



## Las semillas y el proceso de germinación

Las semillas juegan un rol importante en la agricultura y en la vida del hombre, ya que sirven como medio para propagar plantas de una generación a otra, y obtener alimentos y otras materias primas así como derivados de uso industrial.

Las semillas actuales son el resultado de miles de años de domesticación y décadas de cruzamientos controlados (ver Cuadernos n° 5, 6, 39). La domesticación posiblemente, ha eliminado ciertas características beneficiosas para la supervivencia de las especies y perjudiciales para el productor, pero ha promovido la aparición de otros rasgos provechosos. Por ejemplo, el tamaño y la capacidad de almacenamiento de reservas energéticas, así como la producción de semillas aumentaron en muchos cultivos. Un ejemplo es el teosinte, la planta que es considerada como el antecesor del maíz, que rinde unos 100 kg de semillas por hectárea, mientras que los maíces híbridos modernos pueden producir 8.000 kg de semillas por hectárea.

La mayoría de los cultivos son propagados por semillas. Por esto, las semillas constituyen el sistema primario por medio del cual los fitomejoradores (mejoradores de plantas) transfieren los productos de la biotecnología de plantas a los productores y finalmente a los consumidores.

### La semilla

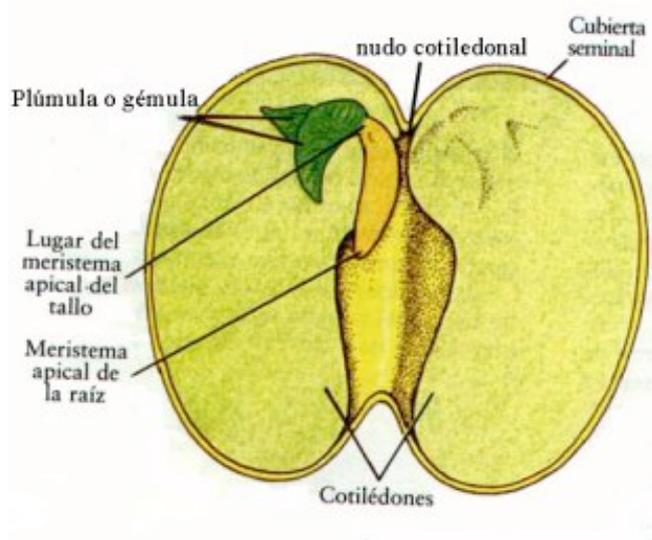
Las semillas contienen el embrión y las sustancias de reserva. El embrión es una planta en miniatura en estado de vida latente. En el embrión pueden reconocerse algunas de las estructuras que van a dar lugar a las distintas partes de la planta adulta. Así, es posible encontrar la **plúmula o gémula** que producirá las primeras hojas; la **radícula**, que formará la raíz primaria, y el **talluelo** que dará origen al tallo de la plántula. Por otro lado, el embrión posee uno o varios apéndices laterales llamados **cotiledones**, que son hojas modificadas. Los cotiledones están unidos al embrión por el **nudo cotiledonal**.

El embrión y las sustancias de reserva están rodeados por una pared denominada **tegumento seminal o epispermo**. Este tegumento posee dos capas llamadas **testa** (la más externa) y **tegmen** (la capa interna) y son derivadas de las capas que componen el tegumento de óvulo. La testa es casi siempre dura y resistente y el tegmen es mucho más delgado. La función del **tegumento** es proteger al embrión y las sustancias de reserva, pudiendo experimentar a veces algunas modificaciones que facilitan la dispersión de la semilla, como por ejemplo formaciones aladas, presencia de pelos, etc.

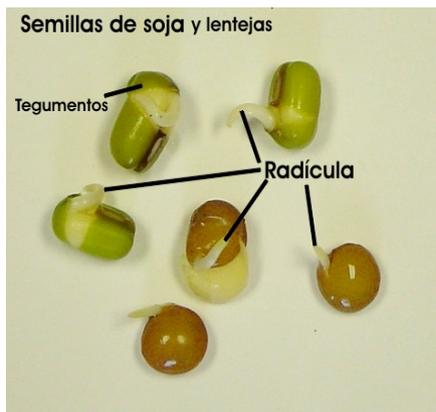
La semilla se forma a partir del óvulo después que la célula ha sido fertilizada por la célula espermática del polen. El **endospermo** es el resultado de la fusión de una segunda célula espermática del polen y una célula especial del óvulo con dos

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

núcleos. Esta única célula, resultado de la fusión da origen al endospermo luego de varias divisiones celulares.



Las partes de la semilla de poroto



Fuente: <http://www3.unileon.es/personal/wfdbvmgg/practica9.htm>

### El desarrollo de la semilla

El desarrollo de las semillas puede dividirse en tres grandes fases:

- 1ª - todas las estructuras y tejidos del embrión se forman como resultado de la división y diferenciación celular.
- 2ª - la semilla crece y se activa el programa de síntesis de reserva. Las sustancias de reserva reemplazan el agua en las vacuolas de las células, reduciendo el contenido de agua hasta en un 40-50%.

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



3<sup>a</sup> - durante la maduración, la semilla se seca, y sintetiza azúcares y proteínas que se unen a moléculas de agua de modo de proteger a las células de la desecación final. El metabolismo de la semilla se detiene y le permite permanecer por largos periodos de tiempo en estado seco. La maduración y pérdida de agua son procesos esenciales en la mayoría de los cultivos, que permite cosecharlos y almacenarlos.

