigración en masa

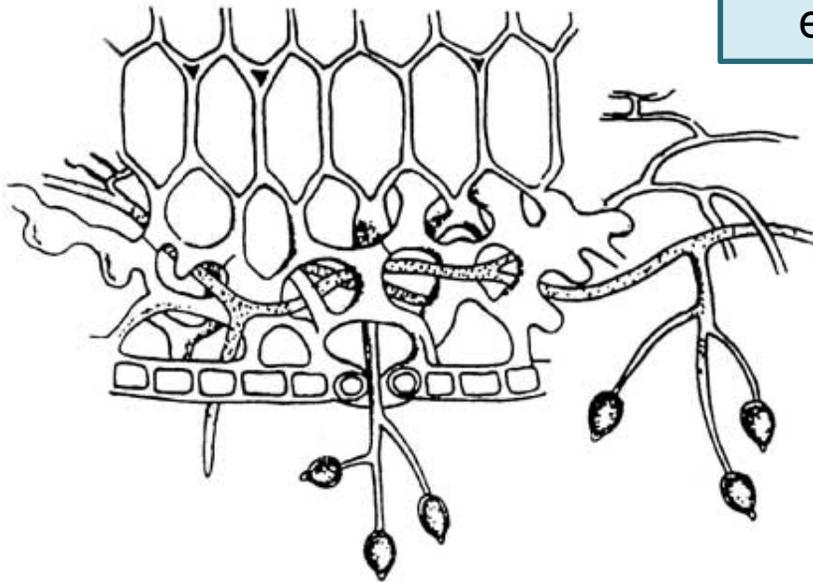
# Siglo XIX– "Algunas enfermedades son causadas por microorganismos"

La epidemia del tizón tardío de la papa llevó a descubrimientos claves en patología vegetal

¿Está creciendo moho en las plantas porque las plantas están enfermas?



Creo que las plantas están enfermas porque el moho está creciendo en ellas



**Miles Joseph Berkeley, 1846**

# 1863 - Anton de Bary demostró que *Phytophthora* causa el Tizón tardío



También observó que las esporas entraban en las hojas del nuevo hospedante

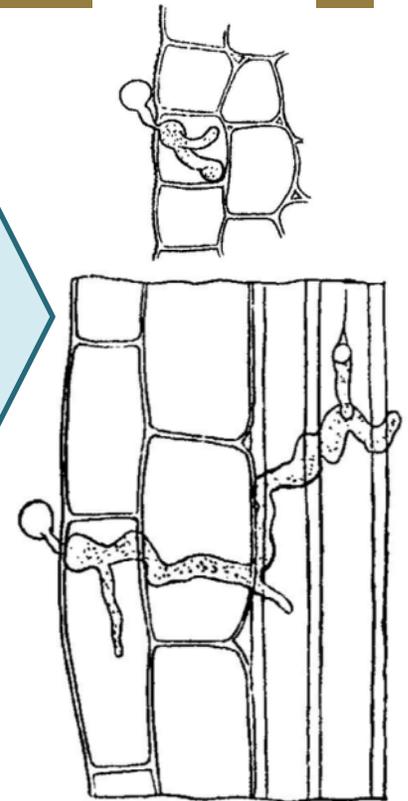


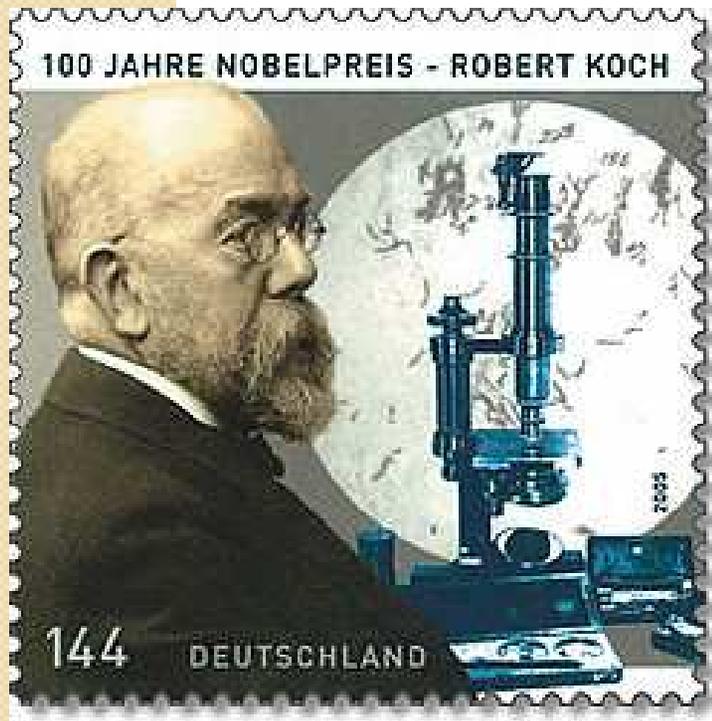
FIG. 13. Entry and penetration of the Potato Blight fungus, by means of its zoospores, into the cells of a potato leaf. ( $\times 390$ )  
After de Bary, 1863

De Bary transfirió las esporas de una planta enferma a una planta sana, que luego desarrolló síntomas de la enfermedad



# Los patólogos se unen en apoyo de la teoría de los gérmenes

Al mismo tiempo, Louis Pasteur y Robert Koch demostraron que las enfermedades animales eran causadas por microbios, y nació la teoría del germen



## Los postulados de Koch para establecer un microbio como el agente causal de una enfermedad (1880):

- El microbio siempre está asociado y puede ser aislado del paciente con la enfermedad
- El microbio debe ser cultivado en cultivo puro
- El microbio puede ser inyectado o inoculado en un animal (planta) y causar la enfermedad
- El microbio puede volver a aislarse en cultivo puro

# Los patógenos bacterianos de las plantas se describieron en la década de 1870

T.J. Burrill (1878) demostró que la niebla del peral y de la manzana era causada por una bacteria, *Erwinia amylovora*



Las bacterias que escapan del tejido infectado son una herramienta de diagnóstico importante para las infecciones bacterianas

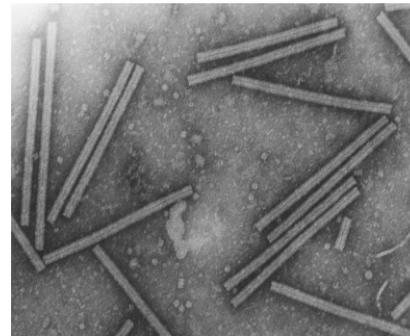


[Paul Bachi](#), University of Kentucky Research and Education Center, Bugwood.org  
[Clemson University - USDA Cooperative Extension Slide Series](#)

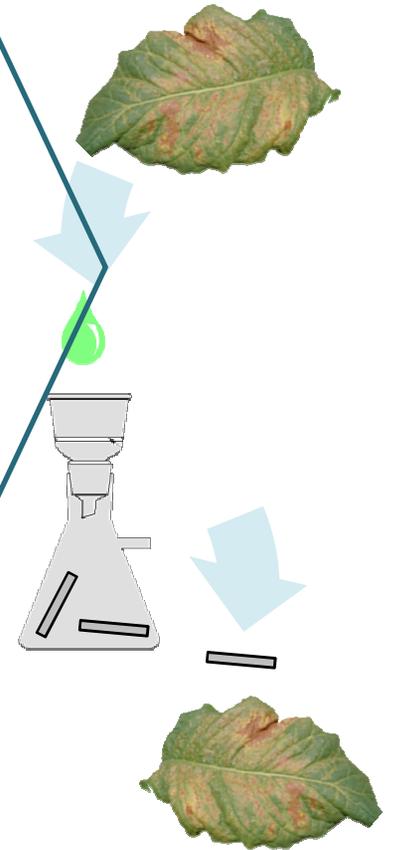
# El agente causal del mosaico del tabaco fue identificado como un virus (1890s)



Al pasar el extracto de una hoja infectada a través de un filtro extremadamente fino, los patólogos demostraron que el agente infeccioso era más pequeño que una bacteria y lo llamaron "virus"



Electron micrograph of TMV



Los nemátodos (parásitos de las plantas) fueron identificados anteriormente, debido a su mayor tamaño,



Nemátodo de la semilla de trigo *Anguina tritici* descrito por John Turberville Needham, 1743  
Como "animales acuáticos ... que se parecen mucho a gusanos, anguilas o serpientes"



La nematología experimental comenzó en la década de 1850, en los nemátodos de nudos de raíz que afectan a estas plántulas de pepino, descrito por M.J. Berkeley

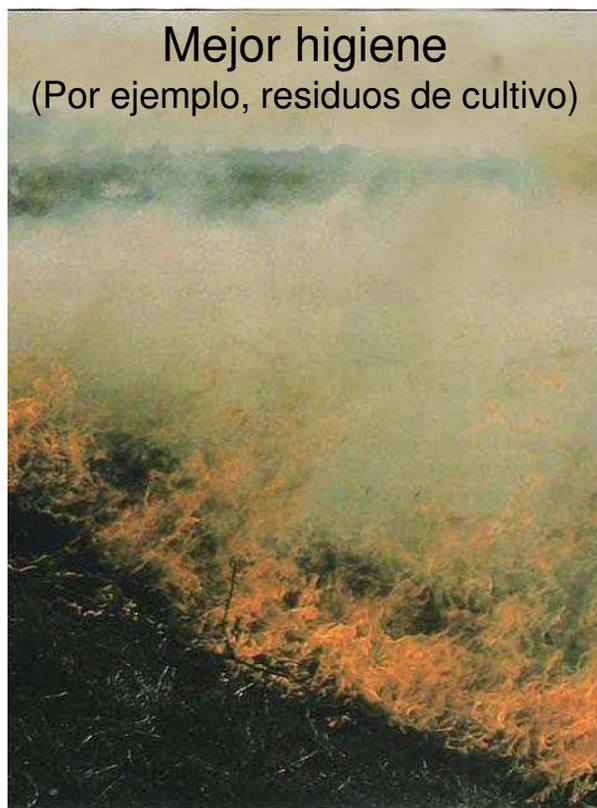
# A finales del siglo XIX, los patólogos sabían por qué las plantas se enfermaban

La investigación en el siglo XX se centró en la prevención y control de brotes de enfermedades

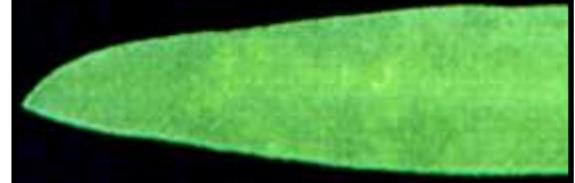
Guerra química



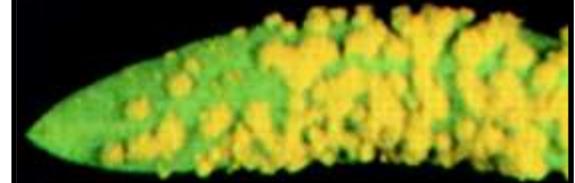
Mejor higiene  
(Por ejemplo, residuos de cultivo)



Resistencia Genética a las enfermedades



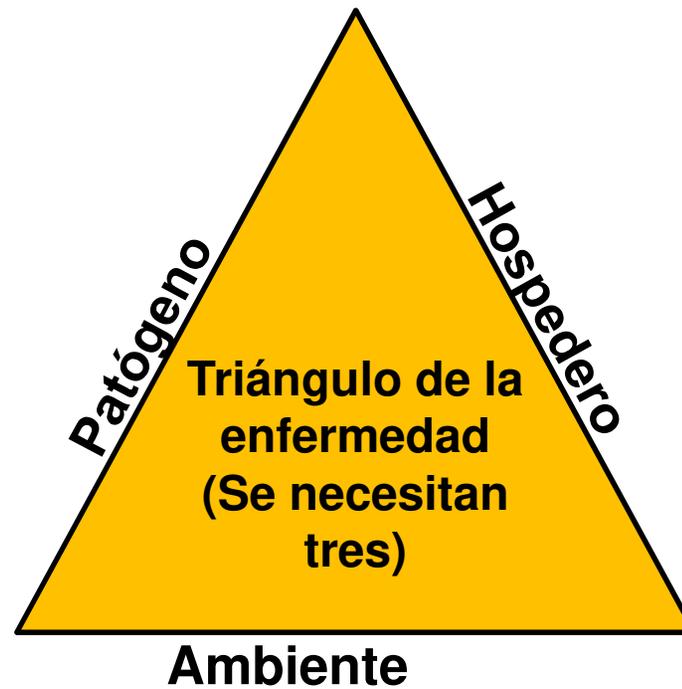
*Resistente*



*Sensible*

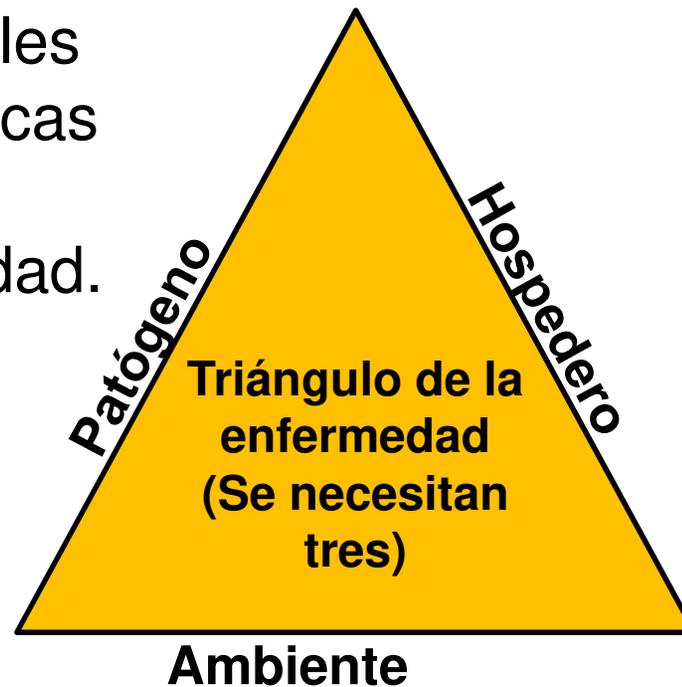
Photo by [Ken Hammond](#); Jenkins B, Turn S, Williams R. 1991. Survey documents open burning in the San Joaquin Valley. Cal Ag 45:12-16; Luck, J.E., Lawrence, G.J., Dodds, P.N., Shepherd, K.W. and Ellis, J.G. (2000). Regions outside of the leucine-rich repeats of flax rust resistance proteins play a role in specificity determination. Plant Cell. 12: [1367-1378](#).

¿Qué hace que una interacción sea una enfermedad? (Triángulo de la enfermedad)



¿Qué hace que una interacción sea una enfermedad? (Triángulo de la enfermedad)

Las plantas están expuestas a innumerables microbios, pero muy pocas de estas interacciones producen una enfermedad. ¿Por qué?



# ¿Qué hace que una interacción sea una enfermedad? (Triángulo de la enfermedad)

Las plantas están expuestas a innumerables microbios, pero muy pocas de estas interacciones producen una enfermedad. ¿Por qué?

El patógeno debe ser capaz de superar las defensas de las plantas



La planta hospedante debe ser susceptible al patógeno

El ambiente debe favorecer al patógeno

## **Patógeno exitoso.**

Patogenicidad: genes y efectores que permiten al patógeno entrar en la planta, evadir las defensas de la planta, sobrevivir y reproducirse

A mayor patogenicidad, mayor éxito.

## **Hospedero vulnerable**

- Plantas débiles o heridas son más vulnerables.
- La falta de genes de resistencia a enfermedades

# El medio ambiente condiciona quién gana: la planta o el patógeno

Temperatura

humedad

viento

Densidad de plantación

Contaminación

Otros organismos

Contenido de humedad del suelo

Disponibilidad Nutrientes

# Los brotes de *Xanthomonas* siguen a tifones y huracanes



La propagación de *Xanthomonas oryzae* pv. *Oryzae*, plaga bacteriana del arroz sigue a Tifones



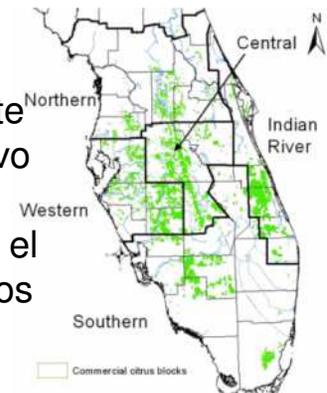
*Xanthomonas axonopodis*



Los huracanes propagan *Xanthomonas axonopodis*, cancro de los cítricos



Los huracanes golpean regularmente las regiones de cultivo de cítricos de la Florida, extendiendo el cancro de los cítricos



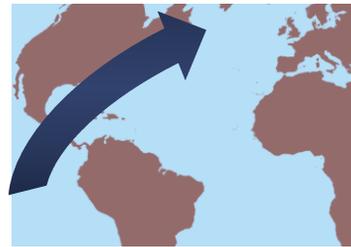
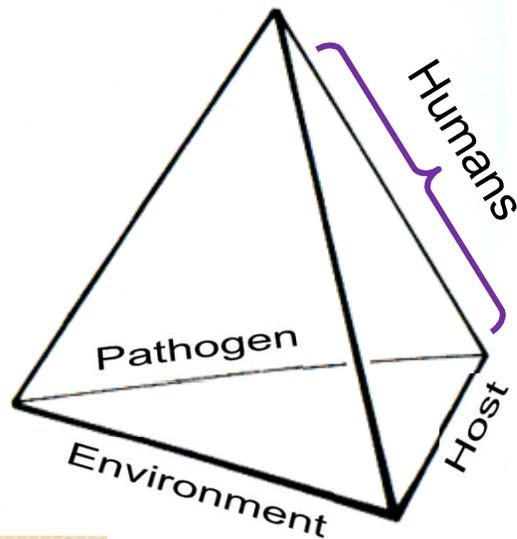
# Ejemplo: influencia del medio ambiente - "mal tiempo"

Mediante el análisis de los patrones de humedad y la temperatura, es posible anticipar la gravedad de los brotes de tizón tardío y decidir cuándo utilizar los aerosoles químicos. El patógeno prospera en condiciones de

**alta humedad y temperaturas moderadas**

# Influencias humanas en las enfermedades de las plantas.

Los humanos agregan otra dimensión a la (pirámide de la enfermedad ...).



*Migraciones de personas y plantas*



*Monocultivo*

*Introduciendo patógenos y vectores*



*Prácticas agrícolas*



La enfermedad implica:  
**patógeno, hospedero y ambiente**



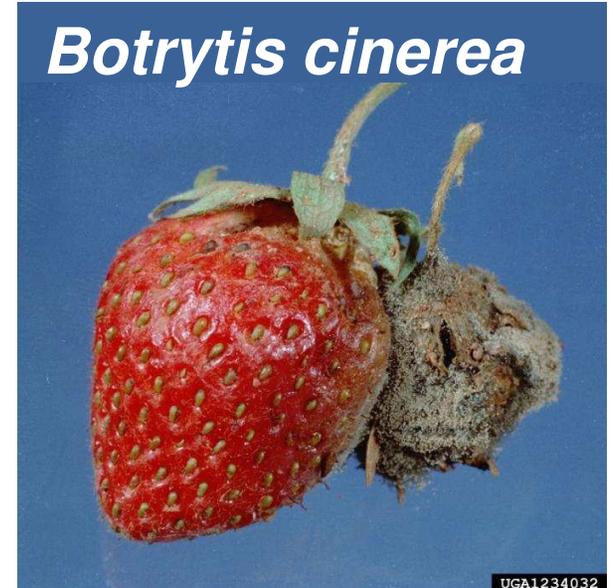
**El inicio de la  
enfermedad requiere un  
patógeno  
adecuadamente  
virulento, un hospedero  
susceptible, y un  
ambiente que favorece al  
patógeno**

# Estrategias de patogenicidad

## Un patógeno exitoso debe:

- Llegar al hospedero y atacarlo
- Adquirir entrada a través de las defensas impermeables de la planta
- Evitar las respuestas de defensa de la planta
- Crecer y reproducirse
- Dispersarse a otras plantas

*Botrytis cinerea*



UGA1234032



# Hongos



## Dollar Spot (Sclerotinia)

Afectar a césped con presencia de Agrostis, Cynodon, Festuca, Lolium, Poa, Zoysia, etc.

