



## Mecanismos de defensa contra patógenos en plantas

Al igual que los animales, las plantas están expuestas a patógenos de diversa naturaleza que pueden causarles enfermedad, e incluso la muerte. Y, al igual que los otros organismos, las plantas poseen mecanismos para defenderse de ellos. Su estudio ha servido a los científicos para el desarrollo de nuevas estrategias que permitan controlar a los patógenos vegetales, que causan un impacto negativo en las cosechas.

### La interacción entre las plantas y sus patógenos

Las plantas están expuestas continuamente al ataque de patógenos diversos, incluso de otras plantas. Las plantas son organismos sésiles (inmóviles) y no pueden escapar, pero cada célula vegetal posee mecanismos de defensa activos (un “sistema de alerta”) y también inducibles (se activan cuando la planta entra en contacto con el patógeno). Esta es una diferencia importante con respecto al sistema inmunológico de los vertebrados, ya que en ellos existen células especializadas que viajan rápidamente al sitio de la infección, donde eliminan al organismo invasor, o limitan su distribución. En las plantas, el mecanismo de defensa localizado en cada célula minimiza las infecciones. Entonces, la *enfermedad* podría definirse como el resultado de una infección exitosa. Sin embargo, una enfermedad de este tipo raramente mata a la planta. Podría interpretarse que, por selección natural, han sobrevivido los patógenos de menor toxicidad (que no matan a su huésped al que necesitan para reproducirse) y/o las plantas más resistentes a estos patógenos.

### ¿A qué tipos de patógenos están expuestas las plantas?

Se define como “*patógeno vegetal*” a aquel organismo que, para completar parte de su ciclo de vida, crece dentro de la planta. Y, al hacerlo, la perjudica. Los procesos afectados pueden ser: la división celular, la diferenciación y desarrollo, la absorción del agua y minerales del suelo y su transporte al resto de la planta, la fotosíntesis, la reproducción, y el almacenamiento de reservas alimenticias.

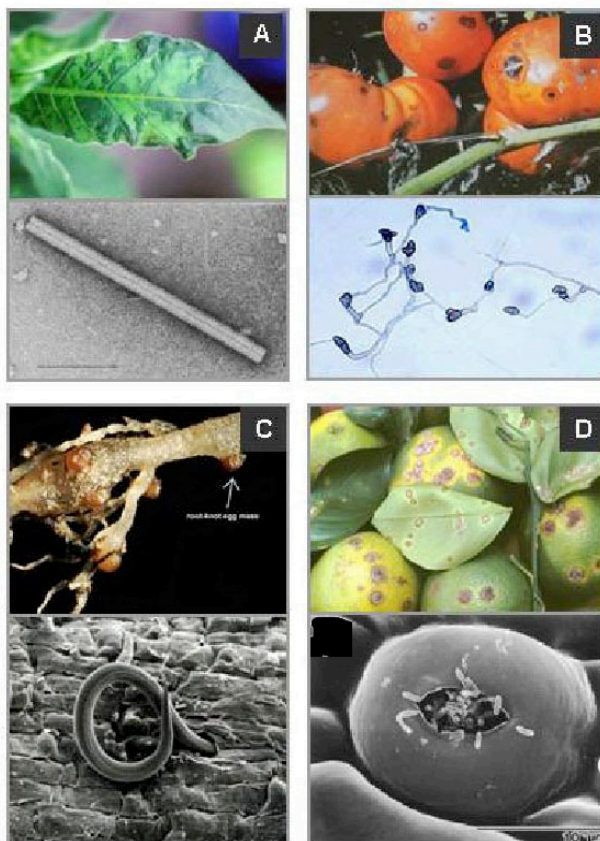
Entre los patógenos vegetales, se pueden encontrar:

Patógeno	Ejemplos
<b>Virus</b>	TMV o virus del mosaico del tabaco, PVY o virus Y de la papa, CaMV o virus del mosaico de la coliflor (“mosaico” hace referencia a los síntomas que ocasiona).
<b>Bacterias</b>	<i>Xhantomonas campestris</i> (causa “cancrosis” en los cítricos), <i>Erwinia carotovora</i> .
<b>Hongos</b>	<i>Phytophthora infestans</i> , causa el tizón tardío de la papa; <i>Cladosporium fulvum</i> , o moho de la hoja de tomate
<b>Insectos</b>	Lepidópteros como el barrenador del maíz ( <i>Diabrotica virgifera</i> ) genera túneles en los tallos del maíz y su quiebre; <i>Leptinotarsa decemlineata</i> (escarabajo

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.