El desarrollo de las semillas termina cuando finaliza el secado, y la planta germina. Cuando la semilla seca incorpora agua, su metabolismo se activa y se suceden la germinación y desarrollo de la plántula. En muchas plantas salvajes, el proceso de maduración es acompañado por **dormancia**, es decir que la semilla retrasa la germinación hasta que las condiciones ambientales son apropiadas para la supervivencia de las plántulas. Esto regula la germinación y la distribuye a lo largo de años, reduciendo la competencia a través de generaciones.

En los cultivos agronómicos la dormancia es un carácter no deseable porque hace que la germinación sea impredecible, impactando sobre el rendimiento. Cuando el hombre inició la selección de cultivos, lo hizo eligiendo aquellas semillas que germinaban rápidamente luego de la estación lluviosa y que crecían durante la estación seca. Esto llevó a una fuerte selección en detrimento del carácter de dormancia. Es por ello que la mayoría de cultivos agronómicos no presentan dormancia. Sin embargo, una pequeña cantidad de dormancia es deseable en algunos cultivos. Esto es porque si llueve antes de la cosecha, los granos de cereales como trigo que crecen en climas templados, estarían listos para germinar mientras están unidos a la planta madre, lo que resulta en una disminución de la calidad del grano causando pérdidas a los productores. En estos casos la dormancia se pierde luego de la desecación, cuando las semillas están por ser sembradas.

### **Las sustancias de reserva**

A diferencia de los animales, las sustancias de reserva que nutren al embrión vegetal no provienen de la "madre" sino que están contenidas en la misma semilla, en órganos embrionarios como los cotiledones, o en tejidos extraembrionarios, principalmente el endospermo.

Al iniciarse la germinación de las semillas, y cuando las células están suficientemente hidratadas, se produce una activación de la síntesis de proteínas y, por lo tanto, la formación de enzimas hidrolíticas que son las que promueven la digestión de las sustancias de reserva para ser utilizadas durante el crecimiento de la plántula. Las reservas almacenadas ayudan al crecimiento de la plántula hasta que asoma al exterior, y la planta puede captar la energía lumínica y nutrirse mediante la fotosíntesis.

Las semillas son una fuente concentrada de carbohidratos, proteínas, y grasas y una fuente significativa de minerales, vitaminas y fibras. Los cereales son la

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

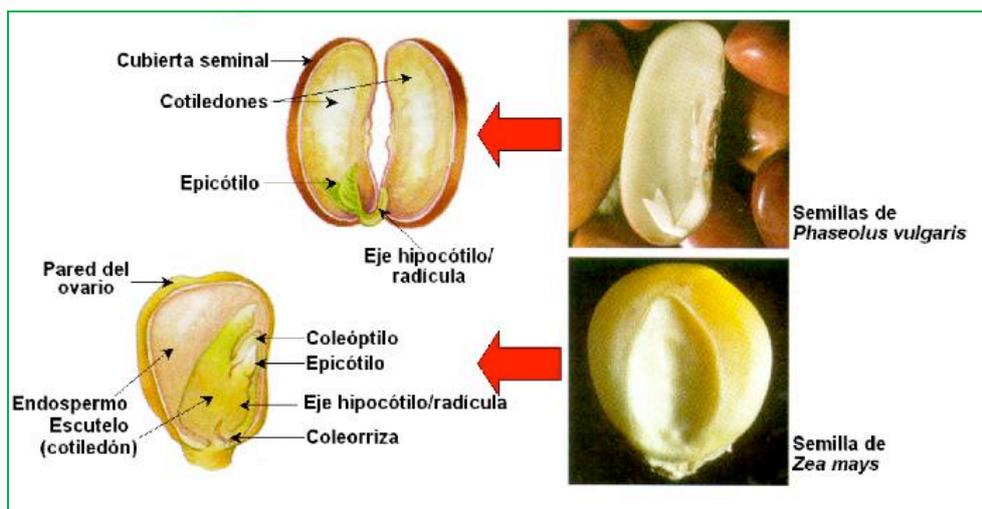
principal fuente de alimento, seguidos por las legumbres y las oleaginosas. Entre los cereales importantes se encuentran el trigo, maíz, arroz, sorgo, avena, cebada, centeno. Entre las legumbres, las más importantes son la soja, el maní y el poroto. La soja es también una oleaginosa, como el girasol, la canola y el lino.

En la semilla madura de los cereales, un 75% del peso seco corresponde al almidón presente en el endospermo y un 12% a proteínas, mientras que el aceite depositado en el escutelo constituye menos del 5%. En las leguminosas el contenido de proteínas es de 25 a 40% del peso seco, con un 40 a 55% de almidón o 25 a 50% de aceite, dependiendo de si se trata de legumbres que almacenan almidón o aceite. La soja por ejemplo presenta un 25% de aceite, mientras que el maní un 50% (ver cuadernos n° 33, 45, 58 y 66). Las semillas también almacenan compuestos antinutrientes como ácido fítico (ver cuadernos n° 95 y 96) o enzimas inhibitoras de la digestión que cumplen una función de protección de los depredadores.

Situaciones de estrés durante el momento de la polinización y fertilización causado por variables ambientales (déficit de agua, temperatura, luz, competencia con otras plantas, y disponibilidad de nutrientes) puede causar que muchas semillas aborten o alterar su contenido y, en consecuencia, disminuir su rendimiento.