Afecta más cuando el césped está en crecimiento activo durante días cálidos y húmedos, en noches frescas, y con fuertes rocíos en primavera, verano y otoño.

Es mucho más severo en suelos secos con falta de nitrógeno; ataca césped debilitado o con claros síntomas de padecer estrés.

# Hongos

## Oidium sp

Conocido vulgarmente como "ceniza". Se manifiesta en forma de manchas blancas polvorientas. Es un hongo que contrariamente a lo que ocurre con otros hongos, no necesita humedad para desarrollarse, además resiste bien el frío. Ataca hojas, tallos y botones. Debes realizar tratamientos preventivos y curativos con Fungicida Antioidio.



# Hongos

Peronóspora

- *Plasmopara viticola*



# PERONOSPORA

- **Condiciones favorables:**

- invierno húmedo
- primavera lluviosa
- verano lluvioso
- 22-25°C



- tejido joven, en activo crecimiento.

# Ejemplo local

## Ciclo de Desarrollo de la Peronospora de la Vid



Fructificación (micelio) sobre tejido verde

- A** Pasaje invernal como zoosporas en hojas secas.
- B** 1ª infección en brotación. Regla de los 3 diez.
- C** Aparición 1º síntomas. 7-14 días.
- D** Comienzo de infección 2ª. Varios ciclos en el año.
- E** Fin del ciclo con esporulación otoñal.



# Hongos



ANTRANOSIS

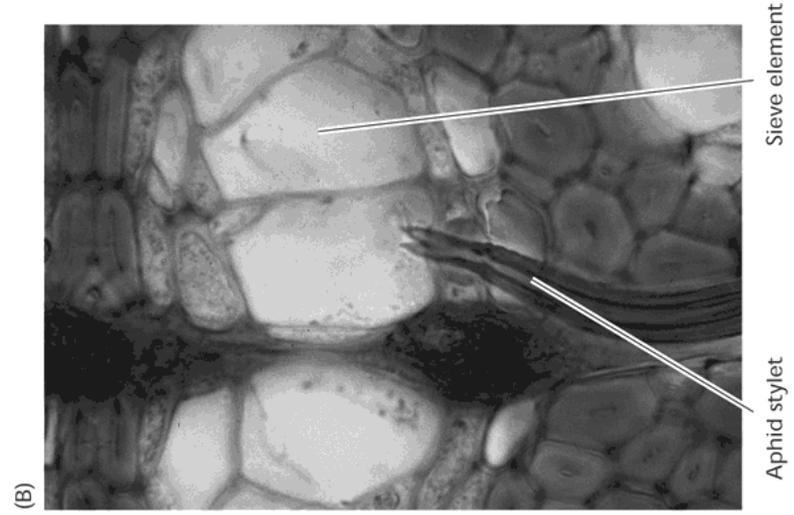
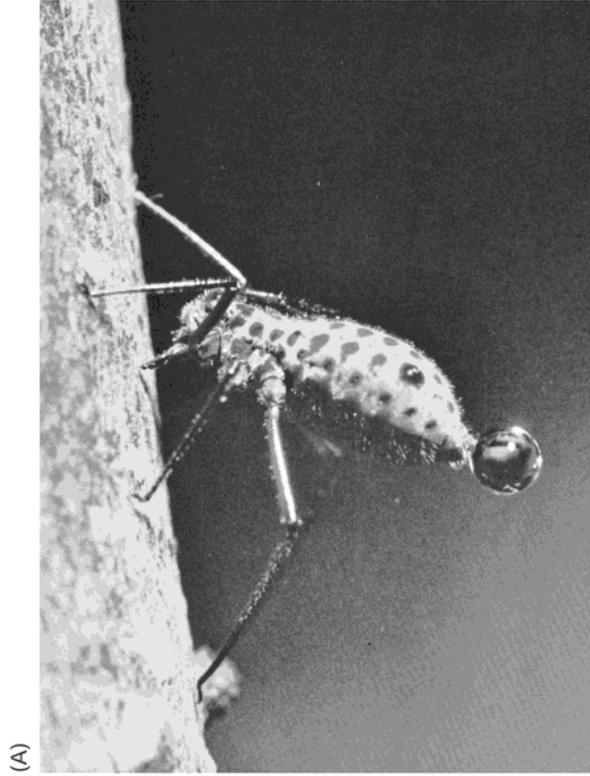
Enfermedad que afectar a gran variedad de planta ornamental; son frecuentes los ataques a frutales, árboles, arbustivas, trepadoras, hortícolas y verduras, etc. Se recomienda aplicar Fungicida Polivalente o Fungicida Cobre

# Hongos



Hongo que se desarrolla sobre las secreciones azucaradas de insectos como pulgones , las cochinillas , o moscas blancas. Se observa como un polvo seco negro que forma una película o costra. Debido a que se desarrollan principalmente sobre la mielecilla secretada por algunos insectos chupadores, se recomienda la aplicación de un insecticida adecuado para el control del insecto presente en la planta.

# Porque excretan azúcares?????

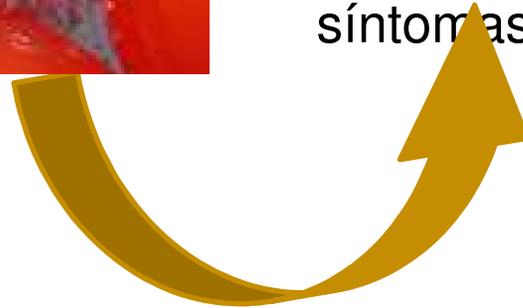


# Hongos



Botrytis, Moho Gris, Pudrición Gris, Podredumbre Gris

Este hongo afecta de una manera muy especial a hortalizas, verduras y plantas de flor. Requiere de ambientes cálidos y humedades altas; frecuente en invernaderos; atacan generalmente a ejemplares debilitados o con claros síntomas de padecer estrés.



# Hongos

## **Manchas Foliare y Seca de Hojas por Ataques de Hongos**

La inmensa mayoría de manchas foliares y seca de hojas en las palmeras están causadas por hongos, como *Bipolaris*, *Colletotrichum*, *Helmintosporium*, *Pestalotiopsis*, *Stigmina*, entre otros. Estos hongos son frecuentes y más agresivos en palmeras jóvenes y si están en contenedor.

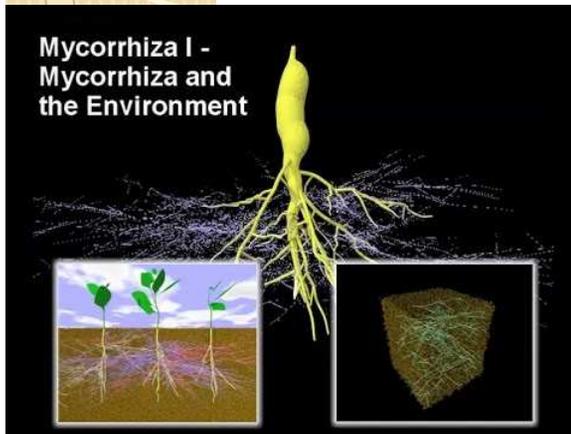


# Hongos

Benéficos

En el suelo-  
MICORRIZAS

Son patógenos  
para insectos que  
afectan a las  
plantas



Mycorrhiza I -  
Mycorrhiza and  
the Environment



# Virus



Dibujo sobre tela mostrando plantas de mandioca infectada con el virus mosaico, de Guinea-Bissau

Los tubérculos de mandioca (*Manihot esculenta*) son la tercera fuente más importante de calorías en los trópicos.

El virus del mosaico de la mandioca es el patógeno más importante que la afecta. Las plantas infectadas frecuentemente no producen tubérculos

**Resistentes**      **Susceptibles**



Se han identificado variedades resistentes y genes que confieren resistencia

# Virus

Los virus causantes de las **enfermedades del mosaico de la mandioca y del rayado marrón** afectan al principal cultivo alimentario, la mandioca o yuca, en toda la región de los Grandes Lagos de África oriental y meridional. En África, se calcula que la mandioca o yuca es la fuente principal de alimentos de 70 millones de personas, ya que aporta más de 500 Kcal diarias por persona.



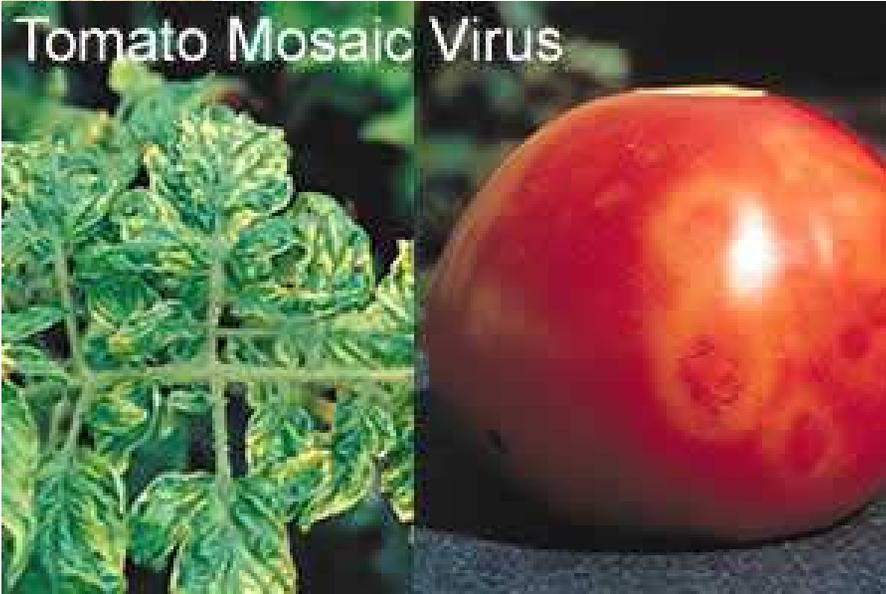
Las **royas del tallo del trigo** plantean una grave amenaza a la producción mundial de trigo debido a la aparición continua de nuevas variedades y a su propagación por el viento. Sus efectos son más pronunciados en las principales regiones productoras de trigo, entre las que figuran África oriental, norte de África, Oriente Medio y Asia. Se calcula que el 37 por ciento del trigo mundial puede verse afectado por posibles epidemias de enfermedades de la roya amarilla, la roya negra o la roya foliar del tallo de los cereales.

# Virus



# Virus

Tomato Mosaic Virus



**Virus mosaico d  
tomate, tabaco,  
zapallo, rosas,  
cereales**



5360382

# Virus de plantas y humanos????

Virus de  
animales y  
humanos



Gripe aviar  
Gripe porcina

Un grupo de investigadores de la Universidad del Mediterráneo en Marsella, dirigidos por [Didier Raoult](#), sostiene que un virus de tamaño medio y que es habitual en diversas variedades de pimienta es capaz de causar fiebres, escozor y dolores de cabeza a las personas. Si la investigación es validada por otros grupos independientes, sería la primera vez que se demuestra que un virus de las plantas puede causarnos problemas de salud.

# Bacterias



Plátanos infectados con *Xanthomonas*



Maíz infectado con mancha bacteriana de la hoja (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*)



# Bacterias y Humanos???



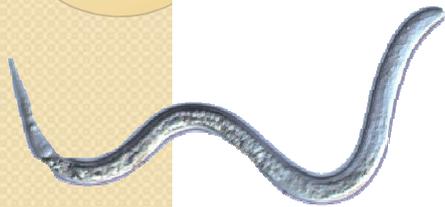
Bacterias

Aceitunas verdes  
Quesos  
Yoghurt  
manteca



***Salmonella.***  
***Campylobacter.***  
***Clostridium perfringens.***  
***Bacillus cereus.***  
***Staphylococcus aureus.***  
***Listeria Monocitogenes.***  
***Eschericchia coli.***

# Nemátodos

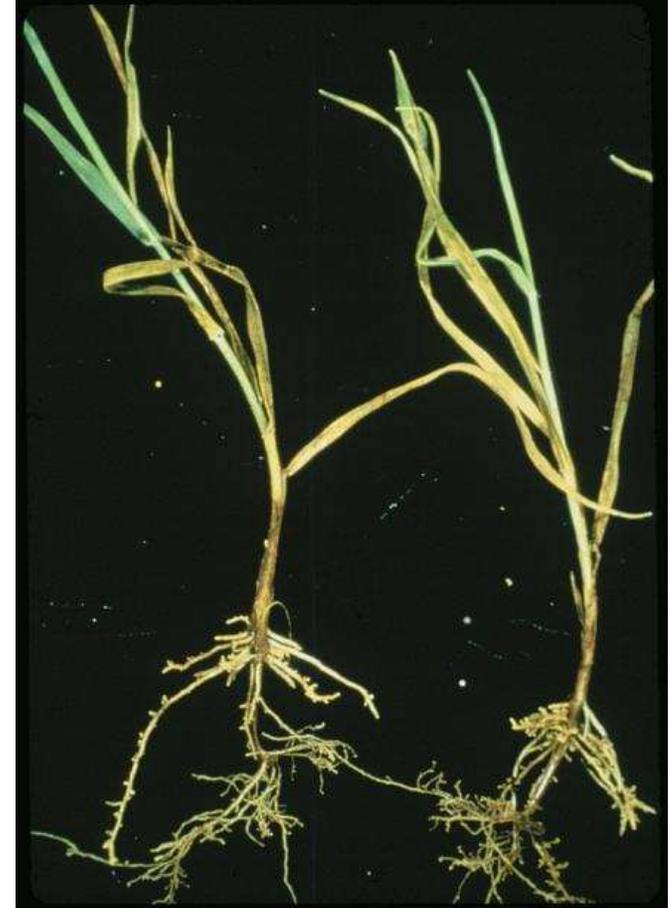


Tubérculo de papa afectado por nemátodos

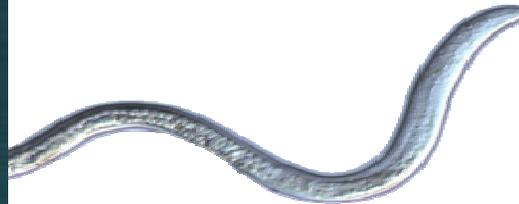


Nódulos de *Meloidogyne* sp en raíz de nabo (*Brassica napus*)

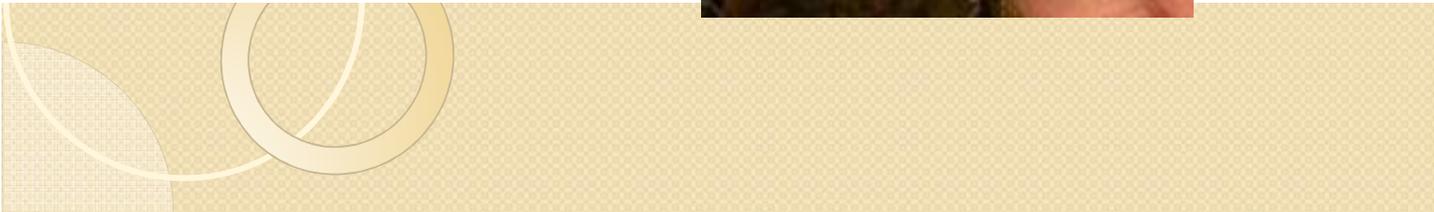
Trigo infectado con nemátodos de nudos de raíz (*Meloidogyne* spp.)



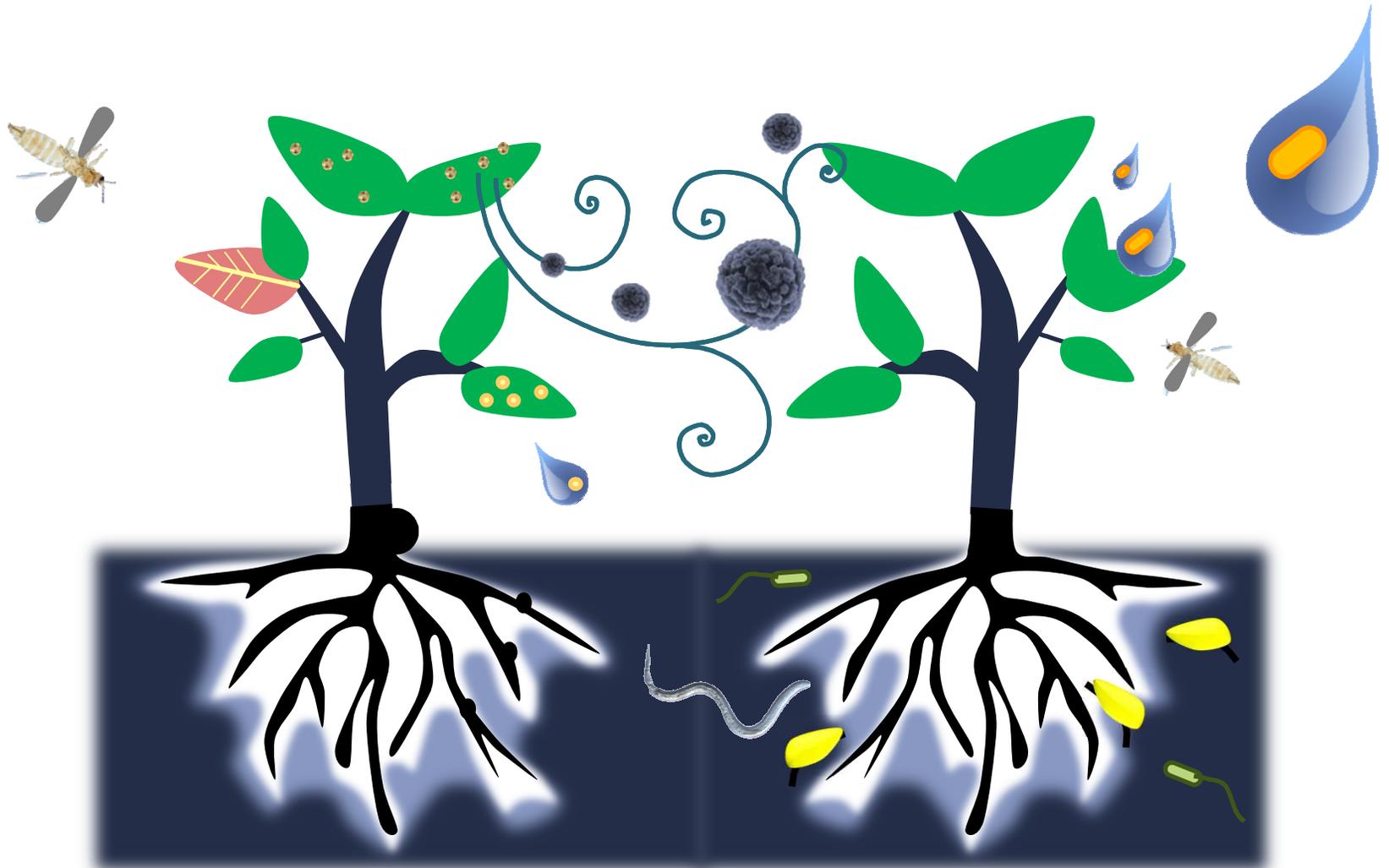
# Nemátodos



Los nematodos son gusanos redondos y minúsculos (diámetro de 0,1 mm) que se encuentran en todos lados (ubicuos). Algunos son plagas de plantas, algunos comen plagas de plantas, y algunos son patógenos humanos