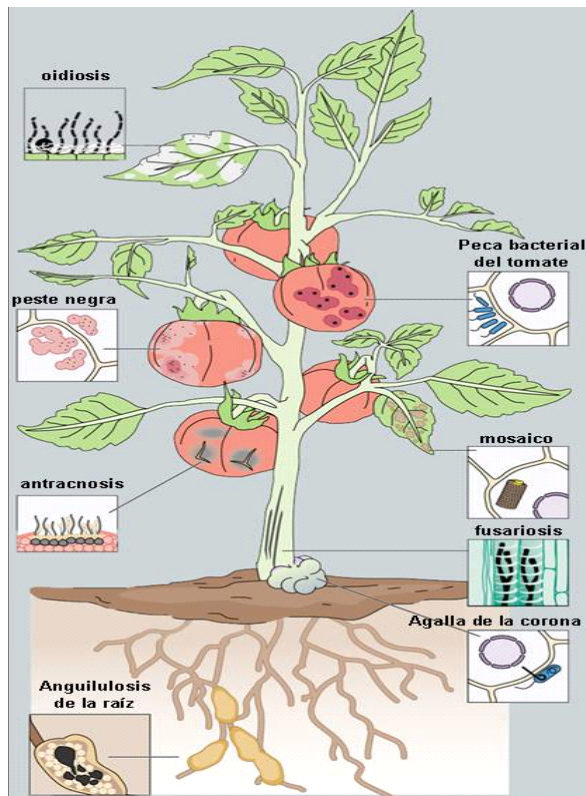
	colorado de la papa) causa estragos al masticar y comer los tallos y hojas verdes de la planta de papa.
<b>Nemátodos</b>	pequeños gusanos que pueden infectar a las plantas a través de sus raíces

Cada uno de ellos utiliza diferentes estrategias para ingresar y perdurar dentro de la planta. En la figura 1 se observan algunos ejemplos de los **síntomas** (manifestaciones fenotípicas de la infección) que generan los patógenos en la planta huésped.



**Figura 1. Patógenos vegetales de distinta naturaleza y sus efectos deletéreos en las plantas.** En cada caso se observa el síntoma que ocasiona en la planta, y un detalle microscópico del patógeno. A) Hoja de tabaco infectada con el Virus del mosaico del tabaco o TMV. B) Tomates infectados con el hongo *Calletotrichum coccodes*, causante de la antracnosis observada. C) Anguillosis de la raíz de tomate, causada por el nematodo *Meloidogyne incognita*. Se observan los quistes en la raíz. D) Cancrosis de los cítricos ocasionada por la bacteria *Xanthomonas campestris* pv. *Citri*, bacteria que se observa en la microscopía electrónica,

Fuentes: ver Material de Consulta



**Figura 2. Enfermedades que afectan a la planta de tomate.**

Muchos microorganismos atacan algunas partes específicas de la planta (los frutos, las raíces, las hojas), produciendo síntomas característicos de enfermedad: mosaico, necrosis, manchado, marchitamiento, y raíces agrandadas, entre otros. Las plantas de tomate son atacadas por más de 100 patógenos diferentes. Entre las enfermedades incluidas en el gráfico, se encuentran las **bacterianas**: agalla de la corona (*Agrobacterium tumefaciens*), pecas bacteriales (*Pseudomonas syringae* pv *tomate*); **fúngicas**: oidiosis (*Oidium neolycopersici*), fusariosis (*Fusarium oxysporum* f. sp *lycopersici*), antracnosis (*Colletotrichum coccodes*); **virosis**: peste negra (virus de la peste negra del tomate o TSWV), mosaico (virus del mosaico del tomate o TMV); **nemátodos**: anguilulosis de la raíz (*Meloidogyne* spp.).

Adaptado de Buchanan y col., 2000

### La infección y sus consecuencias en la planta

Tanto las raíces como los tallos y hojas son zonas de contacto con los patógenos. Los patógenos emplean diferentes estrategias de invasión al huésped (planta):

- penetrar directamente las capas superficiales mediante presión mecánica o ataque enzimático
- entrar por aberturas naturales de las plantas, como por ejemplo los estomas (relacionados con el intercambio gaseoso).
- invadir tejidos previamente dañados

Una vez que el patógeno ingresa en la planta, se puede clasificar en función de las estrategias empleadas al utilizar a la planta como sustrato:

- **Necrótrofos**: matan a las células de su huésped y descomponen el tejido para utilizarlo en su crecimiento.
- **Biotrofos**: infectan su huésped sin causar muerte celular, ya que necesitan mantenerlo vivo para cumplir su ciclo de vida.
- **Hemibiotrofos**: mantienen a las células vivas en las etapas iniciales de la infección, pero las matan una vez avanzada.

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



### ¿Por qué tienen éxito algunos patógenos?

El éxito de determinados patógenos vegetales puede atribuirse a algunos de los siguientes factores:

- Un modo efectivo de infección que permite una tasa de reproducción alta durante la estación de crecimiento de las plantas.
- Mecanismos de dispersión eficientes a través de agua, viento, u organismos vectores (transmisores) como los insectos.
- Producción de un tipo de estructura (esporas, por ejemplo) que pueden sobrevivir por largos períodos (hasta 30 años).
- Una gran capacidad de generar diversidad genética a través de mutaciones que otorgan ventajas adaptativas. Esto favorece el origen de nuevos genotipos a partir de los cuales pueden surgir nuevas epidemias.
- La homogeneidad genética de los cultivos de interés agronómico los hace más susceptibles a una epidemia que afecte a toda la población. Este riesgo se ve aumentado por la presencia de genotipos bien adaptados de patógenos. Además, el daño provocado por un patógeno es puerta de entrada para otros patógenos, potenciando los efectos negativos sobre la planta. Las plantas salvajes no suelen sufrir infecciones ni serias consecuencias a nivel poblacional por el ataque de patógenos debido, en parte, a la variabilidad genética dentro de esas poblaciones.