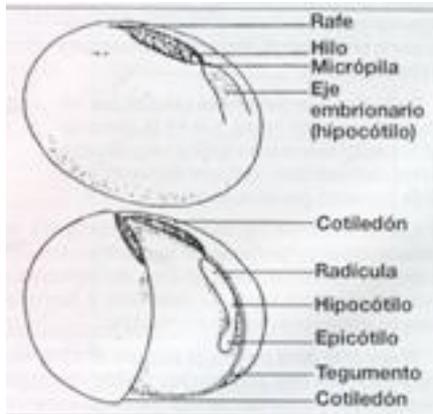
### Diferencias entre monocotiledóneas y dicotiledóneas

A causa de años de selección y cruzamiento, las semillas de cultivos agronómicos contienen más reservas de las habituales para el crecimiento de la planta. En los cereales la mayor parte de la reservas se encuentra en el endospermo, mientras que en las legumbres como la soja o poroto, las reservas están en los cotiledones. En las dicotiledóneas (ej. leguminosas) los dos cotiledones se presentan como dos estructuras prominentes en el embrión maduro pero en las monocotiledóneas (ej. cereales) el único cotiledón o **escutelo** almacena aceite.



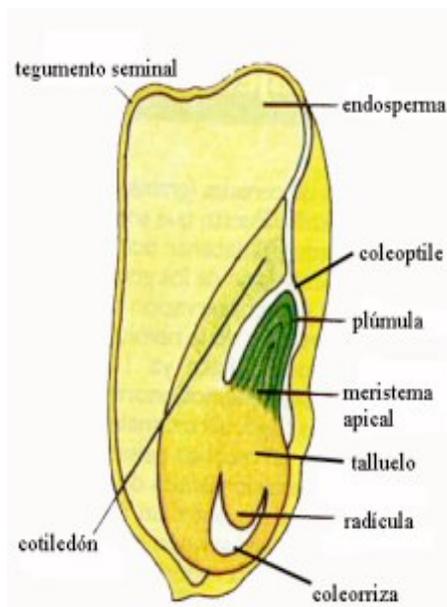
"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa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

Semilla de dicotiledónea (poroto, *phaseolus vulgaris*), y de monocotiledónea (maíz, *Zea mays*).



Cuando se examina una semilla de una dicotiledónea como el poroto (*phaseolus vulgaris*), pueden notarse por su borde cóncavo el **hilio**, la **micrópila** y el **rafe**. El hilio es una cicatriz, señal del sitio donde se insertó un pequeño tallo llamado funículo que mantiene a la semilla unida al fruto. La micrópila es un pequeño orificio, por encima del hilio, por donde penetra el oxígeno y agua. Muy cerca de esta depresión aparecerá la radícula en el momento de la germinación. El rafe es un reborde que resulta de la soldadura del funículo con el cuerpo del óvulo. Por él

se nutre la semilla cuando se encuentra en formación. Si se retira el tegumento seminal, se notan dos estructuras de gran tamaño: los cotiledones y por encima del nudo a la plúmula que está protegiendo al meristemo apical. Finalmente el talluelo es quién generará el tallo por debajo de las primeras hojas.



En una monocotiledónea como el maíz (*Zea mays*), el embrión ocupa el tercio inferior de la semilla y se encuentra rodeado por una sustancia harinosa: el **endospermo**. Puede distinguirse también un pequeño cotiledón, que se halla pegado al endospermo, y está unido al talluelo por el **nudo cotiledonal**. A diferencia de las dicotiledóneas, el embrión de las monocotiledóneas presenta estructuras de protección para la radícula y la plúmula. La **radícula** o raíz embrionaria está protegida por una estructura a modo de capuchón llamada **coleoriza**, que se desgarrará durante la germinación. La **plúmula** también se halla protegida por otra envoltura, el **coleóptile**, formado por parte del cotiledón y que protege a las primeras hojas en su ascenso hacia la

superficie.

### Germinación y crecimiento de las plántulas

Cuando se habla de germinación de semillas, se suele pensar en la aparición de la plántula sobre el suelo, cuando en realidad este proceso se inicia cuando la semilla

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

seca comienza a incorporar agua (período de imbibición) y culmina cuando el embrión se alarga y las raíces empujan y asoman de la semilla o fruto.

Para que una semilla germine se deben dar una serie de condiciones ambientales favorables para los distintos procesos metabólicos que permiten el desarrollo de la plántula, como la existencia de un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno y, una temperatura adecuada. Algunas semillas también requieren luz total mientras que otras requieren oscuridad. Sin embargo, aún cuando las condiciones ambientales sean adecuadas para la germinación, las semillas de muchas especies son incapaces de germinar. Esto se conoce como **latencia** o **letargo**, y esta ligada a causas intrínsecas de las semillas o frutos como la madurez o viabilidad, pero también a efectos ambientales.

En el proceso de germinación se distinguen tres fases:

1. **Hidratación:** se produce una intensa absorción de agua por parte de los distintos tejidos que forman la semilla, un aumento proporcional en la actividad respiratoria y una secuencia de cambios metabólicos, que incluyen la respiración, la síntesis de proteínas y la movilización de las sustancias de reserva.
2. **Germinación:** transformaciones metabólicas necesarias para el correcto desarrollo de la plántula. La absorción de agua se reduce llegando incluso a detenerse.
3. **Crecimiento:** la absorción de agua vuelve a aumentar, así como la actividad respiratoria. Las células del embrión comienzan a agrandarse, la cáscara de la semilla empieza a abrirse, y la raíz o radícula emerge primero, seguido por la plúmula que contiene hojas y tallo. Comprende el inicio del crecimiento de la plántula y la movilización de las reservas.

¿Cómo es el proceso de germinación de la soja (dicotiledónea)?