**Viento, agua, insectos y la quimiotaxis el hombre o prácticas humanas ayudan a que los patógenos lleguen a sus anfitriones**



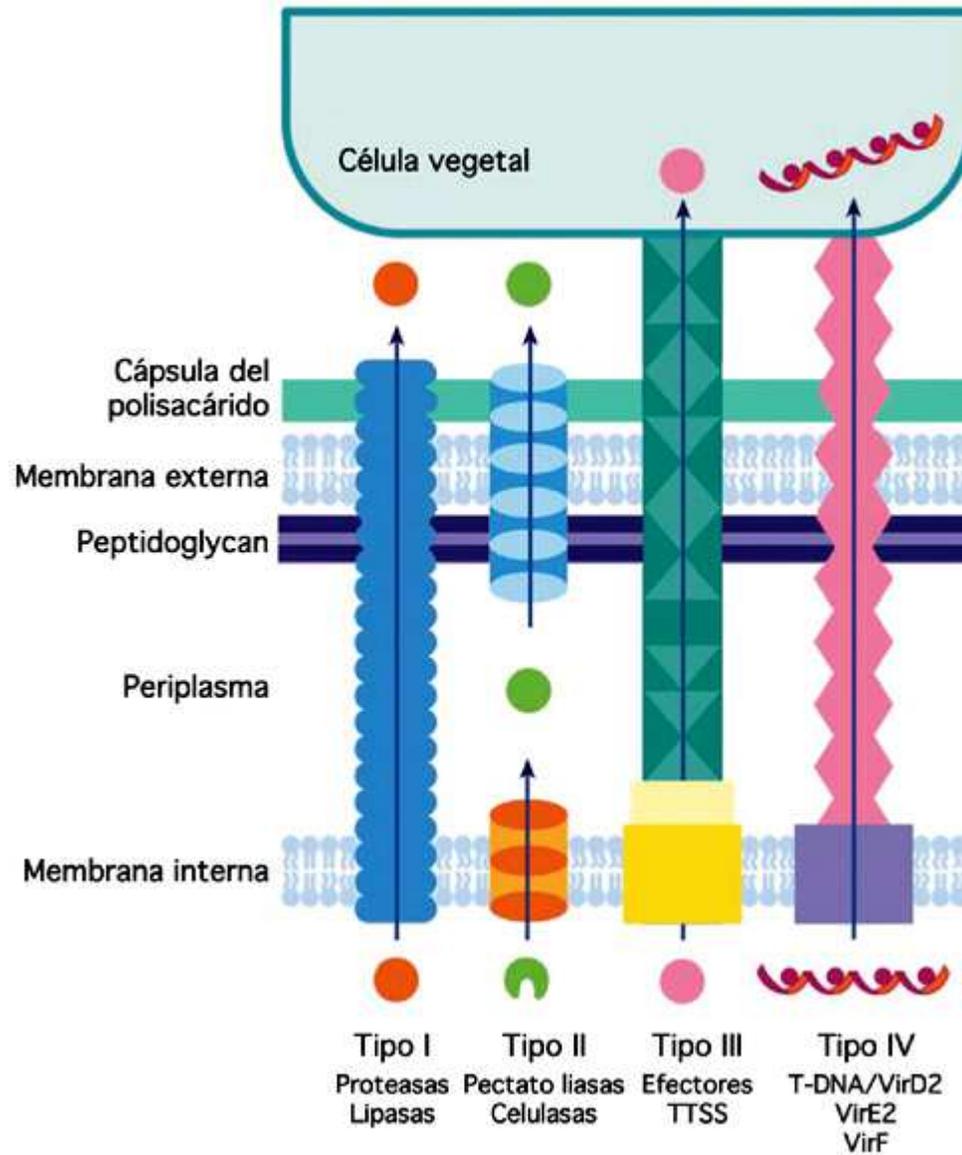
# Dispersión de patógenos





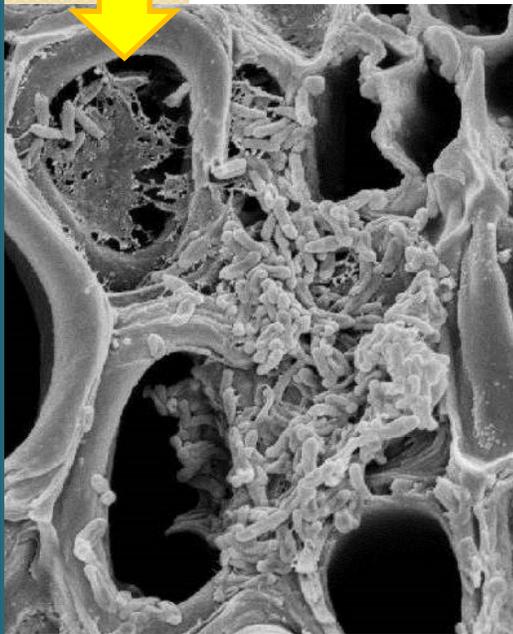
**Recreo!!**

# Estrategias de ataque

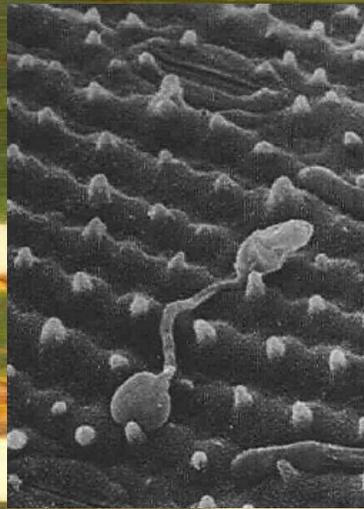


# Algunos patógenos excretan polisacáridos que les permite adherirse a la superficie.

Muchas bacterias producen biopelículas



*Xylella fastidiosa* en un vaso del xilemal



*Magnaporthe grisea*, agente causal de la explosión del arroz, produce proteínas hidrofobinas extracelulares necesarias para la adhesión y penetración; Un mutante deficiente (mostrado a continuación) es menos patógeno

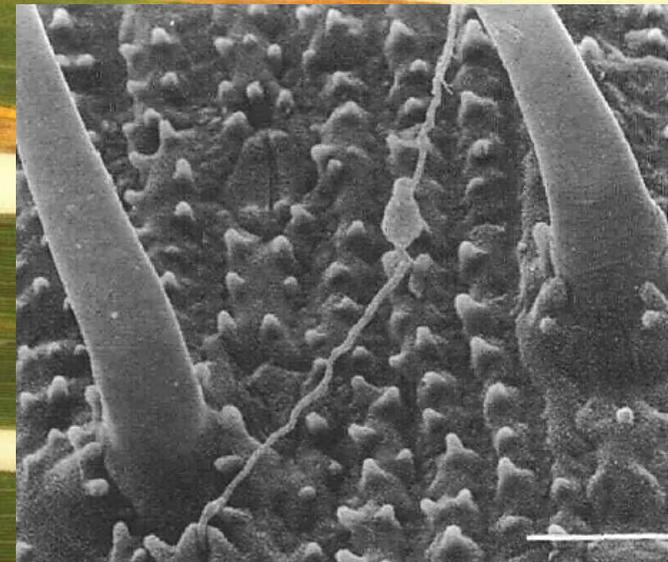
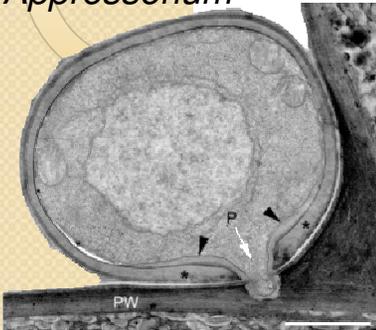


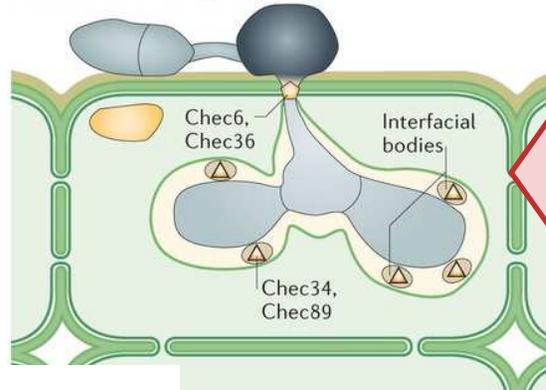
Photo by [E. W. Kitajima](#) (ESALQ/USP/Brazil); [RK Webster](#), USDA; Talbot, N.J., Kershaw, M.J., Wakley, G.E., de Vries, O., Wessels, J. and Hamer, J.E. (1996). *MPG1* encodes a fungal hydrophobin involved in surface interactions during infection-related development of *Magnaporthe grisea*. Plant Cell. 8: [985-999](#).

# Otros patógenos deben ingresar a la célula.

Appressorium



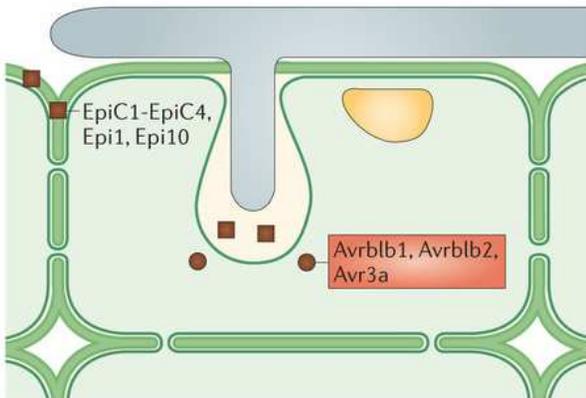
c *Colletotrichum higginsianum*



alta presión para perforar la pared celular:  
Apresorios

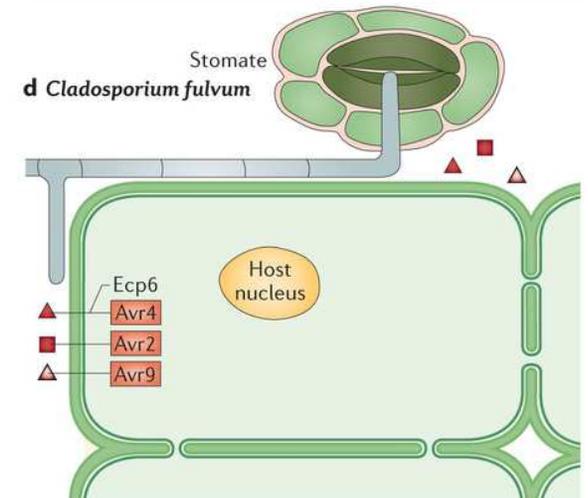
Algunos patógenos entran a través de los estomas y crecen extracelularmente

f *Phytophthora infestans*



apresorios

d *Cladosporium fulvum*



Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Giraldo, M.C., Valent, B. (2013). Filamentous plant pathogen effectors in action. *Nat. Rev. Microbiol.* 11: 800-814; Kleemann, J., Rincon-Rivera, L.J., Takahara, H., Neumann, U., van Themaat, E.V.L., van der Does, H.C., Hacquard, S., Stüber, K., Will, I., Schmalenbach, W., Schmelzer, E. and O'Connell, R.J. (2012). Sequential delivery of host-induced virulence effectors by appressoria and intracellular hyphae of the phytopathogen *Colletotrichum higginsianum*. *PLoS Pathog.* 8: [e1002643](https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1002643);

# Los patógenos pueden ser necrótrofos, biótrofos, o hemibiótrofos

Necrotroph  
*Botrytis cinerea*



Los **necrótrofos** matan células y luego consumen el contenido

Biotroph  
*Hyaloperonospora arabidopsidis*



**Biótrofos** viven dentro del tejido del huésped sin causar la muerte

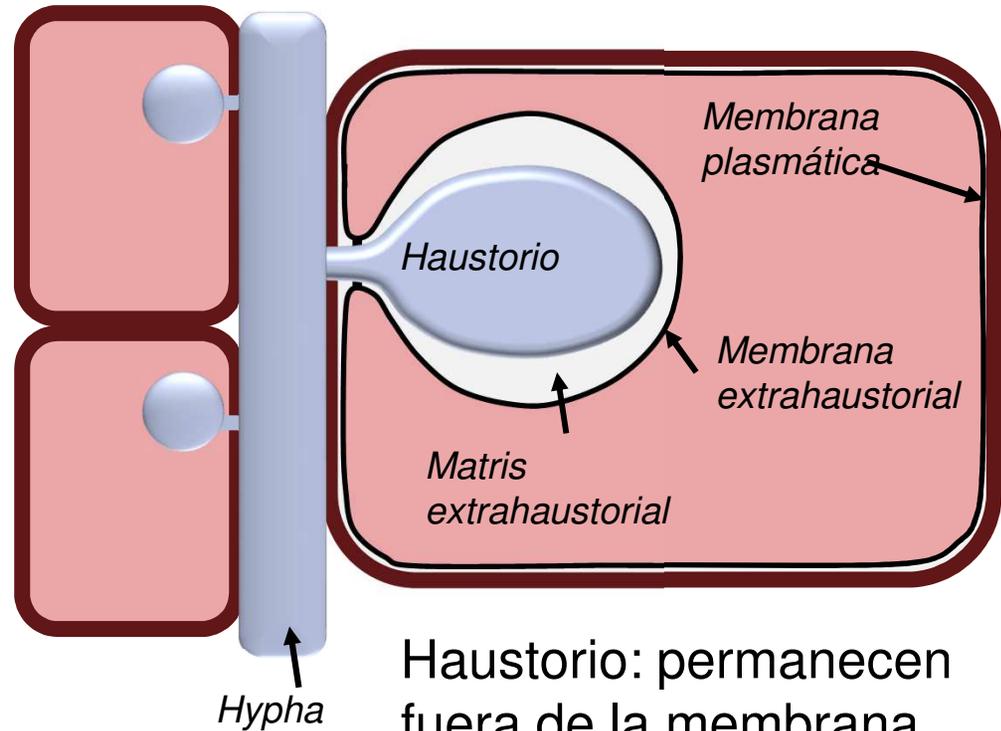
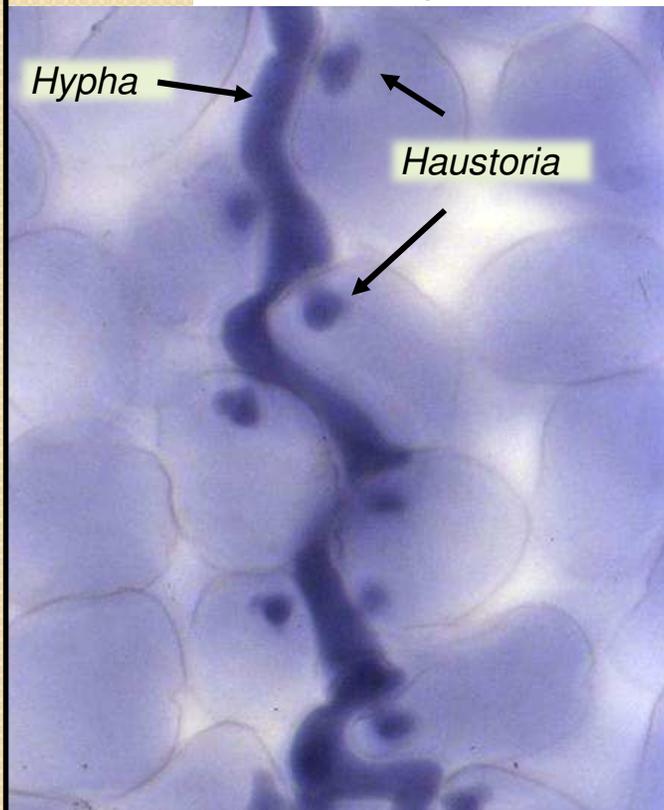
Hemibiotroph  
*Pseudomonas syringae*



**Hemibiotrofos** pueden cambiar de biótrofo a necrótrofo

# Biótrofos usualmente hacen haustorios

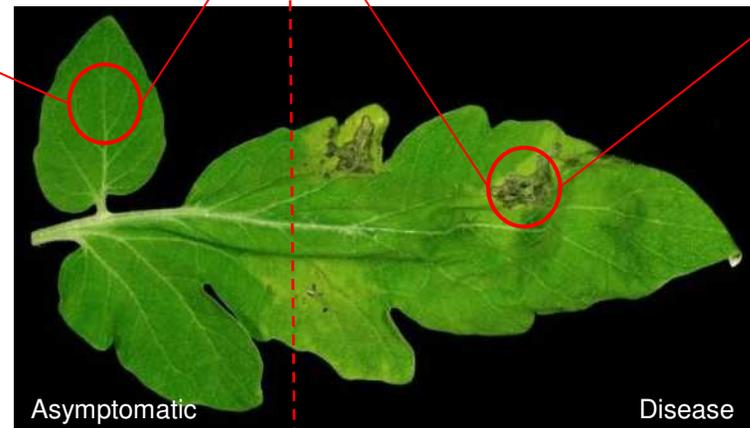
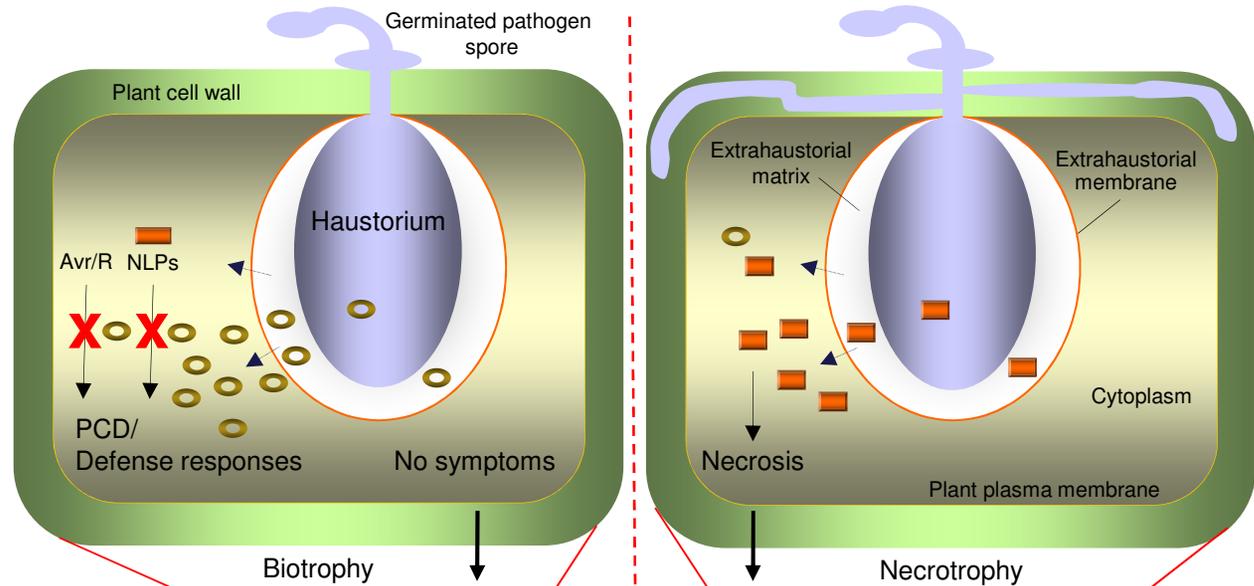
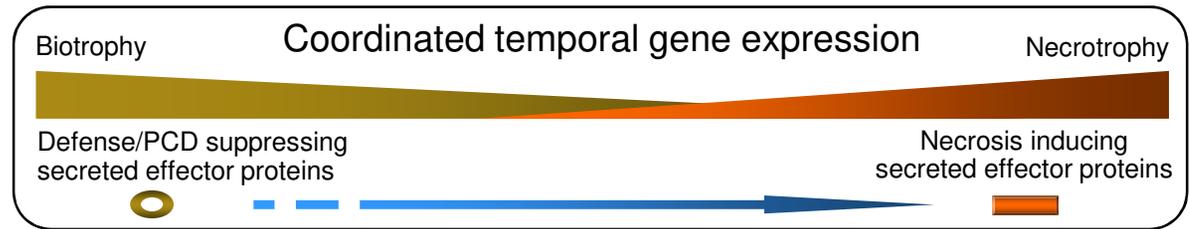
*Hyaloperonospora arabidopsidis*  
es un oomiceto biotrófico que  
infecta *Arabidopsis*