### Interacciones entra la planta y el patógeno

Se pueden reconocer dos tipos de interacciones entre las plantas y los patógenos, en función de las respuestas de la planta al ataque del agente extraño:

- Interacciones compatibles: aquellas en la cuáles un patógeno logra infectar y enfermar a una planta. Pueden ocurrir si las condiciones ambientales son favorables, si las defensas preformadas de la planta son inadecuadas, si la planta falla en detectar al patógeno, e incluso si las respuestas de defensa activadas son inefectivas.
- Interacciones incompatibles: aquellas en las cuáles no hay enfermedad porque se da un fenómeno de resistencia de la planta. Estos mecanismos de resistencia pueden ocurrir por:
  1. Resistencia de tipo “no hospedante”: la especie vegetal atacada no le brinda al patógeno las condiciones necesarias para completar su ciclo de



vida, o posee barreras estructurales preformadas, o sintetiza compuestos tóxicos.

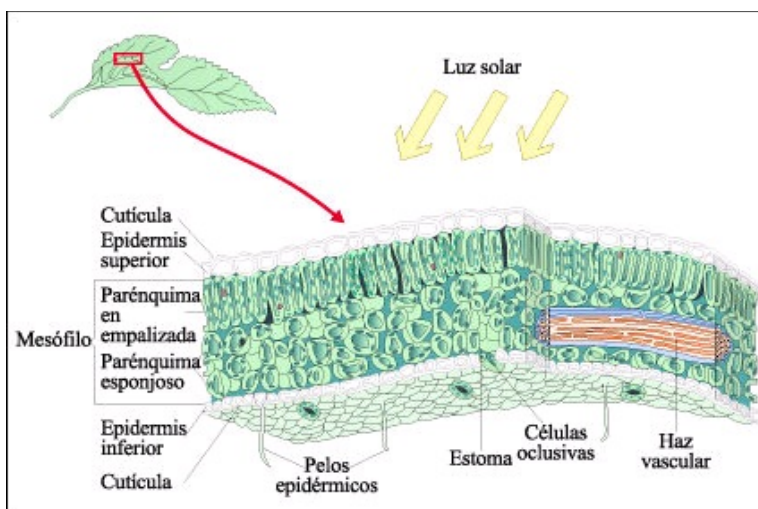
2. Mantener la infección confinada tras el reconocimiento del patógeno que está atacando.

3. Condiciones medioambientales inestables que provocan la muerte del patógeno antes de poder “acomodarse” al nuevo medio.

### Las defensas preformadas de las plantas

Muchas plantas poseen defensas preexistentes al ataque del patógeno las cuáles pueden clasificarse en:

- **Bioquímicas.** Involucran tres grandes grupos de compuestos: péptidos y proteínas; metabolitos secundarios, e inhibidores de proteasas. La mayoría de las plantas sanas poseen muchos metabolitos secundarios con propiedades antimicrobianas. Tales compuestos pueden estar presentes en su forma activa, o estar almacenados como precursores inactivos que son convertidos en las formas biológicamente activas por enzimas de la planta, en respuesta al ataque de patógenos o al daño de los tejidos. En general, estos compuestos inhibidores preformados se encuentran almacenados en vacuolas u otras organelas de las capas celulares externas de la planta. Dos ejemplos de inhibidores preformados muy bien estudiados son las **saponinas** y los **glucosinolatos**.
- **Mecánicas.** Incluyen grosor de la epidermis, calidad de la cutícula, forma, tamaño y localización de los estomas (ver figura 3).



**Figura 3.**  
**Estructura de la hoja.** En la figura se observan algunas estructuras involucradas en la defensa mecánica preformada contra el ataque de patógenos. Entre ellas, la cutícula, los estomas y la epidermis (puede variar su grosor).