#### Germinación de la soja



Fuente: [http://www.ecoaldea.com/imgplmd/soja\\_germinacion.gif](http://www.ecoaldea.com/imgplmd/soja_germinacion.gif)

En primer lugar la semilla de soja se hincha debido a que absorbe agua a través de la micrópila. Esto le permite ablandar los tejidos internos y el tegumento para que

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



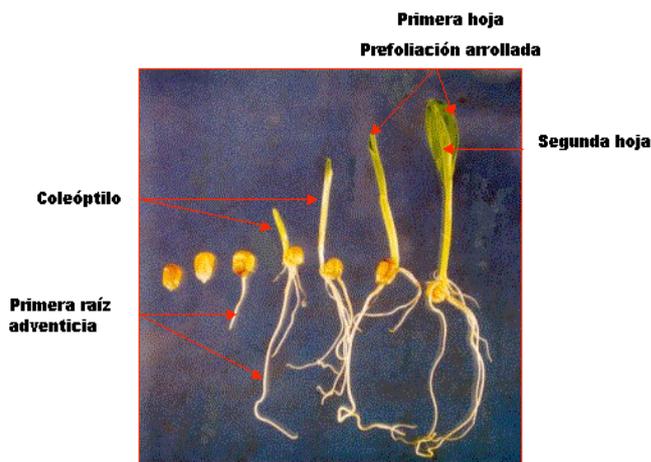
pueda asomar la radícula. Luego, el hipocotilo asoma hacia la superficie pero, como los cotiledones aún permanecen bajo tierra, se curva un poco formando una estructura conocida como *asa germinativa*. La radícula cambia su anatomía y se transforma en la raíz primaria. El tegumento de la semilla se rasga permitiendo que asomen los cotiledones. Los cotiledones emergen a la superficie protegiendo al primer par de hojas juveniles. La raíz primaria comienza a ramificarse lateralmente formando las raíces secundarias. Los cotiledones se abren permitiendo el crecimiento de la plúmula o gémula, que originan el primer par de hojas. Hasta que estas hojas puedan generar el alimento para la plántula, los cotiledones se vuelven verdes y pueden realizar fotosíntesis durante cierto tiempo. Las raíces secundarias continúan su crecimiento aún después de haberse detenido el desarrollo de la raíz primaria.

La plántula sigue desarrollándose y se diferencian segmentos a lo largo del talluelo. Por debajo de los cotiledones se distingue el hipocotilo y por encima de estos, el epicotilo. Las primeras hojas se expanden y comienzan a fotosintetizar, dejando expuesto el meristemo apical que dará lugar al resto de la planta. Los cotiledones se marchitan y caen dejando una cicatriz en el talluelo que corresponde al nudo cotiledonal. Aparecerán el tallo y las demás hojas.

#### ¿Cómo es el proceso de germinación de una monocotiledónea como el maíz?

En primer lugar el fruto de maíz se hincha como consecuencia de la absorción de agua lo que genera el ablandamiento del pericarpio (cobertura del fruto) y de los tejidos internos. En este momento la coleriza se rompe permitiendo que asome la radícula hacia el exterior. Luego, el coleóptilo sale hacia la superficie a través de la tierra protegiendo a la plúmula en su interior. En el caso del maíz el cotiledón permanece siempre bajo tierra. La radícula cambia su anatomía y se transforma en la raíz primaria. El coleóptilo se rasga permitiendo que asomen las primeras hojas. A los siete días aproximadamente la raíz primaria deja de crecer, se seca y muere. Comienzan a aparecer entonces otras raíces a nivel del nudo cotiledonal llamadas raíces adventicias. Las primeras hojas se expanden y comienzan a fotosintetizar. A partir del meristemo apical se desarrollan nuevas hojas envainadoras las cuales marcarán diferentes sitios de localización de los nudos. Estos nuevos nudos difieren del nudo cotiledonal.

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



Fuente:

[http://www.cyta.com.ar/semilla/germinacion/germinacion\\_archivos/figura\\_14.gif](http://www.cyta.com.ar/semilla/germinacion/germinacion_archivos/figura_14.gif)

### Viabilidad de las semillas y tecnologías usadas para mejorar la germinación

La viabilidad de las semillas es el período de tiempo durante el cual las semillas conservan su capacidad para germinar; depende del tipo de semilla y de las condiciones de almacenamiento. En general, la vida media de una semilla se sitúa entre 5 y 25 años, aunque existen algunas especies con una cubierta seminal dura, como las leguminosas, cuyas semillas pueden germinar después de decenas o centenas de años. El caso más extremo es el de las semillas de *Nelumbo nucifera* con una antigüedad de unos 250 a 400 años. Por el contrario, hay algunas especies cuyas semillas no sobreviven más que algunos días o meses, como es el caso de las semillas de arce (*Acer*), sauces (*Salix*) y álamos (*Populus*).

Las semillas pierden su viabilidad por causas muy diversas. Una semilla será más longeva cuanto menos activo sea su metabolismo. Las bajas temperaturas dan lugar a un metabolismo mucho más lento, por lo que las semillas en esas condiciones viven más tiempo que las conservadas a temperatura ambiente. La deshidratación, también alarga la vida de las semillas, más que si se conservan con su humedad normal.