Haustorio: permanecen fuera de la membrana plasmática de la planta. Están especializados para el intercambio de nutrientes y señales

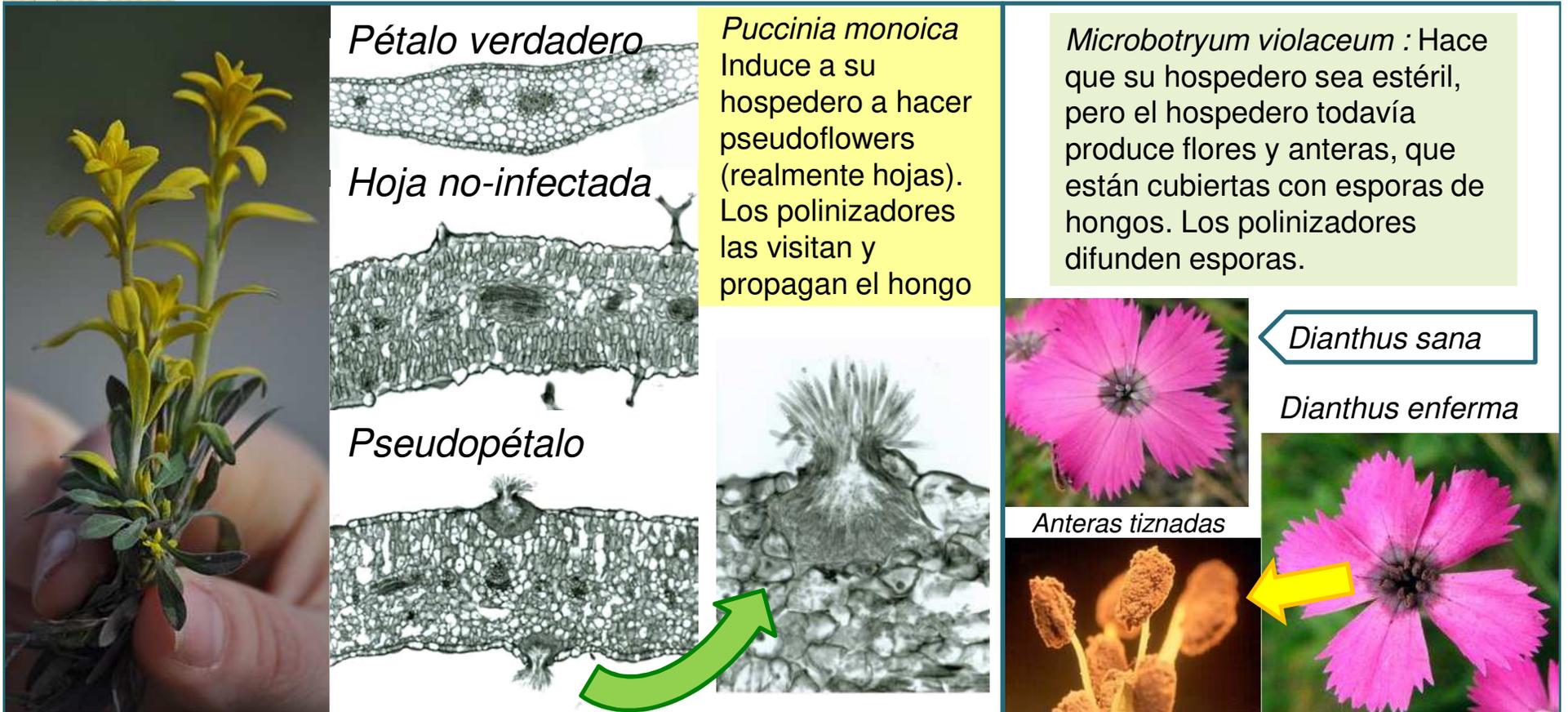
Algunos patógenos cambian de biotrofia a necrotrofia.

*Phytophthora infestans* produce inicialmente efectores que suprimen las respuestas de defensa de las plantas, pero posteriormente produce efectores inductores de necrosis



Lee, S.-J. and Rose, J.K.C. (2010). Mediation of the transition from biotrophy to necrotrophy in hemibiotrophic plant pathogens by secreted effector proteins. *Plant Signal. Behavior.* 5: 769-772, reproduced with permission.

# Mimetismo fúngico- *Puccinia monoica* y *Microbotryum violaceum*



*Pétalo verdadero*

*Hoja no-infectada*

*Pseudopétalo*

*Puccinia monoica*  
Induce a su hospedero a hacer pseudoflowers (realmente hojas). Los polinizadores las visitan y propagan el hongo

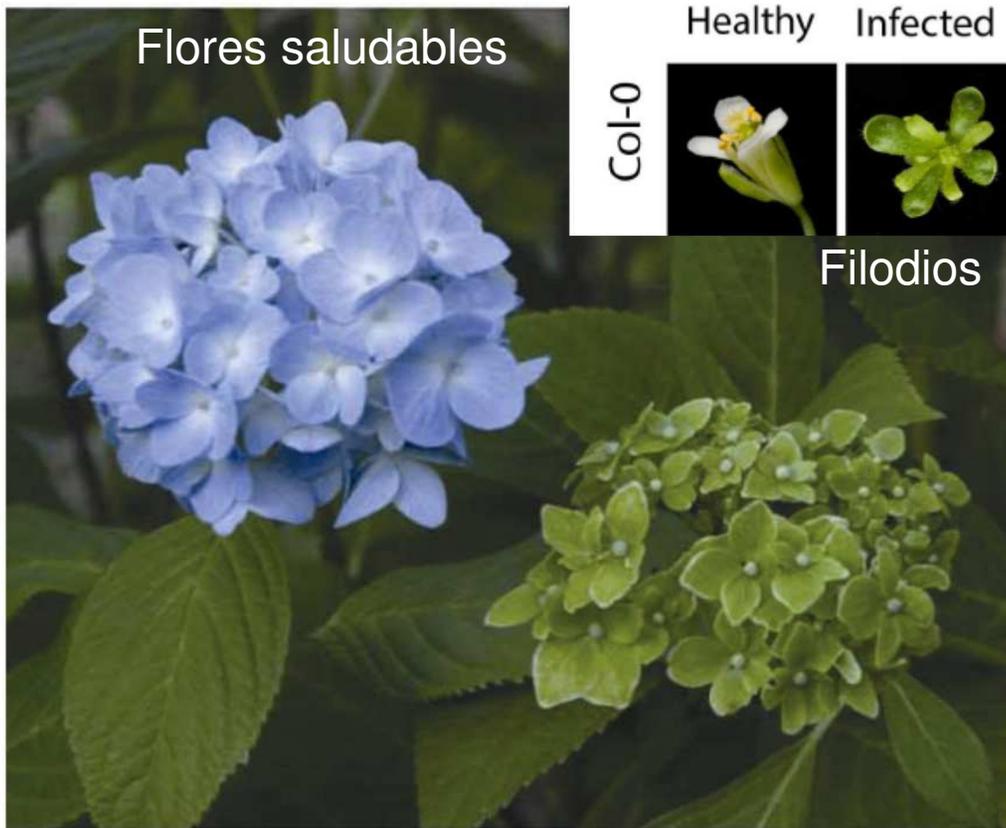
*Microbotryum violaceum* : Hace que su hospedero sea estéril, pero el hospedero todavía produce flores y anteras, que están cubiertas con esporas de hongos. Los polinizadores difunden esporas.

*Dianthus sana*

*Dianthus enferma*

*Anteras tiznadas*

# *Phytoplasmas* (bacteria) también induce Anomalías del desarrollo



La infección con *Phytoplasma* puede inducir la formación de tejidos similares a las hojas en lugar de flores: filodios

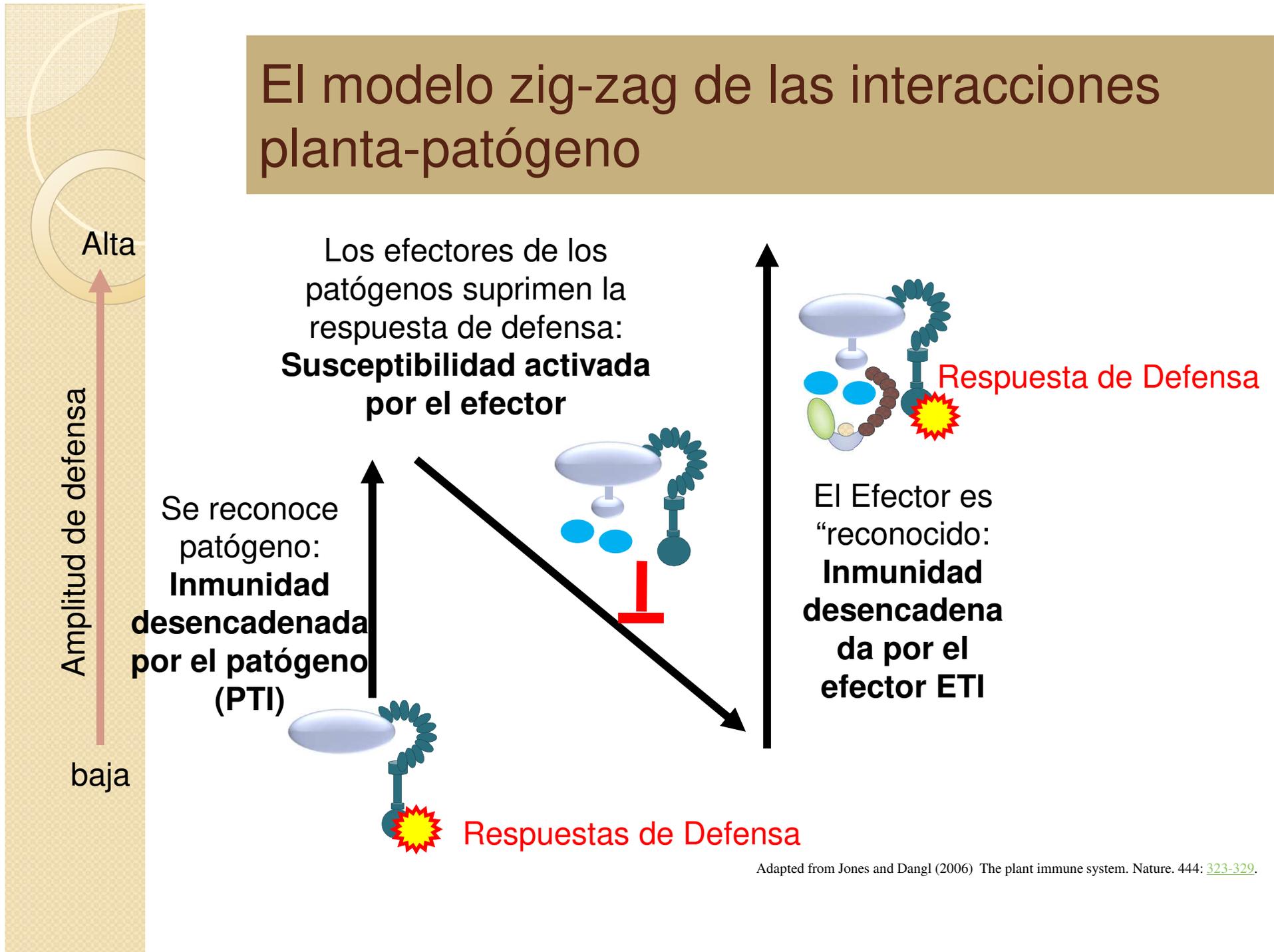
Oshima, K., Maejima, K. and Namba, S. (2013). Genomic and evolutionary aspects of phytoplasmas. *Frontiers Microbiol.* 4: [230](#). MacLean, A.M., Orlovskis, Z., Kowitzanich, K., Zdziarska, A.M., Angenent, G.C., Immink, R.G.H. and Hogenhout, S.A. (2014). Phytoplasma Effector SAP54 Hijacks Plant Reproduction by Degrading MADS-box Proteins and Promotes Insect Colonization in a RAD23-Dependent Manner. *PLoS Biol.* 12: [e1001835](#); Hoshi, A., Oshima, K., Kakizawa, S., Ishii, Y., Ozeki, J., Hashimoto, M., Komatsu, K., Kagiwada, S., Yamaji, Y. and Namba, S. (2009). A unique virulence factor for proliferation and dwarfism in plants identified from a phytopathogenic bacterium. *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 106: [6416-6421](#), with permission from S. Namba.

# Respuestas inmunes de las plantas

Las plantas resisten a los patógenos a través de procesos activos que incluyen el reconocimiento del patógeno y respuestas de defensa para combatirlo.



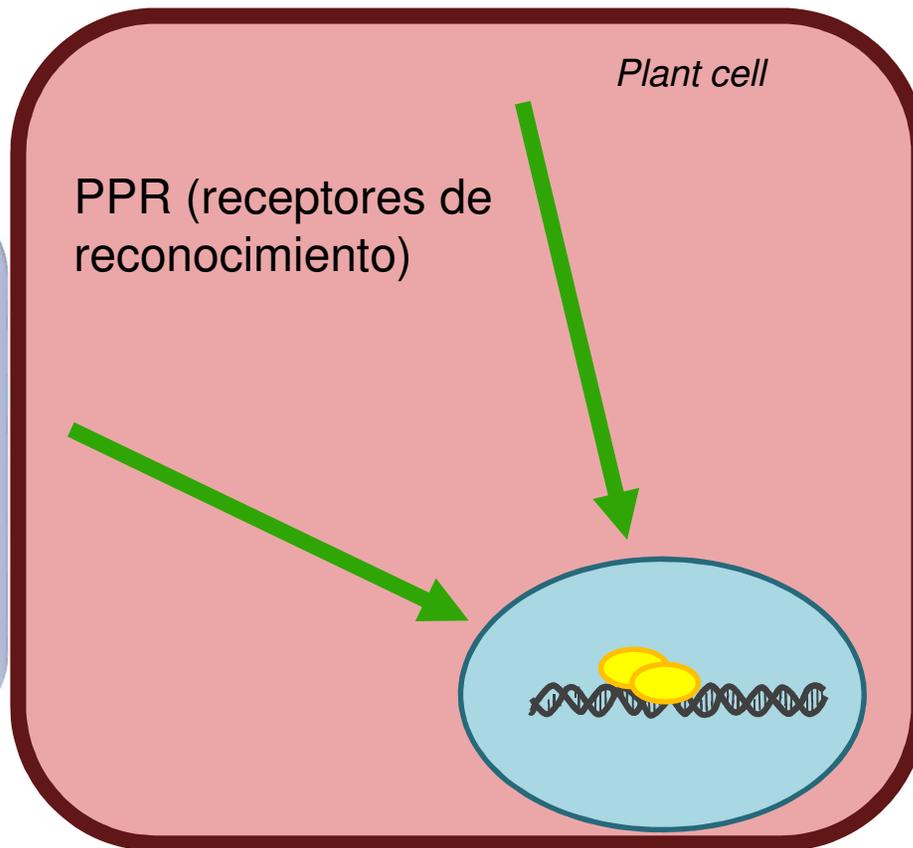
# El modelo zig-zag de las interacciones planta-patógeno



# Las plantas responden a patógenos con cambios transcripcionales a gran escala



quitina  
*Fungal or oomycete pathogen*

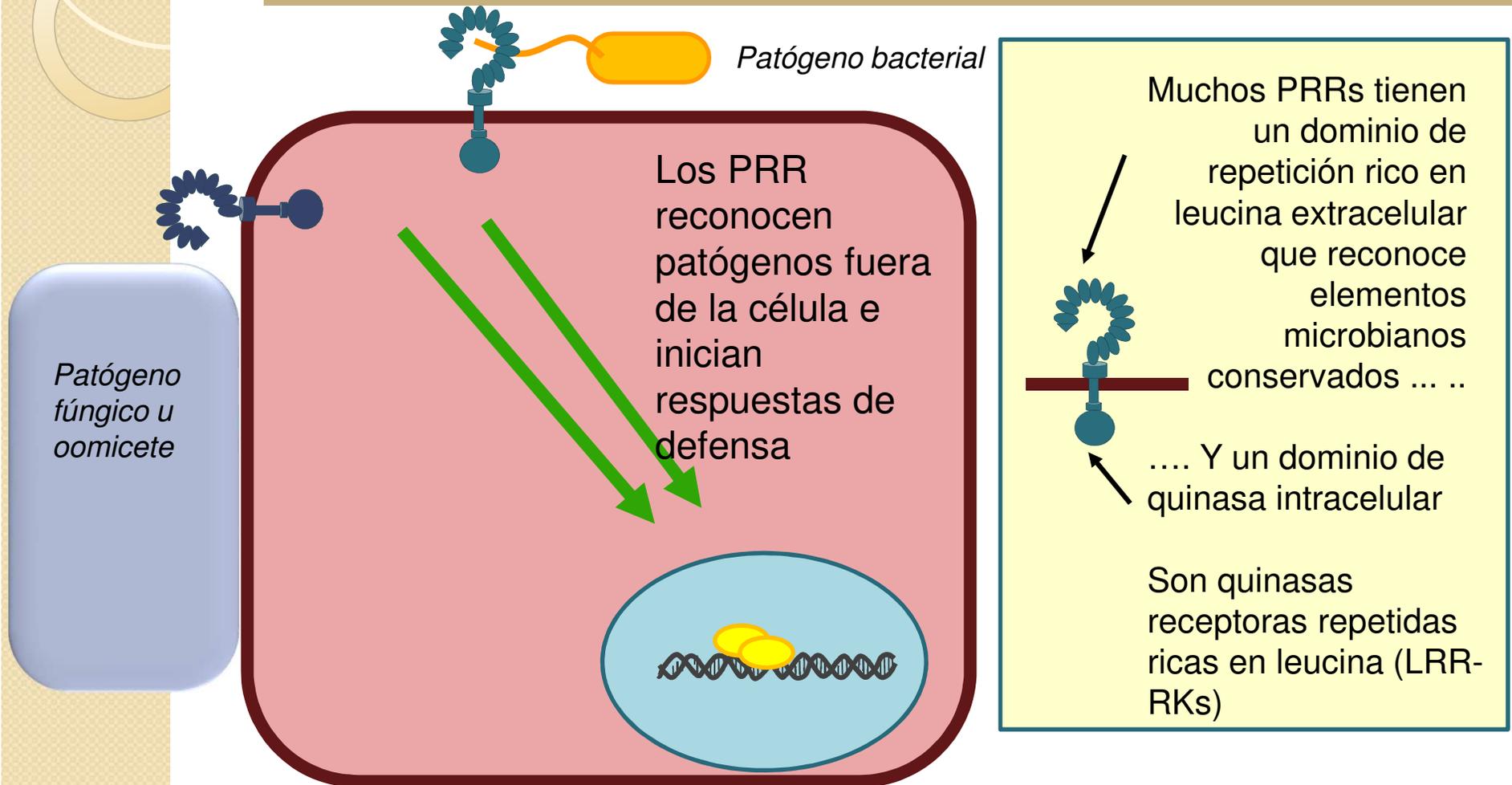


## Las respuestas de la defensa incluyen:

- Aumento de la síntesis de las hormonas del estrés
- Aumento de la regulación de los genes relacionados con la patogénesis (PR)
- Síntesis de compuestos antimicrobianos incluyendo fitoalexinas
- Producción de calosa