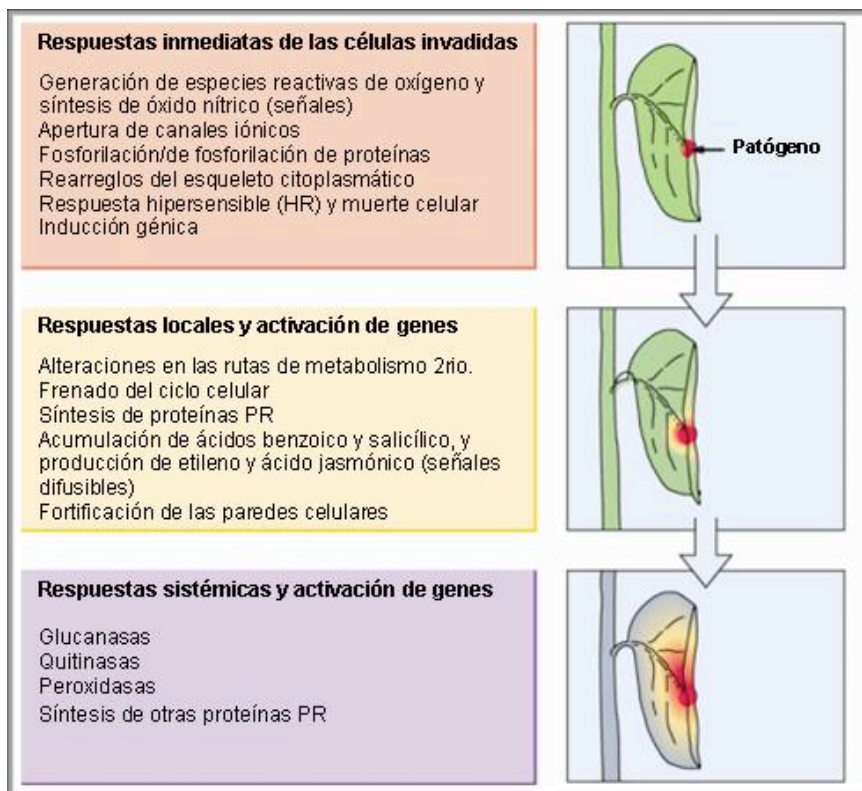
Fuente:  
<http://www.educa.aragob.>

## Las defensas inducidas por la presencia del patógeno

Para activar sus respuestas de defensa rápidamente, la planta emplea un sistema de vigilancia sofisticado capaz de distinguir entre las señales propias y las generadas por un patógeno. Más aún, la planta es capaz de discriminar las señales emitidas por agentes patógenos de las generadas por organismos benéficos, tales como la bacteria *Rhizobium* (involucrada en la fijación de nitrógeno en relación simbiótica con plantas leguminosas) y como las especies fúngicas que forman micorrizas (Ver Cuaderno N° 87).

La respuesta de la planta implica modificar el metabolismo de las células vegetales involucradas en la reacción de defensa. Esto incluye la activación de genes involucrados en funciones de defensa, la apertura de canales para el intercambio

de iones, la modificación de proteínas y la activación de enzimas preexistentes (ver figura 4).



**Figura 4.** Representación esquemática del orden temporal de activación de las defensas de la planta, localmente y sistémicamente (en toda la planta), desde el sitio inicial de invasión por el patógeno. Adaptada de Buchanan y col., 2000.

Esta inducción de las respuestas defensivas de la planta en forma rápida y altamente localizada resulta en la generación de un ambiente de condiciones



desfavorables para el crecimiento y reproducción del patógeno. Al mismo tiempo, las células vegetales eliminan y dificultan la dispersión de toxinas generadas por el patógeno. Estas respuestas inician una respuesta sistémica de más larga duración denominada *Resistencia Sistémica Adquirida* que previene a la planta y a otras vecinas contra ataques futuros del mismo u otros patógenos. Dado que estas respuestas requieren una gran inversión de componentes celulares, las defensas se mantienen bajo un ajustado control genético y sólo se activan frente a la presencia del patógeno.

La activación completa de una respuesta intensa contra el patógeno ocurre dentro de las primeras 24 hs, conduciendo directa o indirectamente a la muerte celular y tisular localizada. Dentro de las respuestas de defensa inducidas por la presencia del patógeno, se pueden distinguir (entre otras):

- Respuesta hipersensible: rápida activación de las reacciones de defensa asociadas a la muerte celular en la planta huésped. Esta respuesta afecta al patógeno de diferentes maneras: en el caso de los biótrosos, los priva del acceso a más nutrientes; en el caso de los necrótrosos, la muerte celular resultaría en la liberación de sustancias inhibitorias para el patógeno.
- Activación de proteínas relacionadas a la patogénesis (proteínas PR): son proteínas sintetizadas por la planta en respuesta al ataque del patógeno, que se acumulan rápidamente luego del reconocimiento. Algunas PR son quitinasas o glucanasas, enzimas capaces de degradar a los polisacáridos que constituyen la pared celular de muchos hongos, reduciendo su crecimiento. Otro ejemplo de proteínas PR son las lipooxigenasas, enzimas que generan moléculas que extienden a toda la planta el estado de "alerta".
- Síntesis de Fitoalexinas: son moléculas que tienen actividad antimicrobiana. Se acumulan rápidamente en los sitios de interacción con el patógeno, y se biosintetizan utilizando nuevas rutas metabólicas que se activan por la misma presencia del patógeno.
- Silenciamiento génico post-transcripcional: es inducido tras la invasión de la planta por distintos virus. La planta es capaz de reconocer estadios de la replicación viral o una cantidad elevada de ácidos nucleicos consecuencia de la replicación del virus. Como respuesta, se induce el mecanismo que consiste en la degradación del ARN viral.
- Respuestas estructurales: entre ellas, el entrecruzamiento de componentes de la pared celular y la expulsión de papilas formadas en el sitio por el cuál el patógeno intenta ingresar.

Muchas de las respuestas mencionadas ocurren en conjunto, garantizando una defensa más eficiente.



Durante la evolución conjunta de patógenos y plantas, se han ido seleccionando mecanismos que permiten a ambos miembros de la interacción defenderse del otro, fenómeno al que se suele denominar como “carrera armamentista”, donde cada estrategia de una de las partes de la interacción es contrarrestada por una nueva en su contraparte. Por ejemplo, como consecuencia de la coevolución entre los organismos y sus patógenos, han surgido mecanismos por los cuáles muchos virus pueden evitar la respuesta de defensa de la planta a través de genes que codifican para la síntesis de proteínas “supresoras del silenciamiento”.