Los tiempos y porcentajes de germinación y emergencia de plántulas son criterios importantes en la producción de cultivos. La germinación de semillas de cultivos sin dormancia puede ser afectada, como se vio anteriormente, por factores ambientales como la temperatura y la humedad. Aunque muchas especies pueden desarrollarse en un rango amplio de condiciones ambientales, las altas o bajas temperaturas, o la escasez de agua pueden reducir el porcentaje de germinación de las semillas. Es por ello que, en algunos casos, ciertas tecnologías pueden mejorar

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



fisiológica o físicamente la tasa de germinación, entre ellas la “**imprimación**”, “coating” o “peleteado”

La **imprimación** es una tecnología que controla la toma de agua por parte de la semilla y permite que la germinación comience antes de la imbibición completa. De esta forma, aumenta el porcentaje y la tasa de germinación de las semillas bajo un amplio rango de condiciones y mejora el vigor y crecimiento de las plántulas. Puede realizarse por inmersión de las semillas en soluciones de ciertas sustancias disolventes, como polietilenglicol, nitrato de potasio o manitol, por introducción controlada de pequeñas cantidades de líquido en las semillas, o por mezcla de las semillas con materiales sólidos como tierra de diatomeas o vermiculita conteniendo agua para controlar la toma de agua por parte de las semillas. Después de este proceso las semillas retienen tolerancia a la desecación y pueden ser desecadas para su almacenamiento y transporte. Sin embargo, estas semillas no pueden almacenarse por mucho tiempo y deben ser cuidadosamente manipuladas. Ese tipo de técnica ha sido aplicado para muchas hortalizas y ornamentales, como lechuga, tomates, zanahorias, pensamientos y algunos pastos de las cuales la cantidad de semilla disponible suele ser pequeña y el valor muy alto. Para cultivos como maíz, trigo, algodón o soja, de los que es posible disponer de muchas semillas y los costos son más bajos, el proceso de priming es caro y dificultoso. En este caso lo que los productores hacen es usar más cantidad de semillas para asegurarse la germinación y rendimiento esperado.

Un punto importante en la mejora de cultivares y producción de semillas es la existencia de procesos de certificación de calidad de semilla que implementan las compañías semilleras para ofrecer al productor semillas con alto poder germinativo y rendimiento.

Otras tecnologías pueden mejorar el desarrollo y establecimiento de los cultivos. Por ejemplo la inoculación de semillas de leguminosas como soja o alfalfa con biofertilizantes conteniendo especies de *Rhizobium* (ver cuaderno n° 24, 87) para ayudar a la fijación de nitrógeno atmosférico. Por otro lado las semillas son tratadas con fungicidas o insecticidas para conservarlas en buen estado y proteger a las plántulas de las plagas y enfermedades (ver Cuaderno n° 93). Los programas de semillas tienen una importante función en la prevención de dispersión de enfermedades a través de semillas contaminadas. Muchos países tienen regulaciones fitosanitarias que monitorean estrictamente la presencia de enfermedades en los campos de producción de semillas o directamente en las semillas. La detección y monitoreo de enfermedades en semilla han sido facilitados por el desarrollo de tests de laboratorio en los cuales los patógenos son cultivados a partir de las semillas e identificados por anticuerpos o técnicas de amplificación de ADN (ver cuadernos n° 67 y 108)

La tecnología de coating de semillas con polímeros biodegradables de almidón permite hacer más lenta la imbibición y prevenir el daño de células que la imbibición

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



rápida puede provocar en suelos fríos. Otros polímeros tienen permeabilidad al agua dependiente de la temperatura que proviene la imbibición hasta una temperatura adecuada. A su vez el coating o peleteado pueden ser usados para dar forma más regular a semillas de tamaños o formas irregulares para que puedan ser sembradas por máquinas.

### **Las semillas y la biotecnología de plantas**

Las nuevas y únicas características que agregan valor agregado al cultivo son vendidas a los productores a través de las semillas. El mejoramiento genético incrementa el valor de las semillas, pero el valor agregado desarrollado a través de la biotecnología debe ser incorporado a variedades elite de alto rendimiento, alta calidad y resistencia a enfermedades para que pueda ser aprovechado con éxito por los productores (ver cuadernos n° 6, 27, 33, 70 y 90). Esto ha provocado la fusión entre compañías de producción de semillas y aquellas que generan biotecnología de cultivos.

Entre las posibles aplicaciones de la biotecnología moderna, la producción de semilla sintética y el manejo de la apomixis (ver Cuaderno n° 56) constituyen herramientas alternativas poco desarrolladas hasta el momento pero que tienen un amplio potencial en la agricultura.

La mayoría de las plantas de interés económico se propagan mediante semillas verdaderas. Sin embargo, existen muchas plantas que no se propagan mediante semillas verdaderas y lo hacen a través de sus partes vegetativas, como la caña de azúcar, frutilla, papa, varios árboles y plantas ornamentales. Otras especies tienen semillas de baja calidad o presentan dificultades para germinar o no producen semillas verdaderas. En estos casos el uso de semillas sintéticas resultaría ventajoso.

Las semillas sintéticas son el resultado de la aplicación en agricultura del fenómeno de embriogénesis somática (ver cuadernos n°35 y 56). Esta semilla se diferencia de la semilla verdadera en que el embrión es producido por el fenómeno conocido como embriogénesis somática, y no cigótico, y que tiene endosperma y cubierta. Cuando estas semillas son puestas en condiciones adecuadas, germinan y se convierten en plantas.

Existen diferentes mecanismos para producir semillas sintéticas, entre las que pueden mencionarse alfalfa, zanahoria, apio y especies forestales como *Picea abies*, *Pinus radiata* y *Pseudotsuga*.

Algunas plantas con flores forman semillas que contienen embriones genéticamente idénticos a la planta madre, sin que intervengan los procesos de meiosis y fecundación. Este modo asexual de reproducción se llama apomixis (ver cuadernos n° 35, 56 y 70) y fue descrito en más de 400 especies de plantas. Aunque desde el punto de vista del mejoramiento genético la apomixis puede considerarse como un sistema que restringe la recombinación genética, esta forma de reproducción

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



constituye una herramienta única para desarrollar cultivares superiores y preservar combinaciones híbridas indefinidamente. Los primeros experimentos dirigidos a introducir la apomixis a través de cruzamientos fueron realizados hace más de 40 años.