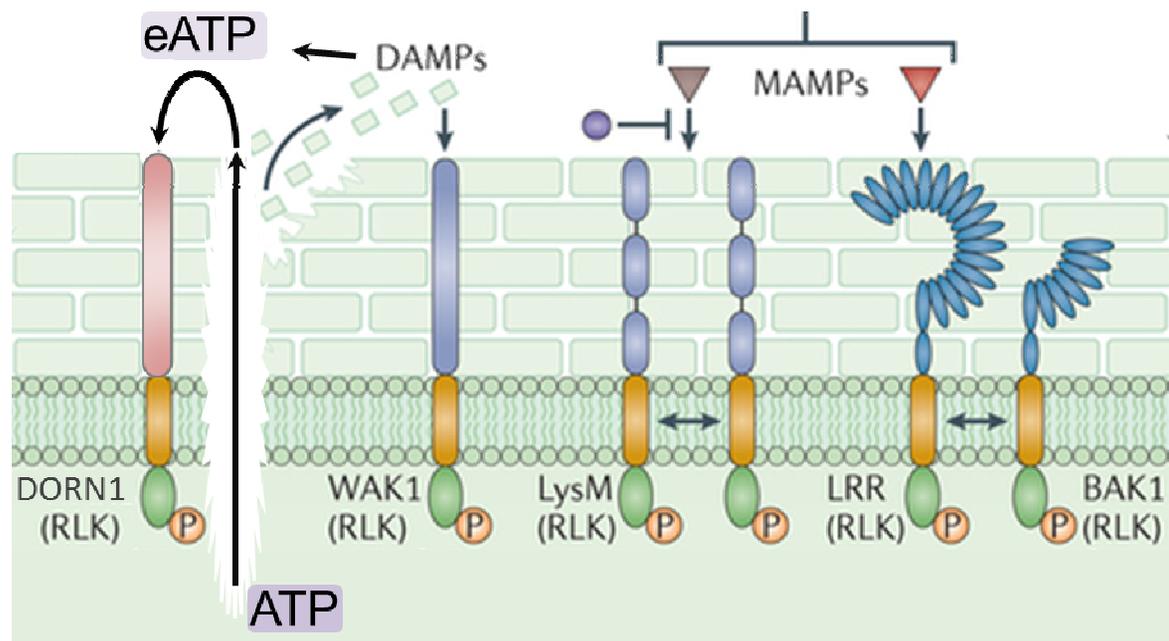
¿Cómo se reconocen los patógenos?

## Receptores de reconocimiento de patrones (PRRs)



# Las plantas también responden a su propio daño celular, a través de receptores DAMPs

- WAK1 es un receptor que reconoce fragmentos de pared celular (DAMPs)r.
- DORN1 es un receptor que responde al ATP extracelular, que puede ser un signo de daño celular



Adapted from Wirthmueller, L., Maqbool, A. and Banfield, M.J. (2013). On the front line: structural insights into plant-pathogen interactions. *Nat. Rev. Micro.* 11: 761-776. See also Heil, M., Land, W.G. (2014). Danger signals – damaged-self recognition across the tree of life. *Front. Plant Sci.* 5: 578 and Tanaka, K., Choi, J., Cao, Y. and Stacey, G. (2014). Extracellular ATP acts as a damage associated molecular pattern (DAMP) signal in plants. *Front. Plant Sci.* 5: 446.

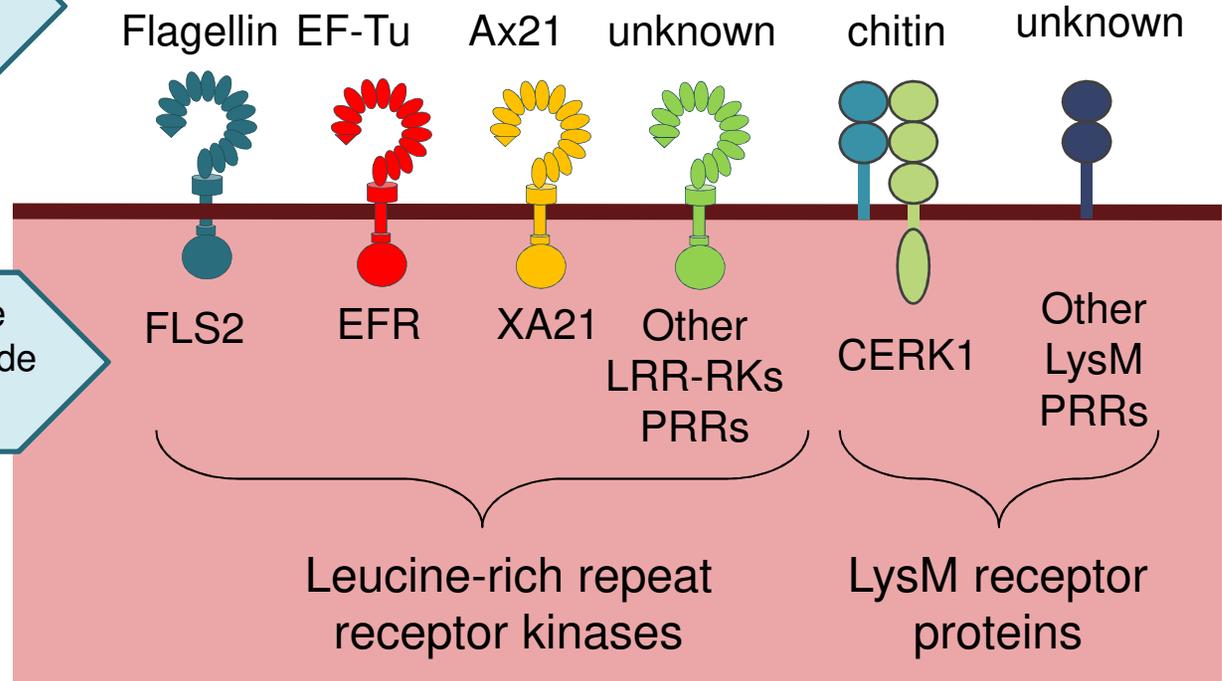
# PRRs reconoce PAMPs (Patrones moleculares asociados a patógenos)

## PAMPS

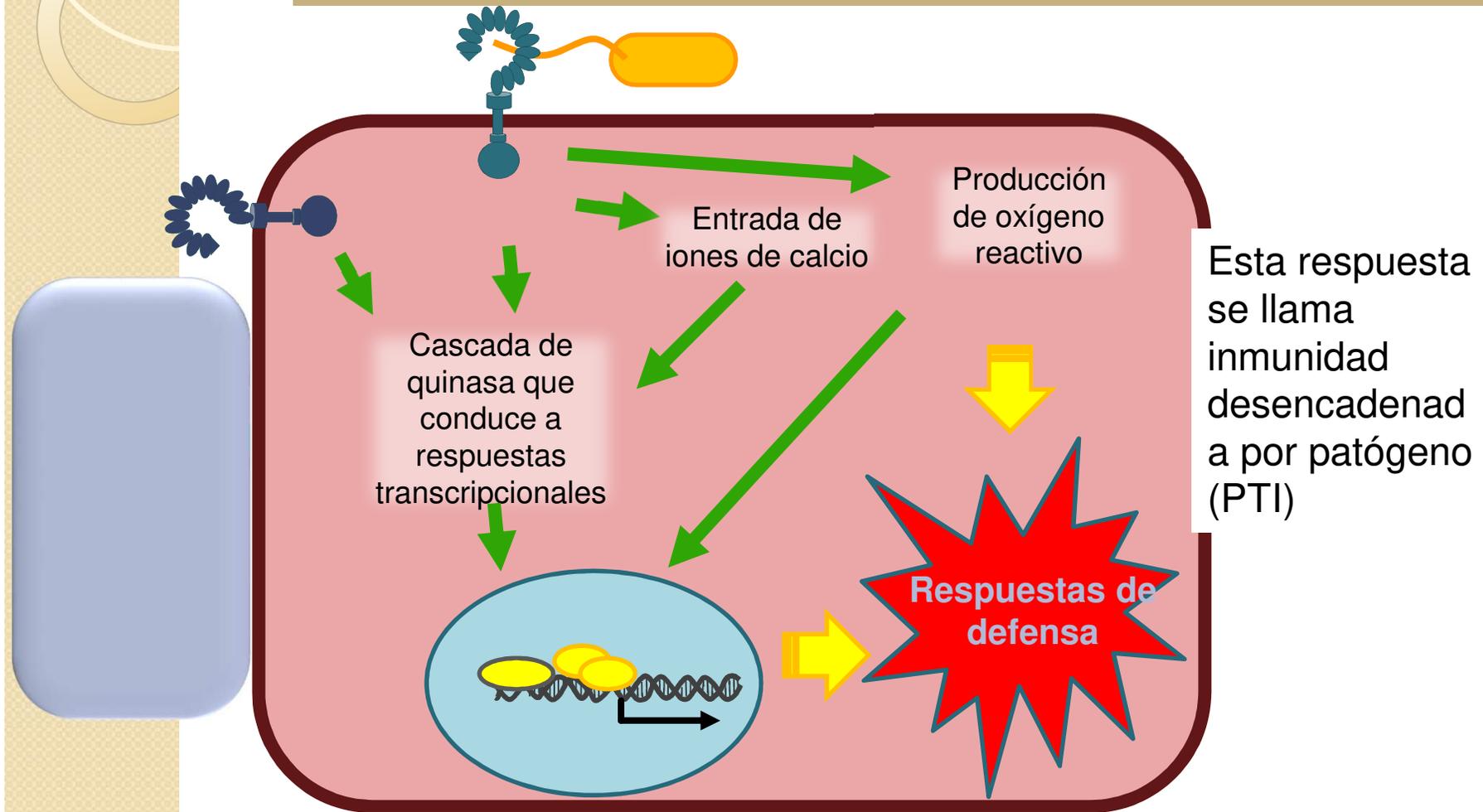
Los patrones moleculares asociados a patógenos (PAMPS) también conocidos como patrones moleculares asociados a microbios (MAMPS)

Receptores de reconocimiento de patrón (PRRs)

Sólo unos pocos PRR / PAMP han sido indentificados



# El reconocimiento de patógenos desencadena respuestas de defensa



## Diapositiva 70

---

**HM5**

could add phosphatidic acid production, also extracellular alkalization (rapid change in H<sup>+</sup> gradient), membrane potential depolarization, ion fluxes - summarized in Wu 2014)

Herman, Maryann, 12/23/2014

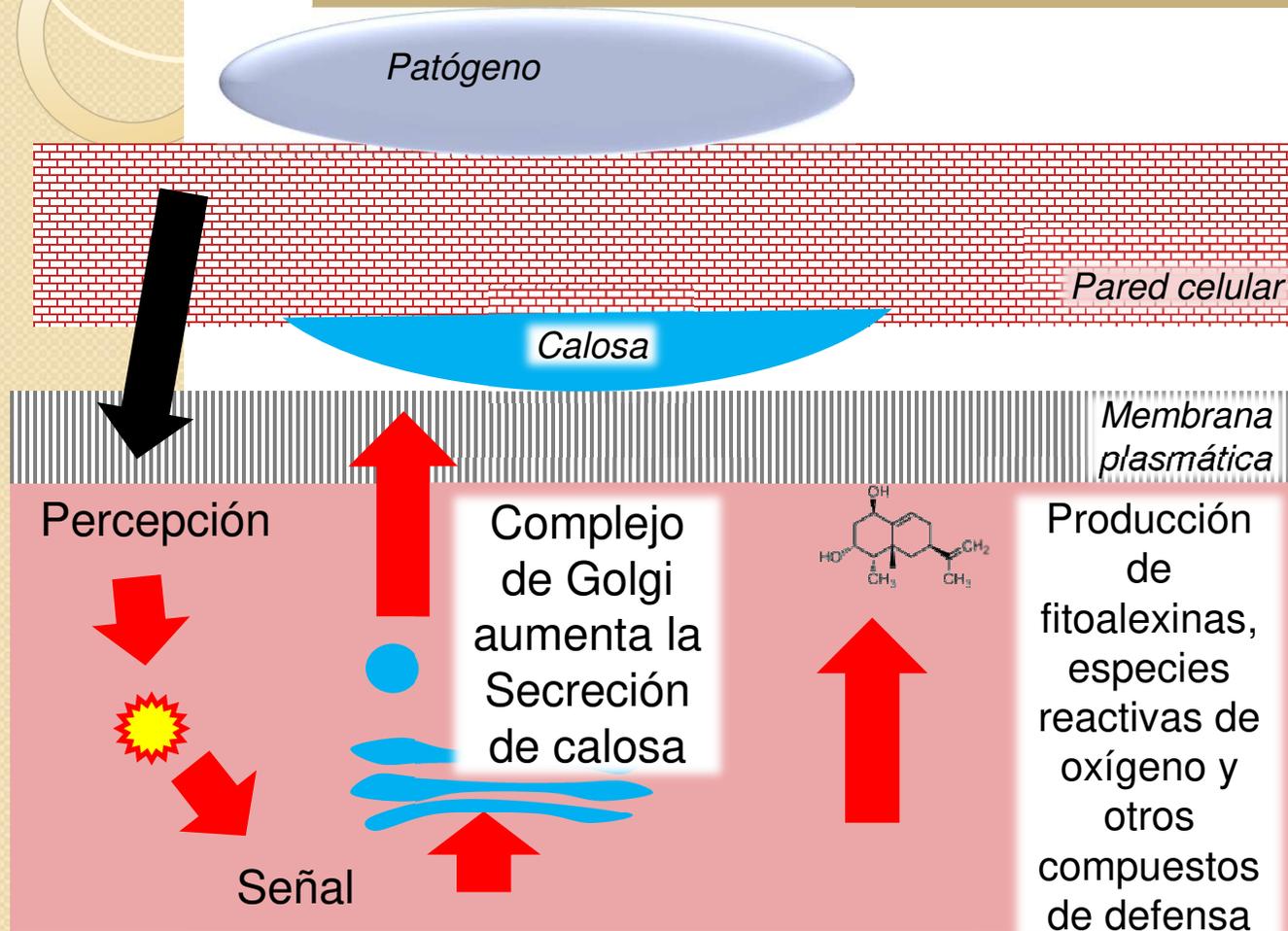
# Las fitoalexinas y las fitoanticipinas son defensas químicas

Los compuestos antimicrobianos ayudan a prevenir los patógenos; Pueden ser realizadas (fitoanticipinas) o inducidas (fitoalexinas)

Las fitoanticipinas y las fitoalexinas son metabolitos secundarios, y pueden ser muy variables entre las especies

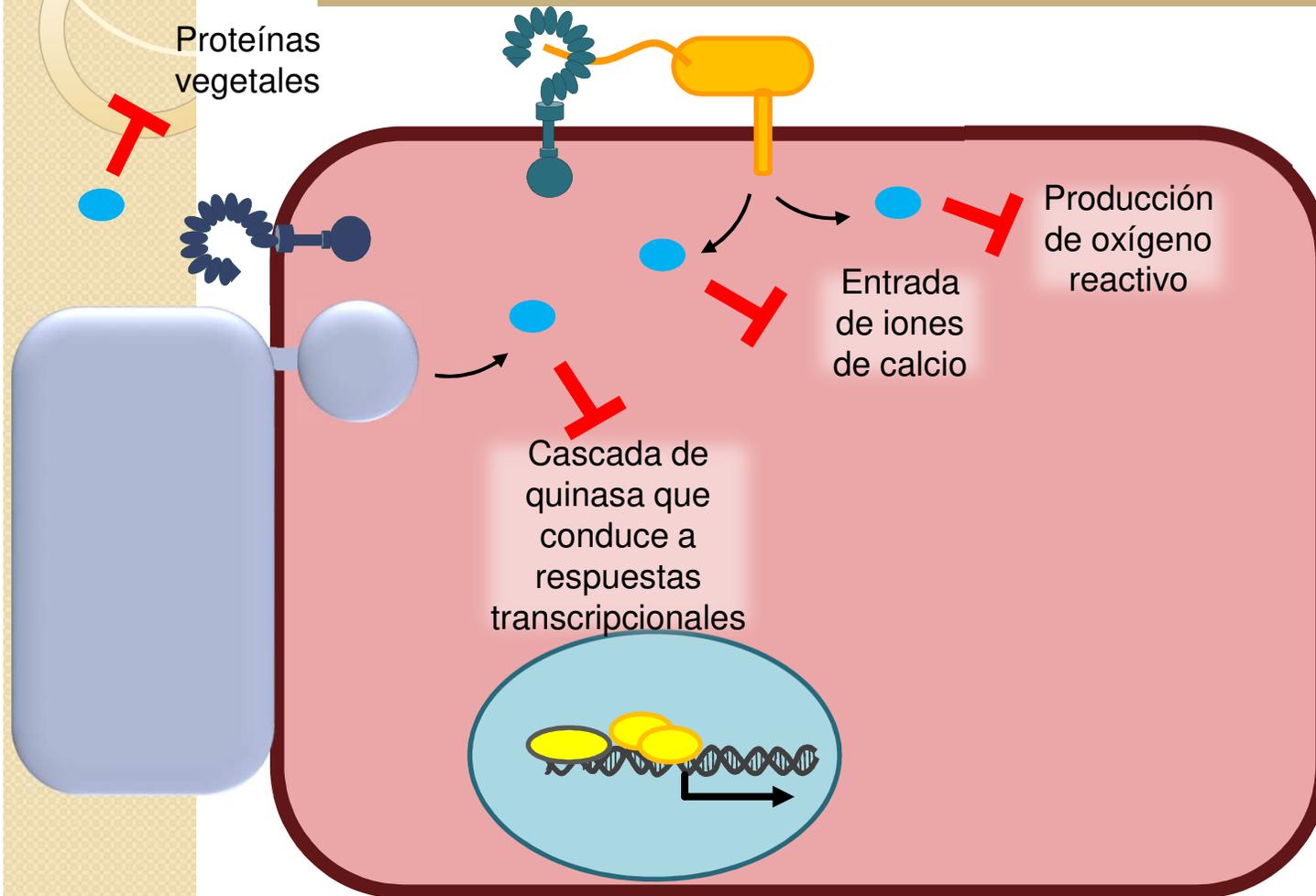
Alterar la producción de fitoalexina en las plantas puede contribuir a su defensa, elevar la calidad nutricional de algunos alimentos y proporcionar una fuente de medicamentos para el hombre

# Calosa, ROS y fitoalexinas puede detener el ataque de patógenos



Mellersh, D.G. and Heath, M.C. (2001). Plasma membrane - cell wall adhesion is required for expression of plant defense responses during fungal penetration. *Plant Cell*. 13: [413-424](#).