### La base genética de la resistencia a enfermedades en las plantas

En el siglo XIX, los coleccionistas de plantas ya notaban con frecuencia diferencias en la susceptibilidad de los distintos ejemplares que incorporaban a sus colecciones. Alrededor de 1900, ya con las leyes de Mendel redescubiertas, los cultivadores de plantas notaban que la resistencia a patógenos se heredaba frecuentemente como una característica dominante (ver Cuadernos N° 40 y 41). Hacia 1940, a partir de los estudios de Harold Flor en la interacción entre el cultivo de lino y uno de sus patógenos fúngicos, se estableció el **modelo gen-a-gen**. Este modelo predice que la activación de los mecanismos de defensa que culminan en la resistencia de la planta a la enfermedad, ocurrirá cuando la planta posea un

**gen de resistencia (*R*)** dominante, y el patógeno exprese el **gen de avirulencia (*Avr*)** complementario. El modelo se cumple para la mayoría de las interacciones con patógenos biótrofos.

De la interacción entre la planta y el patógeno, puede surgir también una respuesta conocida como **tolerancia**. Esto significa que la interacción es compatible, pero la planta restringe los procesos bioquímicos requeridos para el desarrollo de los síntomas. Como consecuencia, el daño se mantiene en bajos niveles aún estando las plantas severamente infectadas. Las plantas tolerantes a las enfermedades pueden actuar entonces como reservorios de patógenos que, a partir de ellas, pueden pasar a especies susceptibles.

### ¿Por qué es importante estudiar las interacciones entre plantas y patógenos?

Una de las razones que impulsa a estudiar la relación entre las plantas y los patógenos se relaciona con el conocimiento básico. Por ejemplo, conocer cómo reaccionan las plantas frente al estrés provocado por distintos factores, bióticos y abióticos. Existen además razones de aplicación práctica. Se sabe que el desarrollo de cultivos genéticamente homogéneos en grandes superficies de tierra, representa un riesgo ya que podría favorecer la diseminación de

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.





epidemias, disminuyendo el rendimiento y la calidad de los cultivos. Por esto, la producción de conocimientos referidos a la relación planta - patógeno podría proveer soluciones sustentables para el control de las enfermedades en los cultivos de interés agronómico.

### **Los conocimientos aplicados al mejoramiento de los cultivos**

El descubrimiento de que la resistencia a enfermedades en la planta era heredada con frecuencia como un carácter dominante, llevó a los mejoradores del siglo XX a desarrollar programas que buscaban identificar germoplasmas resistentes entre las variedades salvajes relacionadas a cultivos de interés agronómico. Una vez localizados, el objetivo consistía en introducir por cruzamientos los genes de resistencia (*R*) en los cultivos económicamente importantes para así obtener variedades resistentes. Los programas se vieron beneficiados por el descubrimiento de los centros de origen geográficos de los distintos cultivos (ver Cuaderno N° 81), ya que en dichas localidades es donde se encuentra la mayor diversidad genética tanto para la planta como para sus patógenos, aumentando las posibilidades de encontrar allí los genes de resistencia deseados por los mejoradores. El uso de genes *R* para conferir resistencia se limita a especies o variedades relacionadas ya que no solo se requiere el gen sino también toda la cadena de transducción de señales acoplada al producto del gen *R* debe estar presente en la planta.

Al principio, se obtuvieron buenos resultados empleando esta estrategia para generar nuevas variedades resistentes. Pero al cabo de unos años de introducido el

gen *R* en la producción comercial, se comprobó que dejaba de proteger al cultivo de la enfermedad, resultando en grandes epidemias que devastaban los cultivos.

Este hecho en la agricultura moderna resulta en la aparición de "ciclos" durante los cuáles, tras años de control efectivo de la enfermedad y aumentar el área cultivada con el cultivo mejorado, se pierde efectividad debido a un aumento en la presión de selección sobre la población de patógenos, que favorece la aparición de cepas mutantes en los genes *Avr*, que superan la resistencia vegetal. Estos ciclos tienen una duración aproximada de 8 a 12 años, y se superan introduciendo nuevos genes *R*. Aunque aún no se sabe por qué, algunos genes *R* que han dado buenos resultados por más de 15 años.

Para evitar la aparición de patógenos que superen la resistencia de los cultivos, se han desarrollado nuevas estrategias:

- No es recomendable el monocultivo de variedades portando un solo gen de resistencia. Una alternativa es sembrar conjuntamente variedades que porten distintos genes *R*, permitiendo así disminuir la presión de selección

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.

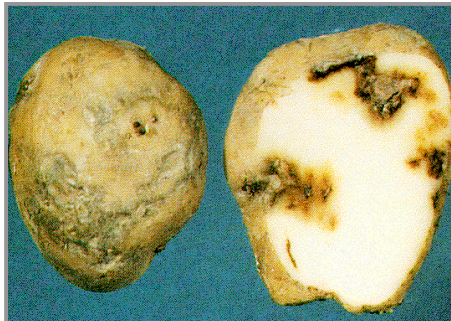
sobre la población de patógenos. Sin embargo, esto aumenta la heterogeneidad de caracteres de interés agronómico (tiempos de desarrollo, rendimiento, etc.), disminuyendo la rentabilidad del cultivo (ya que la homogeneidad facilita las técnicas mecánicas de cosechado).