El entendimiento de las bases moleculares de la apomixis se ha incrementado a causa del desarrollo de técnicas de biología molecular y al creciente interés en el tema despertado en las instituciones científicas. Los resultados obtenidos hasta ahora han contribuido al mejoramiento de las especies, como es el caso de las gramíneas forrajeras tropicales y subtropicales. Es de esperar que en los próximos años el conocimiento de las bases genéticas y moleculares del carácter se incremente considerablemente y con esto sea posible la comprensión del mecanismo biológico responsable de la apomixis, así como su transferencia a las especies de gran cultivo.

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



## CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

Aunque para los alumnos resulta casi una obviedad que “se coloca la semilla en la tierra y crece una planta”, la relación entre este hecho y el ciclo de vida de la planta, la reproducción sexual, la flor y el fruto, suele ser conflictiva en la enseñanza. Especialmente en alumnos que tiene poco contacto en su vida cotidiana con la vegetación y los cultivos.

En la escuela primaria suelen hacer la experiencia de la germinación del poroto, y generalmente los alumnos lo recuerdan, pero cuesta establecer relaciones entre estos conocimientos y otros que adquieren más adelante, como la fotosíntesis, las flores, los frutos, y la relación con esa semilla que vieron germinar en un frasco. Es por este motivo que volver sobre estos temas, y establecer esas relaciones, resulta interesante cuando lo alumnos cuentan ya con más herramientas que les permiten establecer estas relaciones conceptuales. Incluso, resulta útil usar el caso de las semillas y los embriones que crecen dentro, para compararlo y estudiar el fenómeno de la reproducción y el crecimiento embrionario en otros organismos, como los animales.

Se sugiere empear estos temas y las actividades que se proponen a modo de actividad integradora, luego de estudiar temas de reproducción en diferentes organismos, y el desarrollo de los nuevos organismos.

Las actividades pretenden poner énfasis en el trabajo a partir de representaciones gráficas (esquemas, ilustraciones). Por ejemplo, a partir de los esquemas se puede ahondar en el concepto de ciclo, como un proceso continuo y repetitivo que culmina en un punto desde donde vuelve a comenzar. Se puede relacionar con el ciclo de la materia, o el ciclo del carbono, o del agua, incluso con el concepto de reciclaje, entre otros.

Las actividades experimentales también hacen hincapié en la observación y en el registro de los datos observados. Es interesante trabajar con los alumnos la idea de observación y la diferencia con la *interpretación de lo observado* a partir de los conceptos aprendidos. Es decir que la observación no es “ingenua” sino que está mediada e influenciada por los conceptos trabajados y en ocasiones por lo que el docente desea que los alumnos vean. Por esto es importante, que los alumnos puedan ilustrar lo que ven, y se puede trabajar luego a partir de estas ilustraciones.

## ACTIVIDADES

### Actividad 1: ¿Qué hay dentro de una semilla?

Mediante esta actividad se pretende que los alumnos reconozcan las diferentes partes de una semilla y que dentro de ella se encuentra el embrión, a partir del cual surgirá una nueva planta.

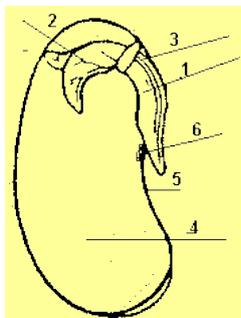
**"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa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

### Materiales y métodos

- Semillas de porotos y lentejas (La noche anterior a realizar el trabajo práctico dejar las semillas en remojo en un recipiente con agua)
- Hojas blancas
- Pinzas para trabajar con las semillas
- Lupas (no son imprescindibles pero facilitan la observación)

### Metodología de trabajo

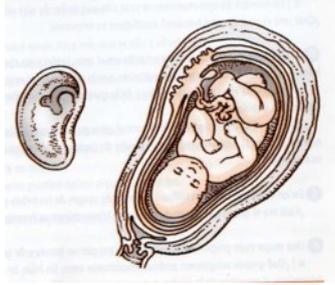
1. Proponer a los alumnos que imaginen tomen una hoja en blanco, la dividan en dos y en una parte dibujen el interior de una semilla tal cual la imaginan. Cuando hayan terminado el dibujo, los alumnos deberán guardar las hojas para utilizarlas más adelante.
2. Trabajar con las semillas remojadas. Con mucho cuidado, tratando de que no se rompan, sacar la cáscara de varias de las semillas.
3. Las semillas, ahora sin la cáscara, aparecen divididas en dos partes. No separarlas totalmente y observar. Si cuentan con lupas, pueden utilizarlas para mirar las partes más pequeñas del interior de las semillas.
3. Buscar la hoja que ya utilizaron. En la mitad libre dibujar cómo ven la semilla por dentro. Comparar los dos dibujos y ver en qué se parecen y en qué se diferencian.
4. Observar y comparar los dibujos de los compañeros.
5. A partir de lo estudiado completar el siguiente esquema de una semilla con los nombres que aparecen a continuación: **hipocótilo; epispermo, micrópilo, radícula, plúmula, cotiledón.**



**Respuestas: 1) radícula, 2) plúmula, 3) hipocótilo, 4) cotiledón, 5) epispermo, 6) micrópilo.**

6. Comparar el dibujo anterior con el realizado por los alumnos, y completar los rótulos o las partes faltantes.
7. Analizar la siguiente ilustración, y responder a las preguntas:

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



- Redacten un breve texto para explicar qué representan estas ilustraciones.
- ¿Cuál es el tipo de reproducción, sexual o asexual, que da origen a cada una de estas estructuras?
- ¿Dónde se alojan estas estructuras, dentro o fuera del cuerpo materno?
- ¿De dónde obtiene alimentos cada uno de los individuos que se muestran en las ilustraciones?
- ¿Cómo se nutre cada uno de estos individuos una vez que “salen” al mundo exterior? ¿De dónde obtienen alimentos y oxígeno?