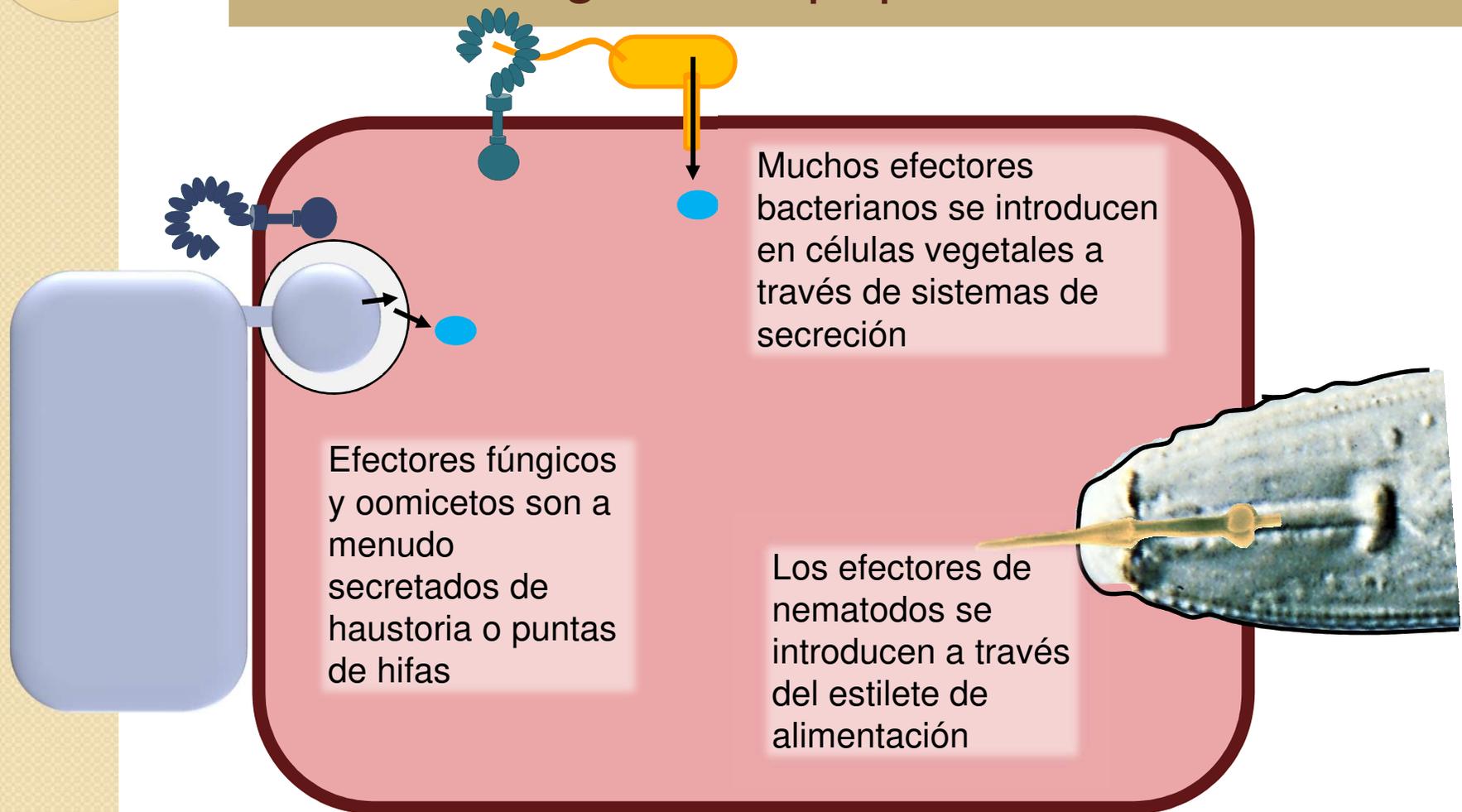
# Los patógenos producen efectores que aumentan su virulencia



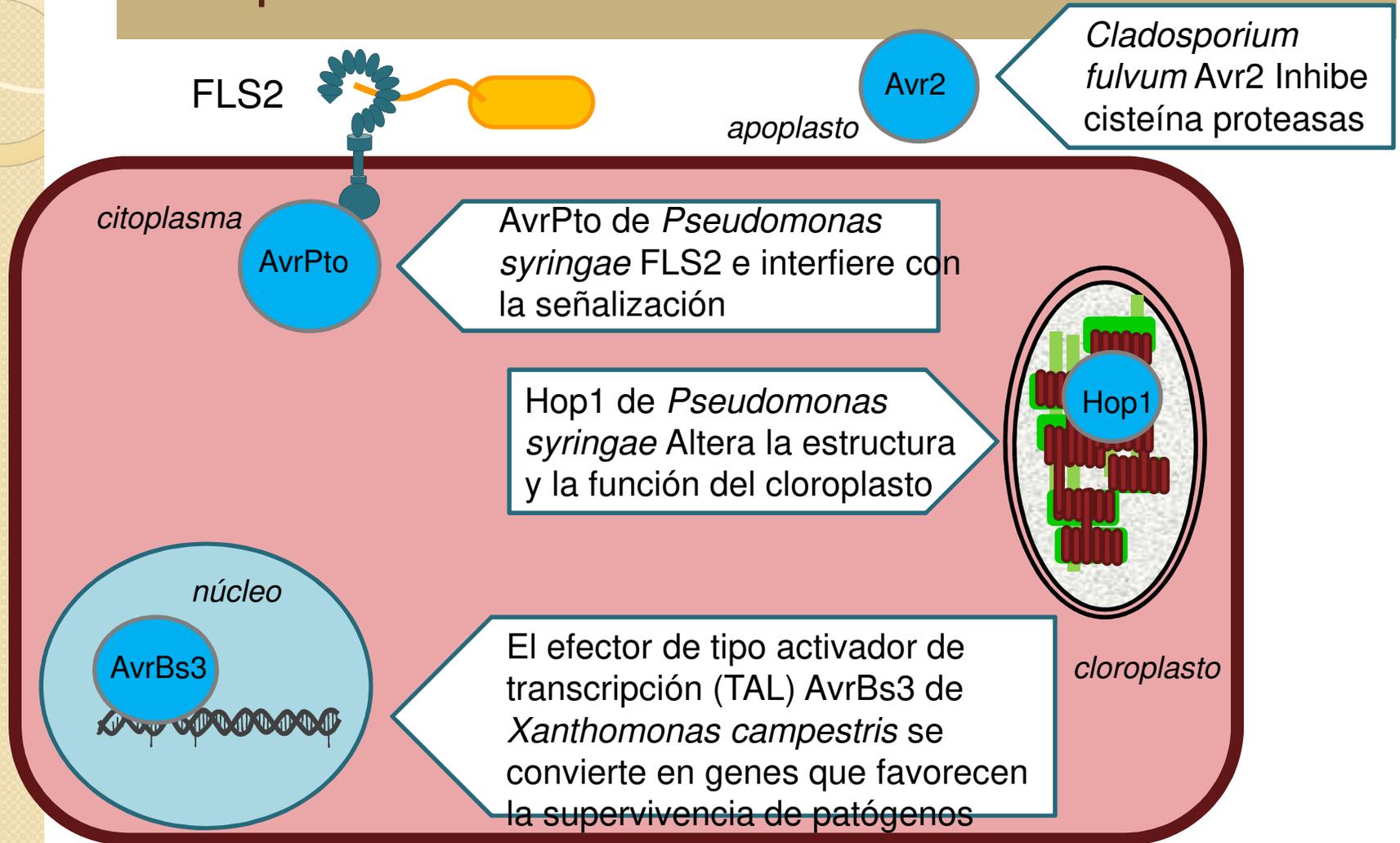
Los efectores microbianos suprimen la respuesta inmune de la planta y / o contribuyen a la viabilidad del patógeno

# Los patógenos producen efectores que aumentan su virulencia

Los efectores actúan fuera del patógeno, en la célula vegetal o apoplasto



# Los efectores actúan en muchos compartimentos celulares



# Los patógenos eficaces muestran una alta tasa de innovación de efectores

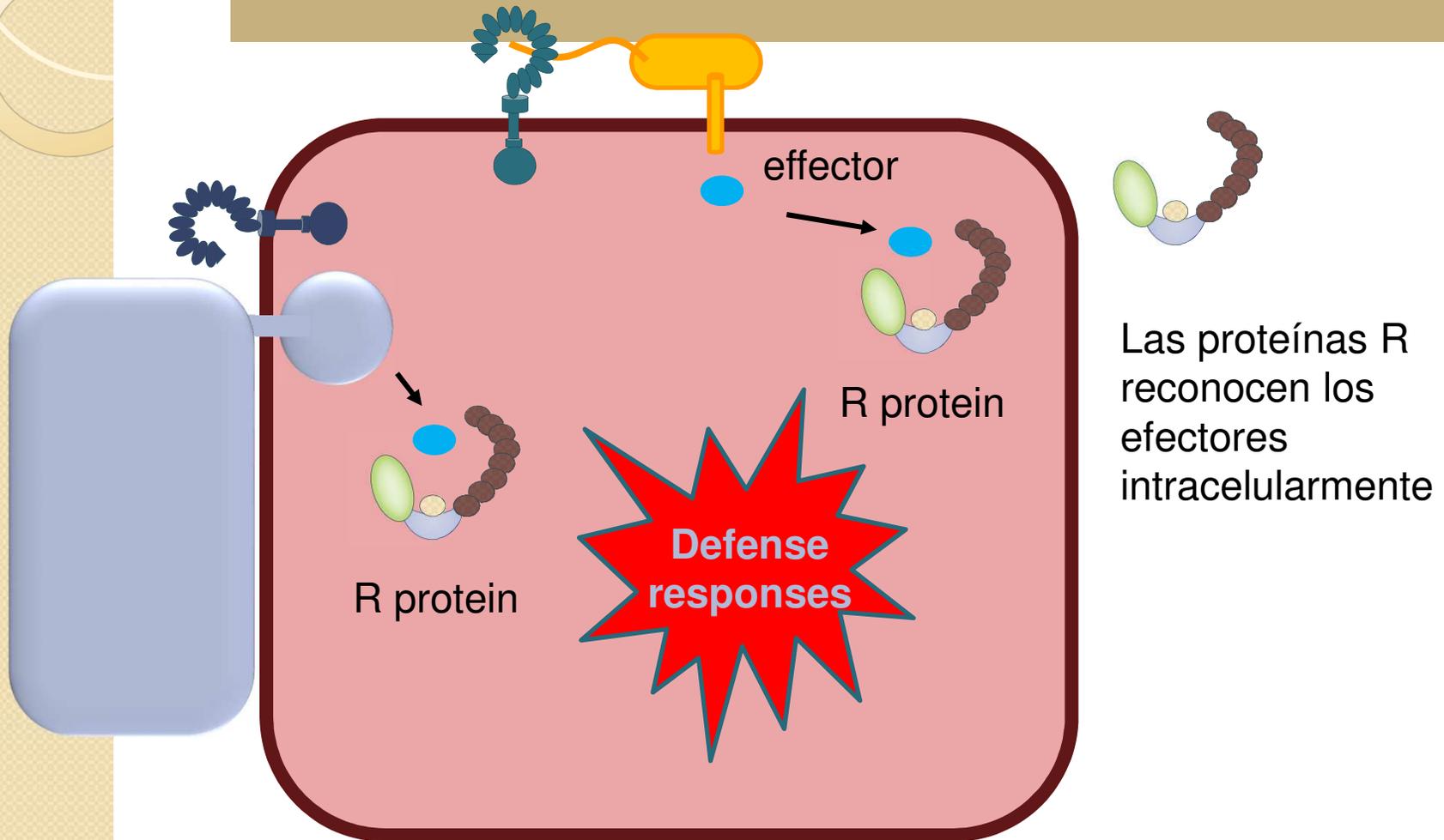
¿Por qué *Phytophthora infestans* es un patógeno tan eficaz?

Su genoma es muy grande y lleno de duplicaciones y elementos repetitivos,

Los efectores se encuentran en regiones ricas en genes y transposones que generan combinaciones y diversidad

*Estas innovaciones son verdaderas armas, que conducen a una mayor patogenicidad*

# Proteínas de resistencia - receptores inmunes intracelulares

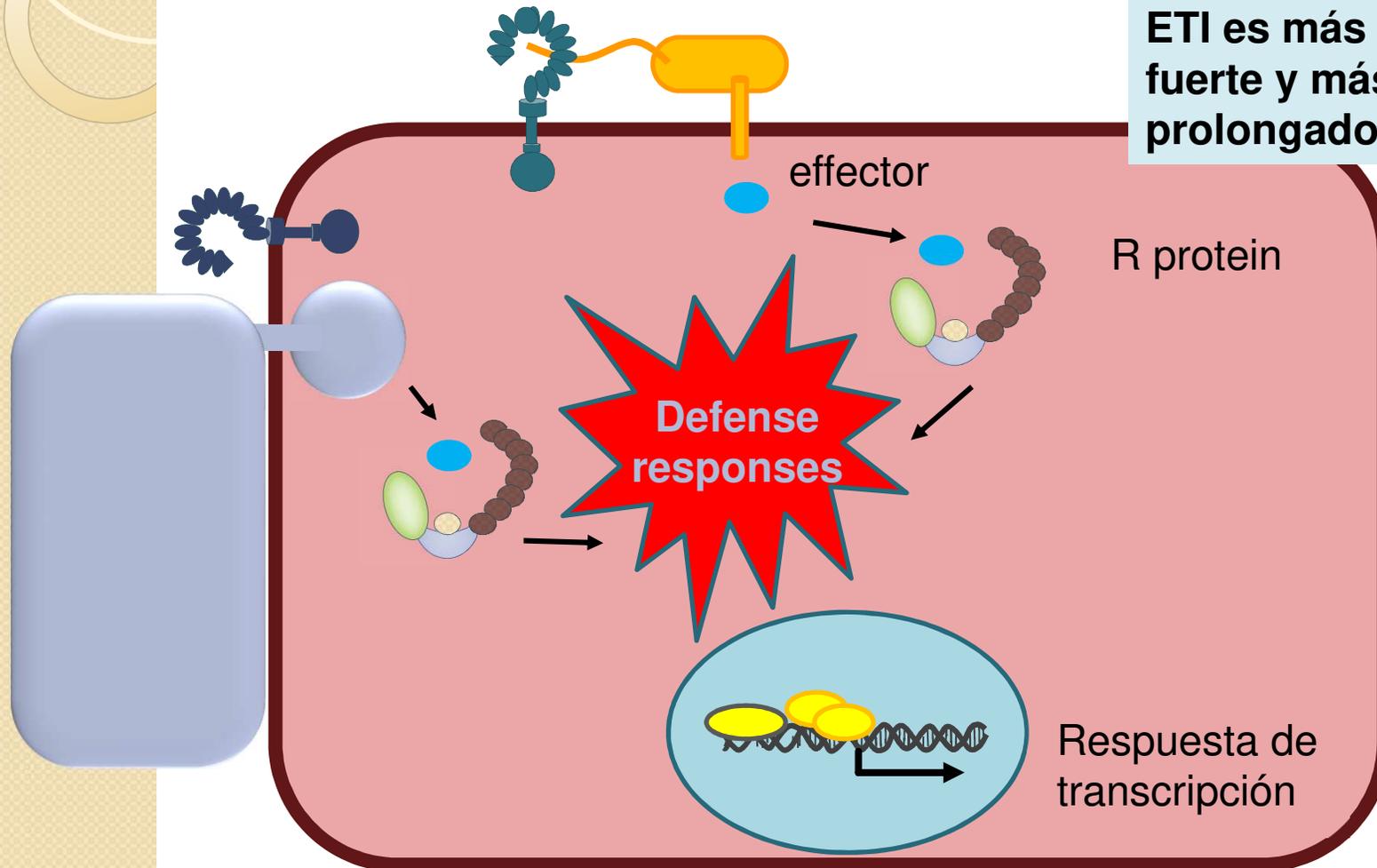


Las proteínas R reconocen los efectores intracelularmente

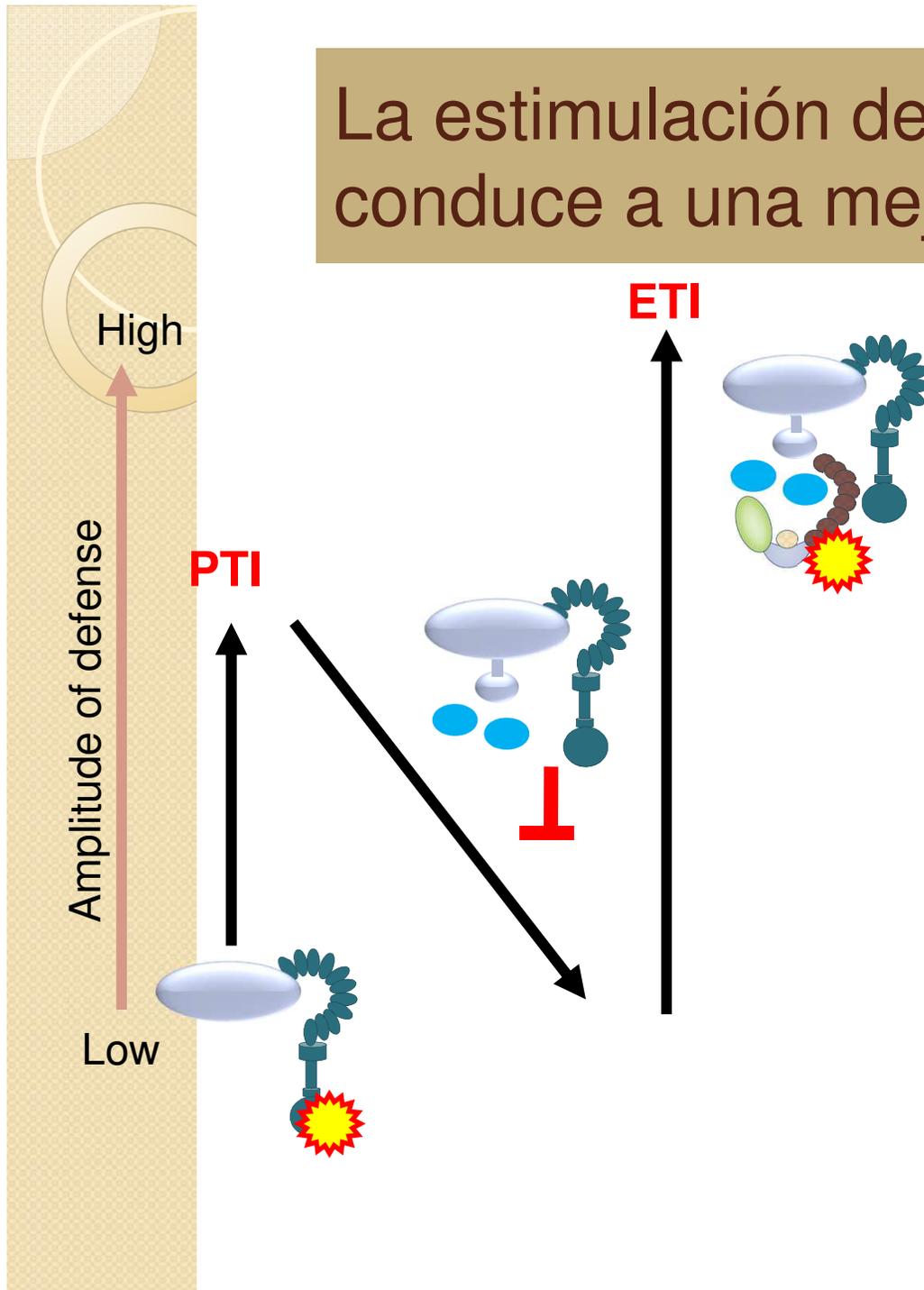
Las proteínas R son receptores inmunes intracelulares