- Una alternativa que podría superar los inconvenientes anteriores, es el uso de plantas transgénicas. Una de las ventajas de este desarrollo es el lapso de tiempo menor necesario para introducir un determinado gen *R*, y la generación de “variedades” con el mismo fondo genético, salvo por el gen *R* introducido. De esta forma se cultivan múltiples variedades al mismo tiempo (portando distintos genes *R*) sin perder la homogeneidad de otras características agronómicas. Más aún, la alternativa más eficiente, conocida como “apilamiento”, es la introducción en la misma planta de varios genes *R*. Se ha demostrado que la acción combinada de varios genes *R* resulta en niveles de resistencia en la planta superiores a lo esperado por el aporte de cada uno de ellos, fenómeno denominado “sinergismo”.

### Una historia para recordar y prevenir: la hambruna irlandesa

La Gran Hambruna Irlandesa, ocurrida entre 1846 y 1852, comenzó como una catástrofe natural de magnitud extraordinaria, cuyos efectos empeoraron por la implementación de políticas equivocadas. El resultado fue la muerte de, aproximadamente, 1 millón de personas en Irlanda a causa de la desnutrición y las enfermedades que emergieron, y la emigración de unas 2 millones de personas. El origen de esta hambruna irlandesa fueron sucesivas infecciones de los cultivos de papa por el hongo *Phytophthora infestans* (causante de la enfermedad conocida como “tizón tardío de la papa”, figura 5). Por 4 o 5 años consecutivos, el tizón de la

papa destruyó al cultivo que cubría el 60% de los requerimientos alimentarios de Irlanda.



**Figura 5.** *Phytophthora infestans* y el tizón tardío de la papa, agente causal y enfermedad, respectivamente, de la Hambruna Irlandesa. A la izquierda se observa al patógeno *P. infestans*; y

a la derecha, tubérculos de papa afectados por la enfermedad. Fotografías tomadas de <http://faculty.uca.edu/~johnc/LSR3390.htm>



Este ejemplo demuestra lo devastadoras que pueden ser las enfermedades en las plantas, especialmente en los cultivos de interés agronómico. Es por ello que resulta sumamente importante entender cómo se establecen éstas enfermedades y así desarrollar nuevas herramientas que permitan al hombre controlarlas.



## CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

El tema que trata este Cuaderno podría incorporarse en el aula al trabajar conceptos vinculados con *ecosistemas* y las relaciones que se establecen entre los seres vivos. La relación planta-patógeno no es ni más ni menos que un tipo más de interacción, de las tantas que se establecen entre organismos en un ecosistema. En este caso particular se trata de un tipo de relación que perjudica a uno de las especies, pero se sugiere trabajar los diferentes tipos de interacciones dentro de un ecosistema, las beneficiosas y las perjudiciales. Este permite trabajar la idea de *biodiversidad*, la función de los diferentes tipos de organismos en el ecosistema, las diferentes relaciones que se establecen entre ellos y con el entorno físico, y cómo estas interacciones influyen en el mantenimiento del sistema en su totalidad. Acá también se introduce el concepto de *sistema*, como conjunto de componentes que interactúan entre sí y dependen unos de otros para el funcionamiento del (eco)sistema en su totalidad.

Es interesante trabajar el ejemplo de la hambruna en Irlanda, ya que involucra al hombre como un componente más del ecosistema que depende de los recursos del ambiente para su subsistencia, y que se ve afectado por los cambios que ocurren en ese sistema del cual es un componente más. Es decir que es importante interpretar la biodiversidad como un hecho a nuestro alrededor y del cual formamos parte, e introducir la idea de *uso responsable y sustentable de los recursos*.

Otro de los conceptos importantes que aparecen en el texto, que se sugiere trabajar es el de *evolución por selección natural*. Es importante remarcar el hecho de que la evolución de los seres vivos es un proceso de cambio y adaptación, que no significa progreso o perfección. El proceso de evolución debe entenderse en el marco de un proceso de cambio conjunto, del medio y de los seres vivos, en el cual uno influye sobre el otro. En este sentido se plantea la interacción planta-patógeno como un ejemplo de evolución en el cual las especies sobreviven en base a las características que tienen sus integrantes, y en función de las características del entorno (otros organismos) que favorecen o perjudican su supervivencia.

Al indagar en las ideas previas que traen los alumnos acerca del proceso de transformación de las especies, es posible advertir una tendencia a interpretar la evolución desde el punto de vista de la teoría de Lamarck (intencionalidad en el cambio y herencia de caracteres adquiridos). El término *adaptación* tiende a asociarse, erróneamente, con un cambio que se produce en el ser vivo en respuesta a una necesidad de sobrevivir. Es importante trabajar el concepto de *variabilidad* de caracteres en una población y el mecanismo de *selección*





*natural*, como la supervivencia de aquellos organismos (entre toda la variabilidad existente) que tienen características favorables para las condiciones imperantes en ese medio, es decir que NO las generan en respuesta a los cambios en el entorno. Por ejemplo, la defensa de la planta frente al patógeno, aunque se denomine “inducida”, no significa que esta característica se origina (genéticamente) en la planta como

resultado de la presencia del patógeno, sino que las instrucciones para ese carácter o para la formación de sustancias de “defensa” ya estaban en la planta, y solo se activan en presencia del patógeno.

Otro punto de vista que se podría dar a este tema, es la idea de mecanismos de defensa en función de la salud y la enfermedad. Incluso se pueden comparar las defensas mecánicas y bioquímicas de las plantas que plantea el texto, con los mecanismos de defensa inespecífica y específica (sistema inmunológico) del cuerpo humano. Una vez más, se interpreta al ser humano como un componente más del ecosistema que está expuesto a los mismos agentes extraños que otros organismos, y que tiene sus propios mecanismos de defensa, al igual que el resto de los seres vivos, y se enferman al igual que las plantas y otros animales.