### Respuestas

- Las ilustraciones representan el desarrollo del embrión, en un caso dentro de la semilla (vegetal) y en el otro dentro del vientre materno (animal).
- En ambos casos se trata de reproducción sexual.
- en el caso vegetal ocurre fuera del cuerpo materno, y en el caso animal dentro del vientre materno.
- El embrión vegetal obtiene alimentos de los componentes almacenados en la semilla, mientras que el embrión animal lo obtiene directamente de su madre.
- Las plantas fabrican su propio alimento a través de la fotosíntesis, y el oxígeno del ambiente (aire, agua). Los animales se alimentan a partir de productos de otros organismos, y el oxígeno lo obtienen, al igual que las plantas, del entorno.

### Actividad 2. Semillas y “semillita”

Analizar la siguiente situación y resolver la consigna.

“El papá le pone una semillita a la mamá”. Esta frase todavía se utiliza en el lenguaje cotidiano para explicar a los más chicos el proceso de reproducción sexual. La utilización del término “semillita” lleva a un error conceptual en cuanto a dos estructuras diferentes en su composición y en su función: la semilla y el espermatozoide. Proponemos elaborar junto con los alumnos un cuadro como el que figura a continuación en el cual se pone de manifiesto la diferencia entre ellas:

### Respuestas sugeridas

| semilla                           | espermatozoide        |
|-----------------------------------|-----------------------|
| • está formado por muchas células | • es una única célula |

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



- incluye al embrión, con alimentos de reserva y la envoltura que lo protege
- se forma después de la fecundación
- se encuentra solo en los vegetales
- es la célula sexual masculina
- se forma antes de la fecundación
- se encuentra en vegetales y animales

### **Actividad 3: La germinación: ¿Qué cambios se producen en la germinación?**

El embrión es una pequeña planta que está en el interior de la semilla y que crece hasta transformarse en una verdadera planta que aparece sobre la tierra. Todo este proceso de transformación ocurre bajo la tierra y no es posible verlo. Para descubrir que es lo que sucede con la semilla durante ese proceso de transformación en una planta, se propone a los alumnos armar unos “germinadores”.

En esta actividad el docente podrá realizar una introducción a la germinación. Se llama germinación al proceso por el cual el embrión crece y se desarrolla hasta transformarse en una planta. Germinadores son los recipientes en los que las semillas germinan y en los que se pueden ver algunos cambios que suceden mediante un proceso.

#### **Materiales:**

- ü Semillas de maíz, porotos y lentejas;
- ü Papel secante, algodón, recipientes transparentes (preferentemente de plástico), bandejas de telgopor chatas;
- ü Hojas blancas y lápices negros.

#### **Metodología:**

- Para realizar esta actividad, agrupar a los alumnos de a cuatro o cinco chicos. Cada grupo armará dos germinadores.
- En el germinador el papel secante debe tocar el algodón.
- Cuando los germinadores estén listos, ubicar en uno de ellos las semillas de porotos y en el otro, las de maíz o lentejas.
- Es muy importante que las semillas queden ubicadas entre el frasco y el secante pero sin tocar el fondo. Pegar un etiqueta con el nombre de la semilla, en cada caso.
- Para germinar, las semillas necesitan agua. En los germinadores, el agua se agrega sobre el algodón. El agua del algodón pasa al papel secante y llega a las semillas. El algodón debe estar húmedo, es decir, apenas mojado. Si los

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



- germinadores tienen agua en exceso, puede suceder que las semillas se pudran antes de germinar.
- f. Ubicar los germinadores en el aula en un lugar donde puedan permanecer más o menos un mes.
  - g. Armar un cuadro como el siguiente para ir registrando las modificaciones que se produzcan en las semillas.

| Semilla  | 2 días | 5 días | 10 días | 15 días | 20 días | 25 días | 30 días |
|----------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Poroto   |        |        |         |         |         |         |         |
| Lentejas |        |        |         |         |         |         |         |
| Maíz     |        |        |         |         |         |         |         |

Registrar los cambios a través de dibujos y anotaciones: semilla hinchada o no hinchada, aparición de raíz, aparición de cotiledones, aparición de primeras hojas verdaderas, desprendimiento de cotiledones, longitud de la plántula, longitud de la planta y n° de hojas a los 30 días. El registro de los cambios terminará cuando la planta haya crecido y ya no puedan distinguir la semilla. No es necesario que todos juntos realicen las observaciones. Pueden nombrar a un encargado por vez. El registro les permitirá mostrar al resto de sus compañeros las modificaciones que se vayan produciendo.

El algodón debe estar húmedo durante todo el proceso de germinación, porque si se seca, puede ser que la planta no crezca o detenga su crecimiento. Para asegurar la humedad el mismo alumno que se ocupe de observar los cambios puede ser el responsable de controlar el algodón. Y, si es necesario, agregar agua.

Una vez que germinaron, las plantas necesitan agua, aire, luz y tierra para vivir. Por lo tanto el germinador ya no será el lugar adecuado para tenerlas. En ese momento, se deberá pasar las plantas a un lugar con tierra: un cantero de la escuela, una maceta, etc.