# La activación de la proteína R inicia un segundo mecanismo de defensa: ETI

**ETI es más rápido, más fuerte y más prolongado que el PTI**



# La estimulación de las proteínas R conduce a una mejor defensa: ETI



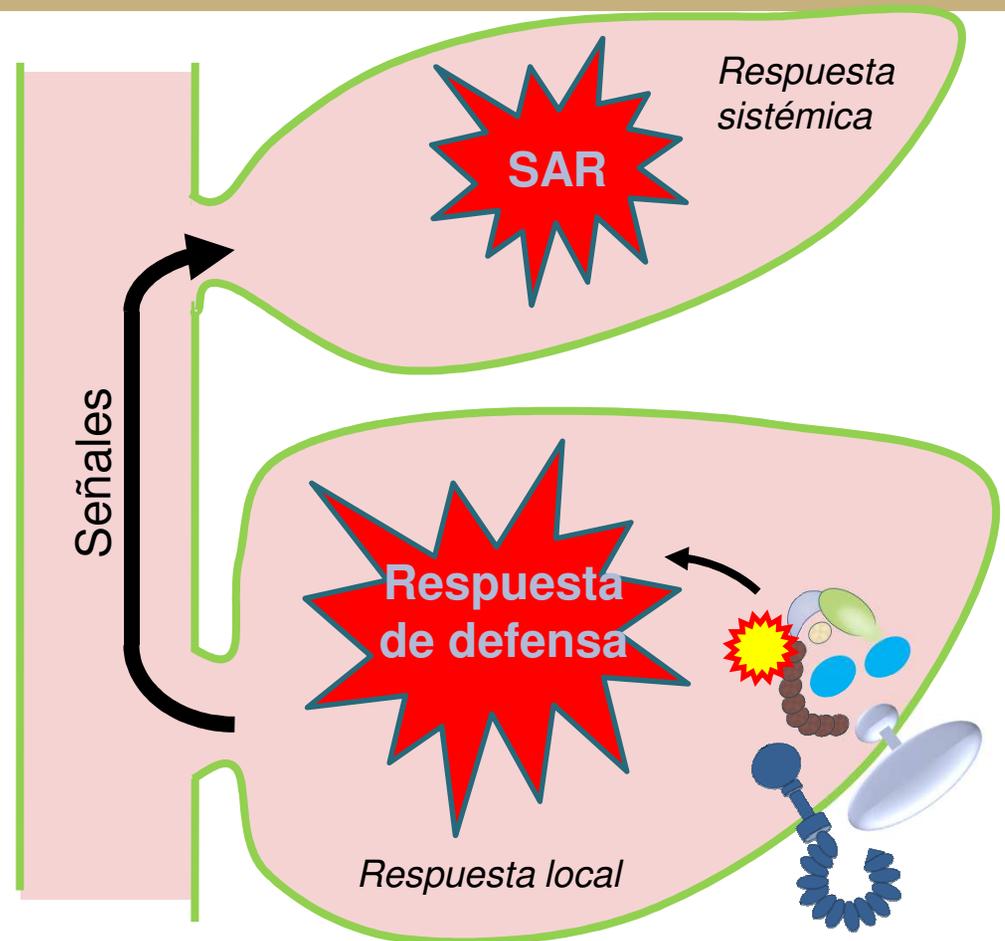
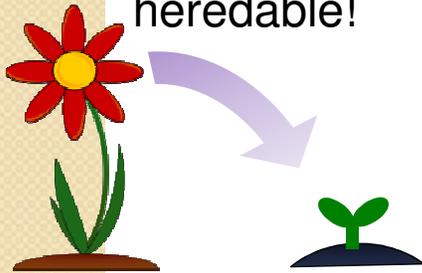
**Las proteínas R activadas señalan peligro y provocan una respuesta de defensa elevada que incluye:**

- Producción de la hormona del estrés ácido salicílico (SA)
- Producción de especies reactivas de oxígeno (ROS)
- La respuesta de muerte celular hipersensible (HR)
- Expresión de las proteínas relacionadas con la patogénesis (PR)
- Señales sistémicas y resistencia adquirida sistémica (SAR)

# La resistencia adquirida sistémica (SAR) implica una señal móvil

Los tejidos no infectados muestran una resistencia mejorada a la exposición posterior a patógenos. La naturaleza de las señales móviles aún se están debatiendo ...

¡En algunos casos, la resistencia aumentada es heredable!



See Fu, Z.Q., Dong, X. (2013). Systemic acquired resistance: turning local infection into global defense. *Annu. Rev. Plant Biol.* 64: [839-863](#) and Gozzo, F., and Faoro, F. (2013). Systemic acquired resistance (50 years after discovery): moving from the lab to the field. *J. Agricult. Food Chem.* 61: [12473-12491](#).

# Respuestas de las plantas a patógenos necrotróficos

Existen pocos genes R conocidos que confieran resistencia a los patógenos necrotróficos, por lo que la resistencia a los necrotróficos es más difícil que a los biotróficos



Pudrición bacteriana  
(*Pectobacterium carotovorum*)



*Pythium* (oomycete)  
en pepino



*Plantas de Arabidopsis infectadas con el hongo Botrytis cinerea*

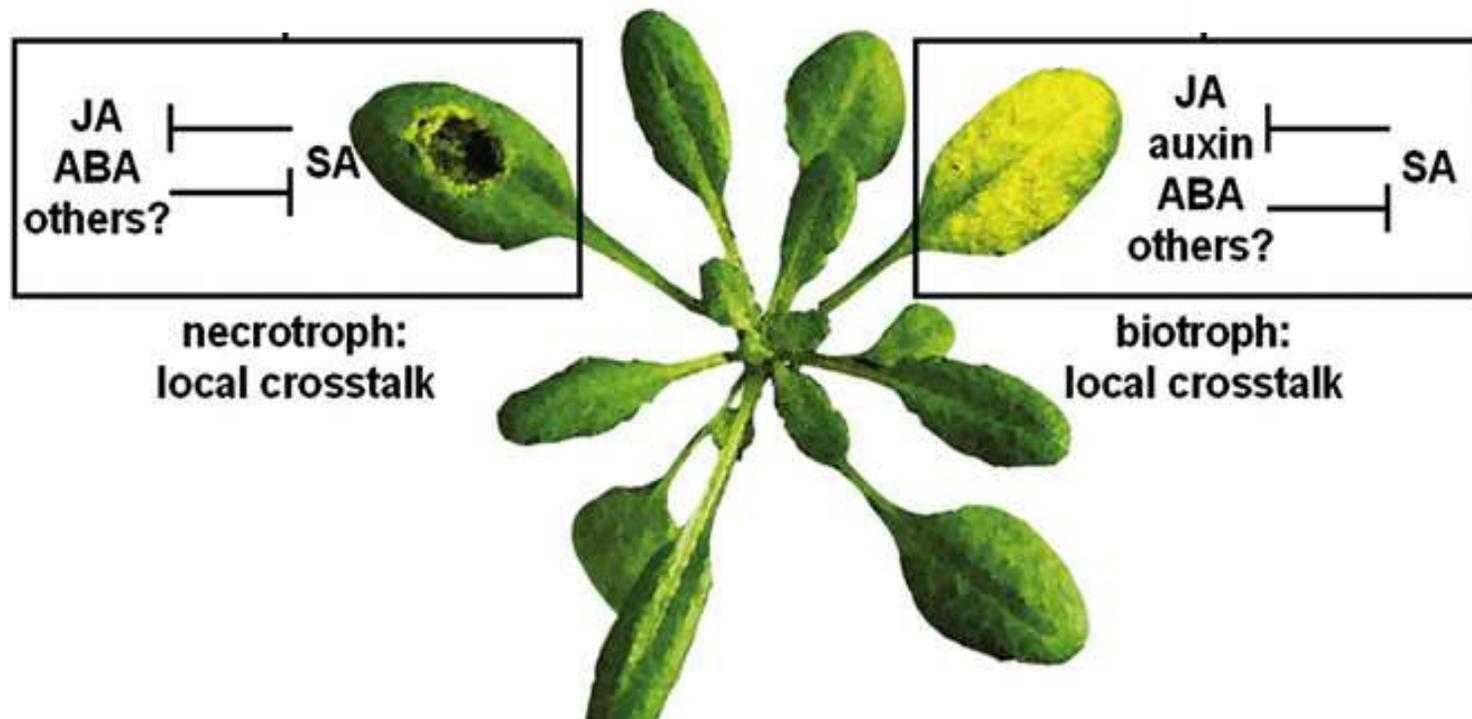
Photo credits: [Florida Division of Plant Industry Archive](#), Florida Department of Agriculture and Consumer Services, [David B. Langston](#), University of Georgia, Bugwood.org; [Gary Loake](#)

## Los necrotróficos pueden tener una gama de huéspedes muy variada

Los necrotróficos no específicos producen enzimas degradantes de la pared celular (CWDE), necrosis y proteínas que inducen etileno (NEPs), y también pueden suprimir la respuesta inmune de la planta

Los necrotróficos específicos producen toxinas específicas necesarias para su patogenicidad.

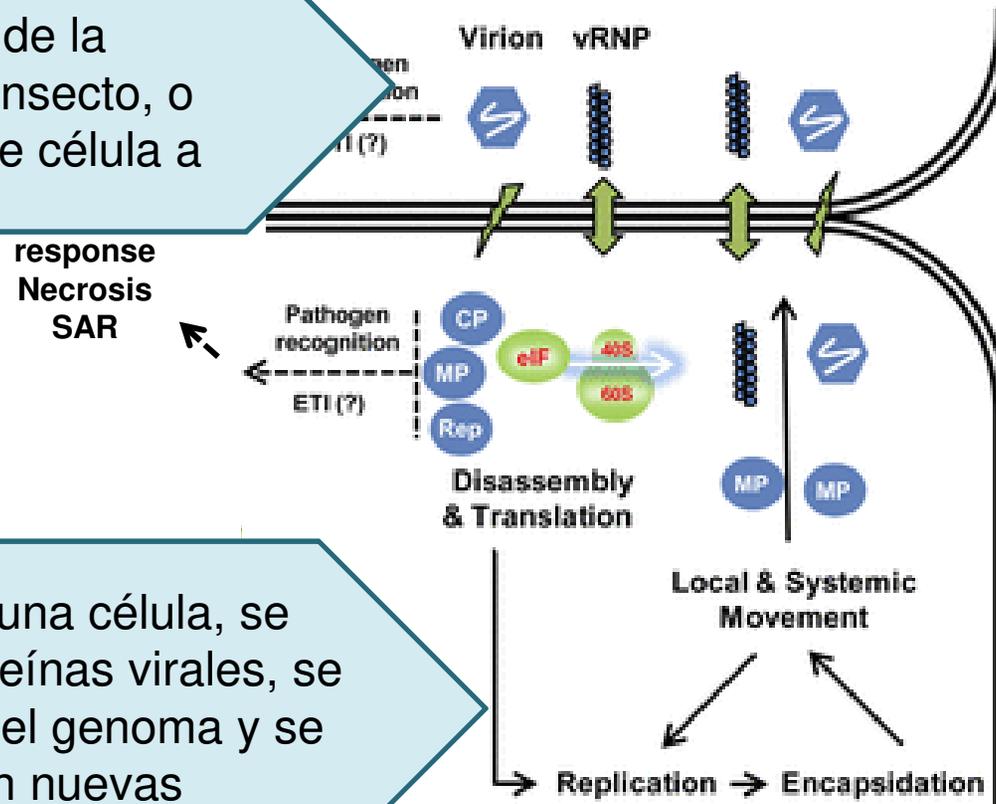
## Las vías de defensa se cruzan con otras vías de señalización



Las respuestas de la defensa reducen la tasa de crecimiento. El estrés por sequía y la acumulación de ácido abscísico (ABA) suprimen las respuestas a los patógenos

# Los virus pueden desencadenar respuestas inmunitarias similares a las de otros patógenos

Los virus entran en una célula a través de la herida, por un insecto, o transferencia de célula a célula

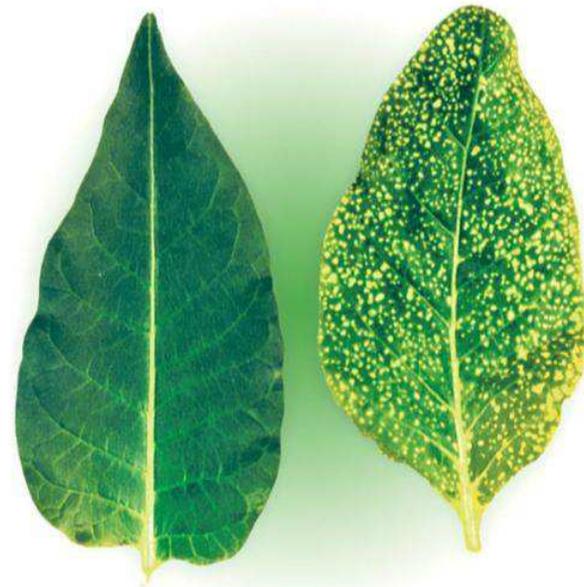


Los componentes virales pueden desencadenar respuestas inmunes a través de PRRs así como proteínas R, dando lugar a la muerte celular y la inmunidad sistémica

Dentro de una célula, se hacen proteínas virales, se reproduce el genoma y se encapsulan nuevas partículas virales

Las respuestas de las plantas a los virus están mediadas en gran medida por silenciamiento de ARN

respuesta  
hipersensible para  
matar las células  
infectadas

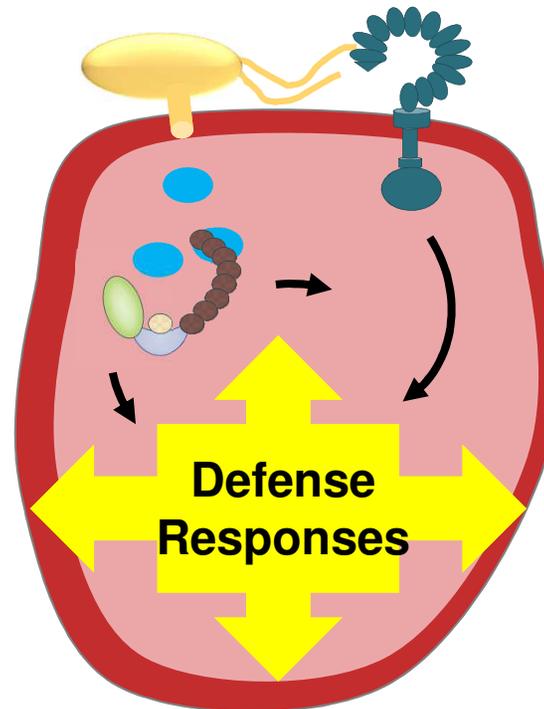
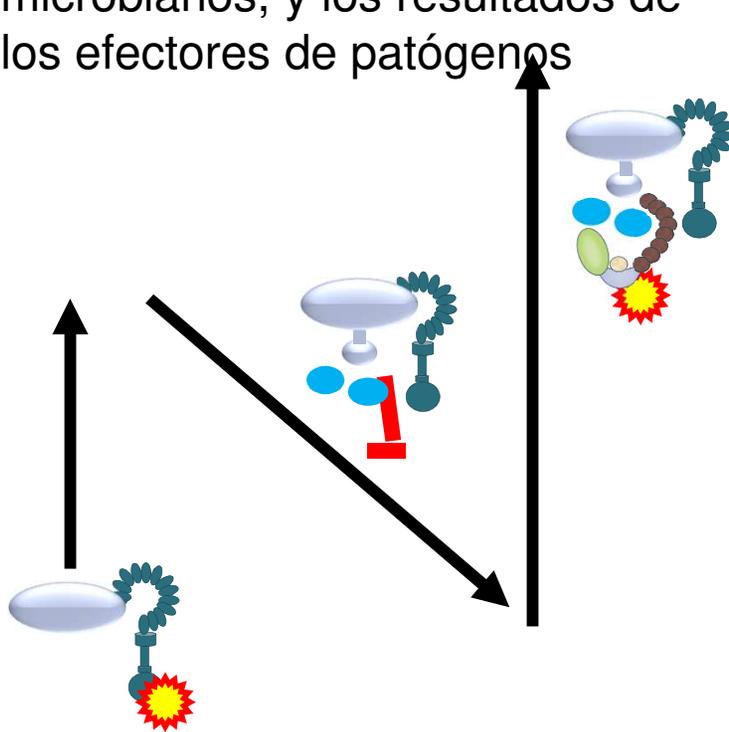


Waterhouse, P.M. and Fusaro, A.F. (2006). Viruses face a double defense by plant small RNAs. *Science*. 313: [54-55](#); Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd Lam, E. (2004) Controlled cell death, plant survival and development. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 5: [305 – 315](#).