Por último, el tema que plantea este Cuaderno y que es importante trabajar en el aula se refiere a los conocimientos que se adquieren a partir de la “ciencia básica” sus aplicaciones prácticas, y las posibilidades que ofrecen para el mejoramiento de los recursos. En este sentido la agricultura tradicional complementada con la biotecnología moderna permiten desarrollar especies resistentes a los patógenos, como es el caso de las plantas transgénicas que solo difieren de las originales en un gen. Esto no solo favorece determinados cultivos de interés agronómico susceptibles a los ataques de patógenos, sino que permite conservar la diversidad de cultivos y evitar el monocultivo, más susceptible a la diseminación de enfermedades, y uno de los argumentos más discutidos para el desarrollo de una agricultura sustentable.

## CONCEPTOS RELACIONADOS

Ecosistema. Biodiversidad. Plantas. Microorganismos. Relaciones entre especies. Variabilidad genética. Evolución. Selección natural. Salud y enfermedad. Sistema de defensas. Agricultura sustentable. Biotecnología. Plantas transgénicas.

## ACTIVIDADES

### Actividad 1. Repaso de conceptos

El objetivo de esta actividad es repasar los conceptos básicos trabajados en el texto del Cuaderno.

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



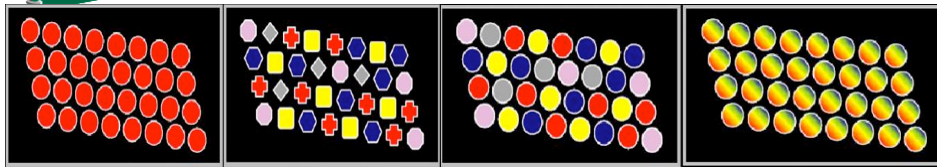
1. ¿Qué tipos de mecanismos de defensa emplean las plantas?
2. ¿A qué tipo de patógenos están expuestas las plantas?
3. ¿Qué efectos podría causar el patógeno en la planta?
4. ¿A qué se llama “interacción incompatible”?
5. ¿Cuáles pueden ser los mecanismos de defensa de las plantas frente a los patógenos?
6. ¿A qué se denomina “defensas inducidas”?
  
7. ¿Cuáles serían los genes involucrados en la resistencia de las plantas a los patógenos?
8. ¿Por qué es importante conocer la interacción entre la planta y el patógeno?

### Respuestas

1. Mecanismos activos y mecanismos inducibles (se activan cuando entra el patógeno).
2. Como otros seres vivos, están expuestos a virus, bacterias, hongos, insectos, nematodos.
3. Matar a la planta o mantenerla viva y aprovechar su mecanismo celular.
4. A aquella infección que no provoca enfermedad ya que la planta tiene mecanismos de resistencia al patógeno.
5. Mecánicos, que son barreras que dificultan la entrada del patógeno, y bioquímicos que involucran sustancias que eliminan al agente extraño una vez que ingresó.
6. A aquellas que se activan solo al reconocer la presencia del patógeno en el organismo.
7. Sería el gen de resistencia (R) en la planta y el gen de avirulencia (Avr) en el patógeno. Si ambos se encuentran activarían el mecanismo gen a gen de resistencia de la planta al patógeno.
8. Más allá de los conocimientos básicos, permite aplicar estos conocimientos al mejoramiento de plantas para que resistan el ataque de estos patógenos, para evitar la aparición de patógenos que superen la resistencia, para originar plantas transgénicas resistentes al patógeno y a la vez productivas, entre otros.

### **Actividad 2. Interpretación de esquemas**

Analizar los esquemas y evaluar cuál de las estrategias esquematizadas sería la más efectiva a largo plazo contra el ataque de un patógeno determinado. En los esquemas, cada círculo o figura corresponde a una planta en un cultivo. Todas las figuras con la misma forma (por ej. los círculos) tienen el mismo contenido genético, salvo por los genes de resistencia (cada color es un gen de resistencia diferente)



a) Cultivo homogéneo

b) distintas variedades con distintas resistencias

c) Múltiples líneas transgénicas de la misma variedad inicial

d) Varios genes *R* en la misma línea

### Respuesta

Como se mencionó en el texto, el cultivo de una variedad que porte un solo gen de resistencia (caso A) no es aconsejable, ya que la presión de selección para la aparición de genes *Avr* (avirulencia) no funcionales es muy alta, favoreciendo la aparición de patógenos resistentes capaces de enfermar y causar epidemias (por la homogeneidad genética del

cultivo). Dentro de las prácticas agrícolas tradicionales, una alternativa es sembrar más de una variedad, cada una portando distintos genes de resistencia (caso B), permitiendo disminuir la presión de selección sobre la población de patógenos. El problema de este enfoque es que también se aumenta la heterogeneidad de caracteres de interés agronómico (tiempos de desarrollo, rendimiento, etc.), por lo que baja la rentabilidad del cultivo. El desarrollo de plantas transgénicas aporta nuevas alternativas. Dado que se necesita un lapso de tiempo menor para introducir un determinado gen *R* mediante transgénesis, es posible la aparición de "variedades" que resultan genéticamente iguales salvo por en el gen *R* introducido. Así, se podrían cultivar múltiples variedades sin que haya variaciones en otras características de la planta, permitiendo emplear la mecanización en las prácticas agrícolas (caso C). Otra opción, que insumiría más tiempo, es la introducción de múltiples genes *R* en una misma variedad, diseño conocido como "apilamiento" (caso D), también aplicable a otros genes. Esta última sería la más efectiva, ya que las probabilidades de que un patógeno pueda superar las barreras impuestas por los productos de varios genes *R* simultáneamente, son prácticamente nulas.