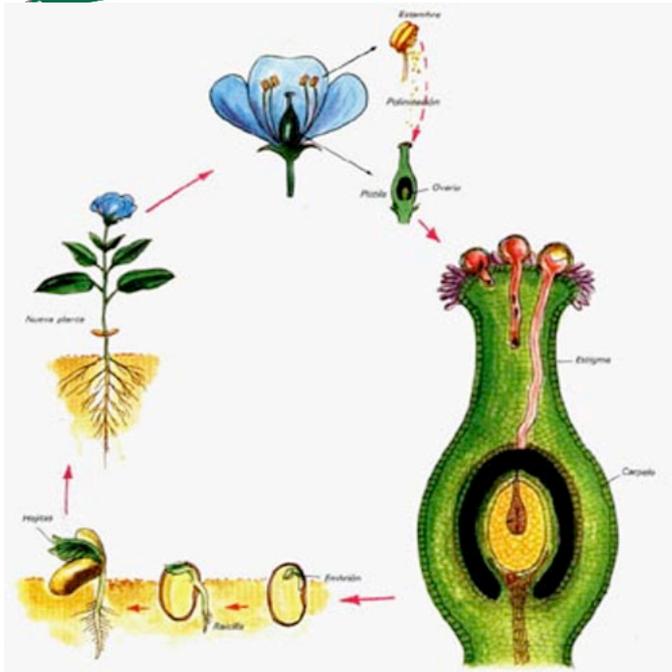
Al final de las observaciones deberán contestar la pregunta de inicio de la actividad.

¿Qué cambios se producen en la semilla hasta que se transforma en planta? ([Ver teoría del Cuaderno “¿cómo es la germinación de una dicotiledónea y una monocotiledónea?”](#))

#### **Actividad 4. De la semilla a la planta y de la planta a la semilla**

Analizar el siguiente esquema, y buscar información que lo describa. Redactar luego un texto para explicarlo. Relacionar las estructuras representadas, su función y el ciclo completo representado.

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



### Respuesta:

Ciclo vital de una planta con flor. La ilustración muestra las etapas de polinización, el trayecto que sigue la gameta masculina hasta el óvulo, y la fecundación dentro del ovario que llevará a la formación del fruto y la semilla. Luego la semilla cae y de ella crece una nueva planta, que comienza un nuevo ciclo vital. Una planta que florece está madura para la reproducción. Las flores contienen los órganos reproductores de la planta. En este es un organismo hermafrodita: tiene órganos reproductores masculinos y femeninos. Las estructuras reproductoras masculinas se llaman *estambres*. Puede haber más de un estambre por flor y, en conjunto se llaman *androceo*. Cada estambre está formado por una *antera*, donde se producen los granos de *polen* y un *filamento* de sostén. Los *carpelos* son las estructuras reproductoras femeninas y, en conjunto, forman el *gineceo*. Cada carpelo está formado por un extremo superior pegajoso, llamado *estigma*, una base ensanchada, el *ovario*, y un conducto que comunica a ambos, el *estilo*. Las estructuras más externas de la flor son los *sépalos* (en conjunto forman el *cáliz*) que cierran y protegen a la flor en desarrollo. Luego están los *pétalos* (en conjunto forman la *corola*) que tienen colores llamativos que atraen a insectos y animales que acuden a ellas por sus reservas de alimento.

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



## MATERIAL DE CONSULTA

1. ECHENIQUE, RUBINSTEIN Y MROGINSKI (eds) "Biotecnología y Mejoramiento Vegetal" (2004) Ediciones INTA.
2. AZCON BIETO, J. Y TALON, M. 2002. Fundamentos de Fisiología Vegetal. Mc Graw Hill.
3. BARCELO COLL, J. ; RODRIGO, G. N. ; SABATER GARCIA, B. Y SANCHEZ TAMES, R. 1992. Fisiología Vegetal. Ediciones Pirámide S. A. Madrid. 6ª Edic.
4. MONTALDI, E. R. 1995. Principios de Fisiología Vegetal. Ediciones Sur. La Plata. Argentina.
5. SALISBURY, F. B. Y ROSS, C. W. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana S. A. De C.V. Col. San Rafael, México D. F.
6. SIVORI, E. ; MONTALDI, E. Y CASO, O. H. 1980. Fisiología Vegetal. Edit. Hemisferio Sur. Bs. As.
7. [http://www.educared.net/aprende/anavegar8/profes/unidades/ud2/\\_ud2\\_1.html](http://www.educared.net/aprende/anavegar8/profes/unidades/ud2/_ud2_1.html). Guía didáctica para realizar un experimento sobre crecimiento de la planta. Educared.
8. <http://www.cyta.com.ar/semilla/germinacion/germinacion.htm> Documento "Germinación y plántula" de la página de Ciencia y técnica administrativa.
9. <http://www.sdnhm.org/education/binational/curriculum/semillas/act1cover.html>. Museo de Historia Natural de San Diego. Actividad y teoría "Las maravillas de la semillas"
10. <http://www.inase.gov.ar/tikiwiki/tiki-index.php>. Instituto Nacional de Semillas
11. <http://www.inta.gov.ar>
12. <http://www3.unileon.es/personal/wfdbvmgg/practica9.htm> guión de prácticas de **biología**. Área de botánica. Facultad de Educación. Universidad de León.
13. <http://www.cyta.com.ar/semilla/tabladecontenido.htm> SEMILLAS. Un Punto de Vista Agronómico. Ingeniera Agrónoma Patricia Perissé. Septiembre 2002. Impreso en Argentina CyTA. <http://www.cyta.com.ar>. Córdoba, Argentina. Educación, Ciencia y Cultura para todos
14. Evite los Conceptos Erróneos cuando Enseñe sobre las Plantas. Por David R. Hershey. Un artículo original de ActionBioscience.org (08/2004). <http://www.actionbioscience.org/esp/educacion/hershey2.html>

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