# Resumen - Respuestas inmunes a las plantas

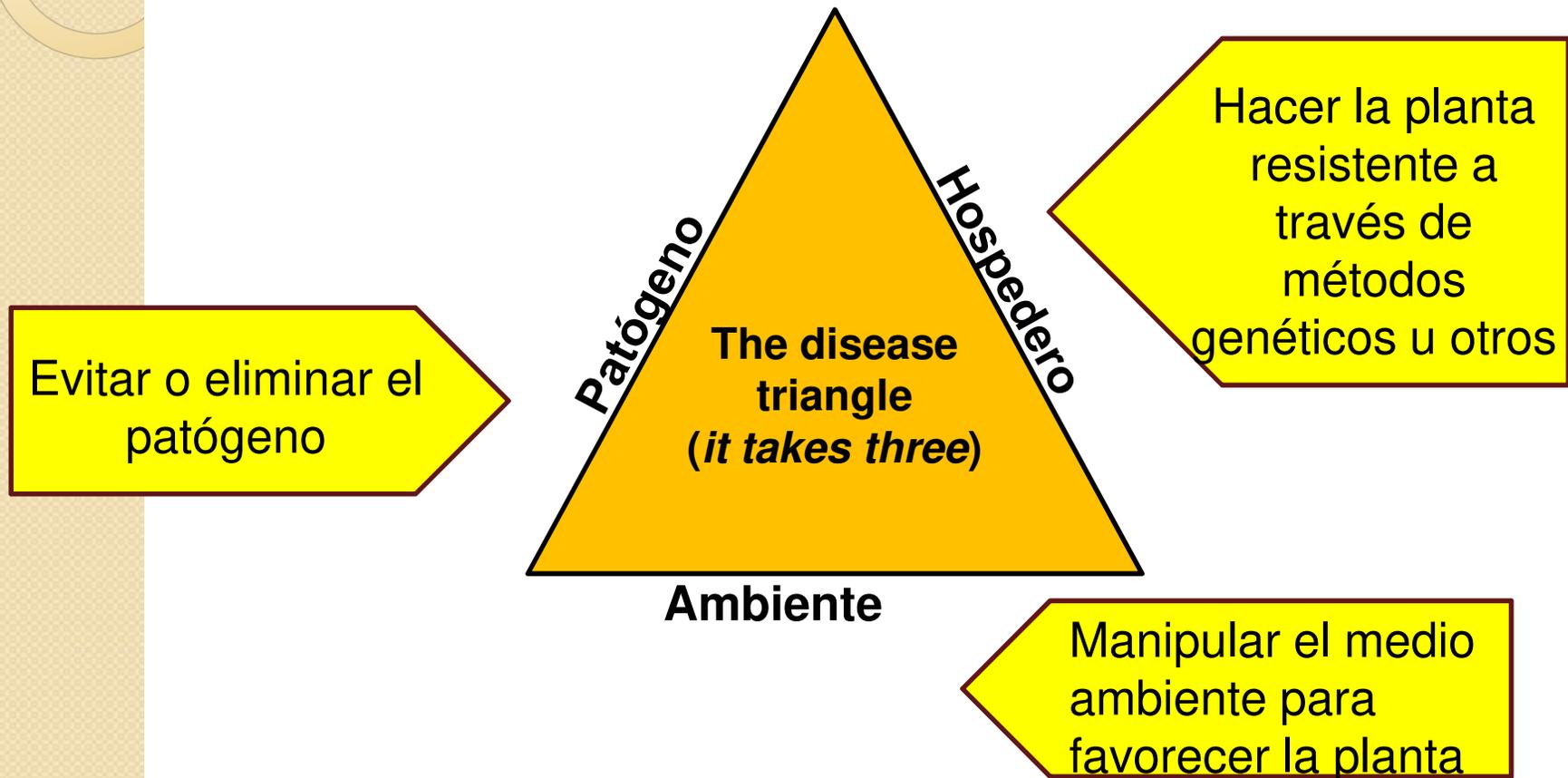
**Las plantas tienen fuertes y vigorosas respuestas inmunes**

Las plantas reconocen patrones microbianos, y los resultados de los efectores de patógenos



Las respuestas de defensa incluyen la producción de compuestos antimicrobianos, la respuesta hipersensible y la resistencia adquirida sistémica

# Estrategias para prevenir y manejar la enfermedad





La mejor manera de prevenir  
la enfermedad es mantener  
alejados los patógenos



¿Cómo alejar los patógenos?

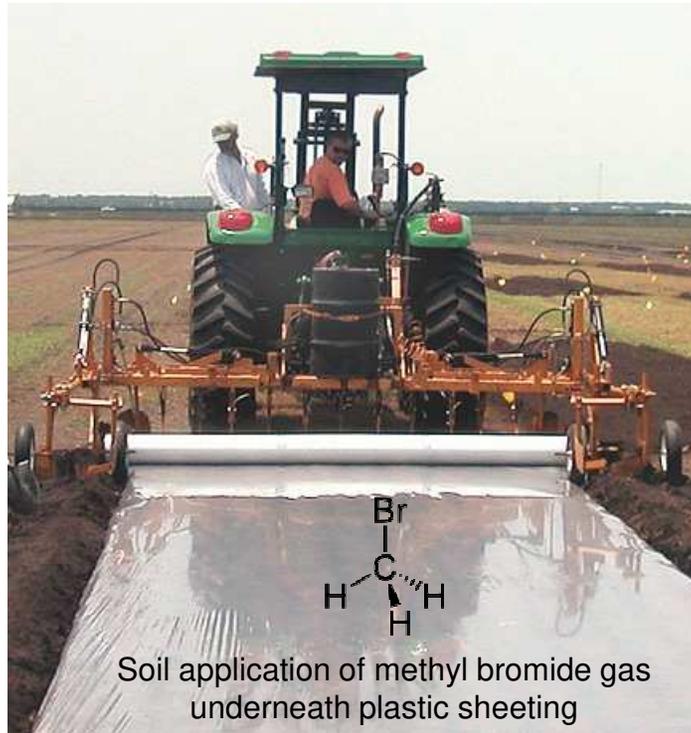
Hay varias opciones

- Cuarentena
- Higiene y rotación de cultivos
- Materiales certificados
- Prácticas culturales
- Control químico



# Los nemátodos son manejados por métodos químicos, culturales y genéticos

El bromuro de metilo es un nematicida eficaz, pero es altamente peligroso. Biocida. Compuesto que agota el ozono



Algunas plantas tienen genes de resistencia

*Meloidogyne incognita* en raíces de *Prunus cerasifera*

## Diapositiva 91

---

**HM14**

Kandoth 2013 Fig 1 shows an example of how resistant soybean cultivars respond to nematode feeding

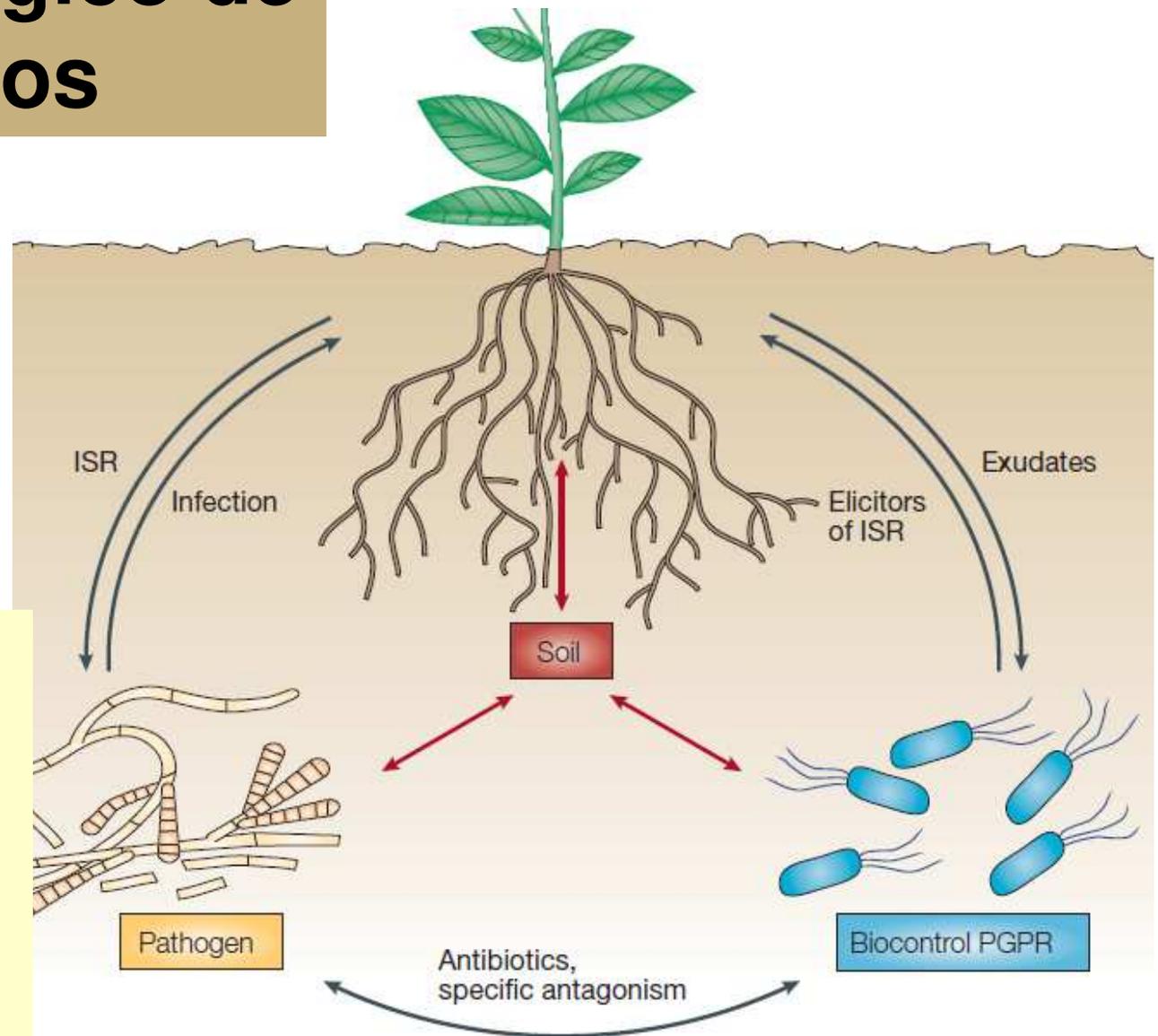
Herman, Maryann, 12/23/2014

# Control biológico de patógenos

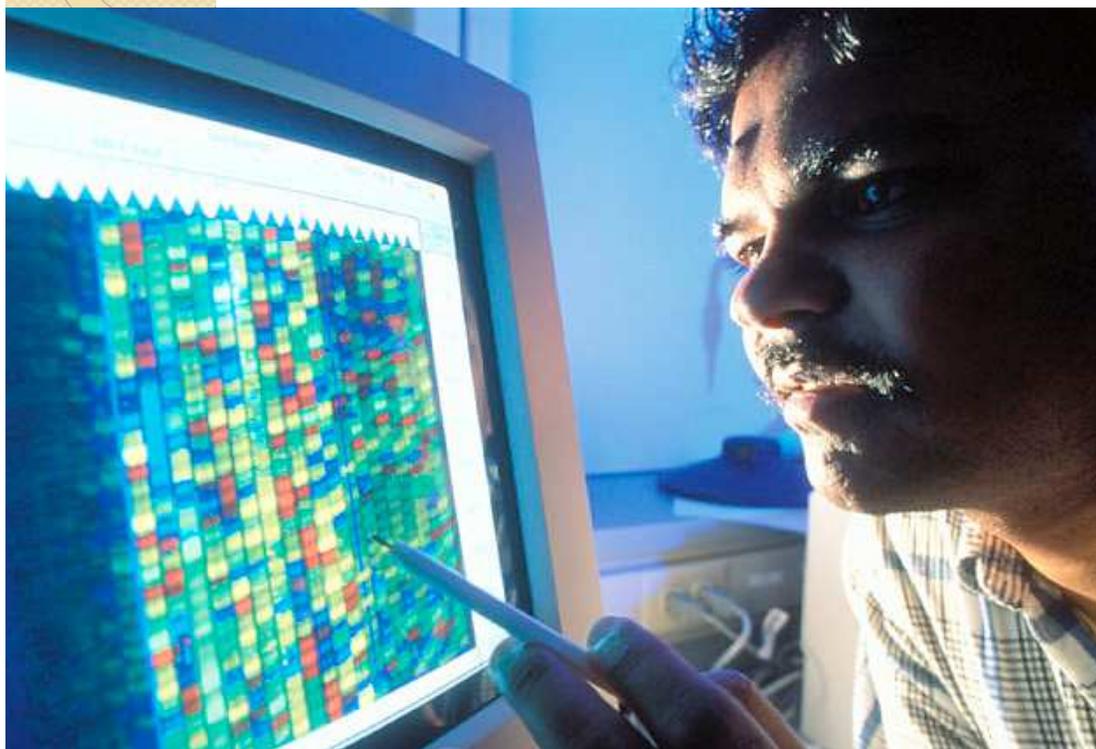
**Control biológico** se refiere al uso de otros organismos para prevenir microorganismos patógenos y enfermedades

## Agentes de biocontrol:

- Atacar al patógeno
- Competir con el patógeno
- Mejorar las defensas de la planta a través de la resistencia sistémica inducida (ISR)
- A menudo tienen múltiples efectos



# Abordajes genéticos de la resistencia a enfermedades



## **Enfoques clásicos:**

La introgresión de los genes de resistencia a enfermedades

## **Enfoques biotecnológicos:**

- Mejorar el reconocimiento de patógenos
- Aumentar la señalización y ejecución de la defensa de la planta
- Interferencia con virulencia patógena

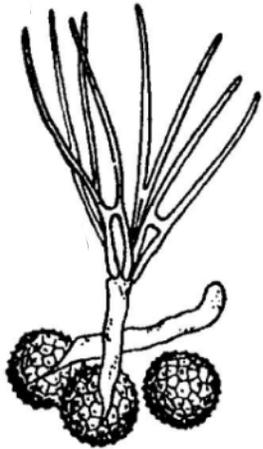
See Poland, J.A., Balint-Kurti, P.J., Wisser, R.J., Pratt, R.C. and Nelson, R.J. (2009). Shades of gray: the world of quantitative disease resistance. *Trends Plant Sci.* 14: 21-29;  
Gust, A.A., Brunner, F. and Nürnberger, T. (2010). Biotechnological concepts for improving plant innate immunity. *Curr. Opin Biotechnol.* 21: 204-210. Photo by [Jack Dykinga](#)



# Estrategias para prevenir y manejar enfermedades

**Debilitar al patógeno**

**Biocontroles**  
**Controles químicos**



BUNT SPORES

**Planta y patógeno separados**

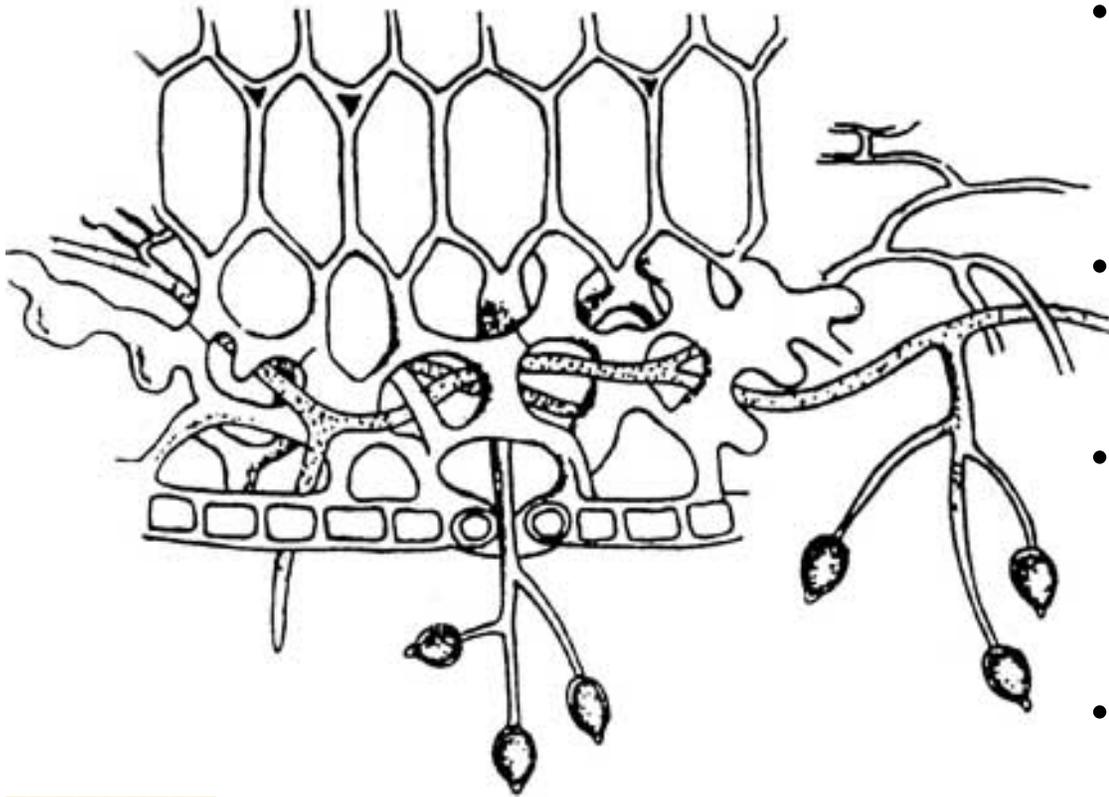
**Cuarentenas**  
**La rotación de cultivos**  
**Buena higiene**  
**Control de vectores virales**

**Fortalecer la planta**

- **Nutrición adecuada**
- **Suelos bien drenados**
- **Diversidad genética para evitar epidemias**
- **Resistencia mediada por el gen R**
- **Resistencia cuantitativa a las enfermedades**
- **Mejora de las respuestas de inmunidad y defensa**



# Resumen



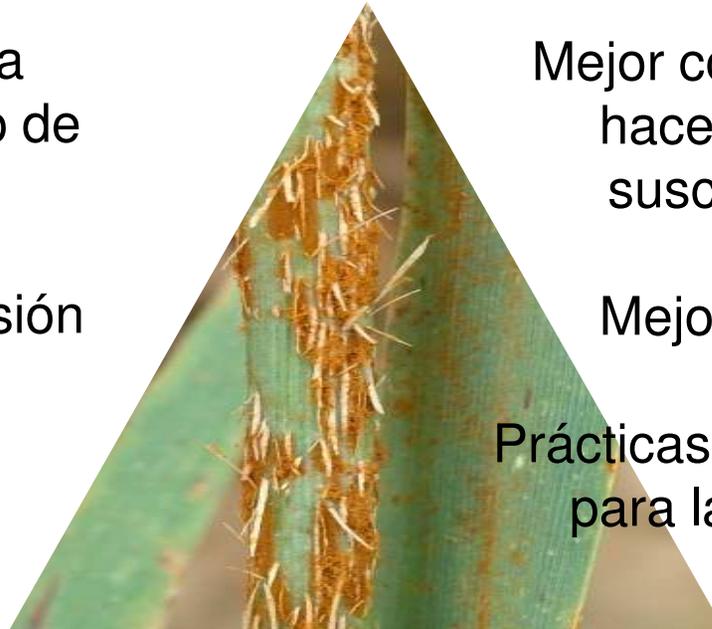
- Las enfermedades de las plantas son las principales amenazas para la producción de alimentos
- Los patógenos tienen diversos modos de patogenicidad y efectores de rápida evolución
- Las plantas no son víctimas pasivas - tienen sofisticados mecanismos de vigilancia y defensa
- Las prácticas humanas, en particular las migraciones y los monocultivos, han contribuido a la magnitud de las enfermedades de las plantas

# ¿Qué depara el futuro?

Métodos rápidos para la detección y diagnóstico de patógenos

Mejorar de la comprensión de la "patogenicidad"

Métodos eficaces de erradicación y control biológico



Mejor comprensión de lo que hace que las plantas sean susceptibles o resistentes

Mejor resistencia genética

Prácticas culturales mejoradas para la salud de las plantas

**Desafíos:** aumento de las demandas debido al aumento del consumo de carne y población

**Oportunidades:** Herramientas genómicas y biotecnológicas para acelerar la investigación.

Mejoras en la educación y el acceso a la información

Muchas gracias!!