### Actividad 3. Análisis de texto

Leer y analizar el texto publicado el 23/03/2007 en la Sección Novedades del sitio [www.porquebiotecnologia.com.ar](http://www.porquebiotecnologia.com.ar). Luego responder a las preguntas formuladas.

#### "Gen de virus bacteriano le confiere a las pasturas resistencia a las enfermedades fúngicas"

Fuente: [http://www.porquebiotecnologia.com.ar/doc/reportes/result\\_indiv.asp?id=3419](http://www.porquebiotecnologia.com.ar/doc/reportes/result_indiv.asp?id=3419)

Investigadores de la Universidad del Estado de Carolina del Norte descubrieron que insertando un gen específico proveniente de un virus de bacterias en el pasto festuca alta le conferían resistencia a dos de sus mayores enemigos. Los científicos mostraron que el gen, correspondiente a la enzima lisozima del

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.



bacteriófago T4 (los bacteriófagos son virus que infectan a las bacterias) era capaz de conferirle a varias pasturas un grado importante de resistencia a la enfermedad de la hoja conocida como "gray leaf spot", y en algunos casos también a la enfermedad llamada "brown patch". Estas dos enfermedades fúngicas son las más importantes y las más severas que afectan a la festuca alta. El hallazgo tiene un potencial muy interesante, porque podría aplicarse para generar resistencia a las enfermedades fúngicas no sólo en la festuca alta, sino también en otros cultivos. El trabajo científico fue publicado recientemente en la revista *Transgenic Research*. Según los científicos, este bacteriófago está presente en todos los ambientes, y emplea a la lisozima para poder romper las paredes de las bacterias y así propagarse hacia otras bacterias sanas. La enzima producida ahora por la festuca transgénica haría lo mismo con los hongos que infectan al pasto. "Se gasta un montón de dinero en fungicidas", señalan los investigadores. "Las plantas resistentes resultarían ventajosas, no sólo económicamente sino también desde el punto de vista ambiental", agregaron.

Responder las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuál fue el desarrollo de los autores del trabajo?
  - b) ¿Qué ventajas tienen las plantas transgénicas obtenidas?
  - c) ¿A qué otro tipo de patógenos se esperaría que tengan resistencia estas plantas transgénicas?
- 
- d) Buscar en la sección Novedades del sitio [www.porquebiotecnologia.com.ar](http://www.porquebiotecnologia.com.ar) otras estrategias que, mediante el desarrollo de plantas transgénicas, hayan resultado en plantas con resistencia a hongos, bacterias o virus.

Respuestas

- a) Desarrollaron festuca alta transgénica portando el gen de la lisozima del bacteriofago T4.
- b) La ventaja es que resisten al ataque de algunos patógenos fúngicos, disminuyendo el gasto de fungicidas y sus efectos ambientales.
- c) Dado que es una enzima presente en un virus de bacterias, se podría esperar que las plantas que la portan también sean menos susceptibles al ataque por patógenos bacterianos.

**Material consulta**

- Buchanan B., Grissem W. y Jones R. "Bioquímica y Biología Molecular de las Plantas". American Society of PLant Physiologists, 2000.
- Jim Donnelly. "Historia de la hambruna irlandesa", escrita para la BBC. Disponible (idioma inglés) en [http://www.bbc.co.uk/history/british/victorians/famine\\_print.html](http://www.bbc.co.uk/history/british/victorians/famine_print.html)
- "Curso Introductorio de Fitopatología", Universidad de Nebraska, edición 2005. Disponible (idioma inglés) en <http://nu-distance.unl.edu/homer/public.html>
- "Enfermedades en cultivos", artículo que describe los diferentes patógenos que causan las enfermedades más comunes en los cultivos, disponible en

---

El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología de ArgenBio. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso.





<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/agricultura/aa-enfermedades/default.htm>

- Imágenes tomadas de:

[www.bio.puc.cl/labs/arce/mosaico.jpg](http://www.bio.puc.cl/labs/arce/mosaico.jpg)

[http://www.ncbi.nlm.nih.gov/ICTVdb/ICTVdB/em\\_tmv.gif](http://www.ncbi.nlm.nih.gov/ICTVdb/ICTVdB/em_tmv.gif)

[http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal\\_Descriptions/Coelomycetes/Colletotrichum/](http://www.mycology.adelaide.edu.au/Fungal_Descriptions/Coelomycetes/Colletotrichum/)

<http://www.viarural.com.ar/viarural.com.ar/agricultura/aa-enfermedades/>

<http://www.sciencedaily.com/releases/2004/06/040625083922.htm>

<http://www.bspp.org.uk/publications/pathprofiles/pathprofile35-1.jpg>