

Liliana Elisabet Mosso, Sergio Tedesco

SEGUNDA EDICIÓN

BIOLOGÍA III



3^{er} año Secundaria

Muestra distribuida por la editorial

ÍNDICE

Primera parte. Las relaciones de los seres vivos con el medio

Capítulo 1. Organismos unicelulares y plantas	9
Un viaje al “Reino del Revés”	9
Adaptaciones fisiológicas o funcionales	10
Adaptaciones etológicas o comportamentales	10
El estímulo y la respuesta	11
Diferentes tipos de estímulos y respuestas	11
El mundo microscópico: la “torre solidaria” y otras cosas sorprendentes	12
Cuando la pluricelularidad complejiza las cosas	14
La respuesta a la auxina a nivel celular. Otras acciones de la auxina	18
El crecimiento reproductivo: cuando las hormonas no bastan	22
Otras hormonas que producen reacciones en los vegetales	22
La hormona del fotoperíodo	25
¿Plantas que duermen o plantas con reloj?	26
Plantas que se mueven... ..	28
Una última reflexión sobre las plantas... ..	29
 Capítulo 2. Animales	31
De nuevo en el “Reino del Revés”: conductas o comportamientos	31
¿Cómo y para qué? Dos enfoques del estudio del comportamiento	33
La importancia de los sentidos: distintas formas de percibir cambios del ambiente	34
Olores y sabores... ..	36
El tacto	37
Vibraciones, sonidos y ecos... ..	38
¿De color ultravioleta?	41
¿Un sexto sentido?	43
Los mecanismos de adaptación menos visibles: regulación del medio interno	44
¿De dónde sacan calor los seres vivos?	47
Del estímulo a la señal: los disparadores de las conductas	50
¿Heredado o aprendido? ¿Innato o adquirido?	53
La importancia de aprender	54
El aprendizaje social	57
Herencia y evolución del comportamiento	58
Comportamiento social	60
Sociedades animales	60
El comportamiento social también incluye a veces vínculos interespecíficos	62
¿Por qué algunos animales aprenden y otros no? El papel del sistema nervioso	64
Cómo huir de un enemigo: la coordinación neuroendócrina	65

Segunda parte. Regulación e integración de funciones

Capítulo 3. Las relaciones entre las células de un individuo pluricelular..... 67

La simple vida de un unicelular frente a la complejidad de los pluricelulares	68
Diferentes estrategias para la supervivencia	68
¡Todas para uno... y uno para todas!	70
Todo es cuestión de comunicación	71
Características de la membrana celular	73
Especificidad ligando-receptor: como una llave en su cerradura	75
El reconocimiento virus-célula	75
Diez datos sobre el sida	78
El rechazo de sangre no compatible durante una transfusión (unión antígeno-anticuerpo)	79
Anticuerpos para combatir enfermedades.....	82
El viaje de la señal o ligando hasta el receptor: ¿comunicación local o larga distancia?	82
¿Cómo responden las células a las señales recibidas?	84
Inducción al crecimiento celular diferencial y orientación hacia la luz del tallo en plantas	85
Inducción a la división celular para cicatrizar heridas	85
Inducción a la migración celular durante el desarrollo embrionario	85
Inducción al movimiento de las fibras musculares por orden de células nerviosas.....	86

Capítulo 4. Coordinación nerviosa en los seres vivos 91

Allá lejos y hace tiempo... ..	91
Cerebro y comportamiento: más enigmas que certezas	93
¿Cuestión de tamaños?	93
Evolución del sistema nervioso en animales	94
Estructura y funciones del sistema nervioso humano	96
Sistema nervioso central	97
Sistema nervioso periférico	99
De la célula al tejido y de este al órgano: composición del sistema nervioso	101
¿Blanco o gris? ¡Sistema nervioso bicolor!	103
¡Con los nervios de punta!	105
Clasificación de los nervios	105
Neuronas y compañía: el tejido nervioso	106
Receptores de estímulos	106
Efectores (respuestas motoras)	107
Funcionamiento integrado del sistema nervioso central y periférico	110
Actos reflejos individuales.....	110
Actos voluntarios	112
Actos reflejos integrados para responder ante un peligro.....	116
Un viaje al interior de las neuronas: ¿cómo logran transmitir el impulso nervioso?	117
La sinapsis	120
Cuando nuestros ojos perciben lo que no es: las ilusiones ópticas	127

Capítulo 5. Sistema endocrino	128
Un poco de historia	128
La importancia de la glucosa	129
Glucogénesis	130
Glucogenólisis	130
Todo es cuestión de comunicación	130
Mensajes, mensajeros y químicos	131
Héroes y villanos	132
El páncreas, un órgano que vale por dos	133
Un ejemplo de la vida real	133
Autorregulación	134
Tres son multitud	135
El sistema endocrino: regulación hormonal del organismo	135
Con ustedes, la hipófisis	135
El tercer ojo	138
La glándula tiroides	139
Las glándulas paratiroides	140
Un caso para pensar	141
Las gónadas	141
Las hienas que se hacen los machos	142
El ciclo menstrual femenino	142
Hecha la ley, hecha la trampa	143
Glándulas adrenales o suprarrenales	143
Médula suprarrenal	144

Tercera parte. Del ADN al organismo

Capítulo 6. El papel del ADN	146
Las moléculas de la vida	146
Otros químicos importantes	146
Las proteínas	147
Enzimas	148
Su estructura molecular	149
Niveles de organización	150
Información genética	151
Cómo fabricar una proteína	152
Transcripción	158
Traducción	160
Del ADN a la proteína	163
Código genético	164
Mutaciones	166
Darwin y los ojos celestes	167

Mendel y el tallo de las plantas	168
Los mutantes	168
Cuando el hombre manipula los genes: ¿realidad o ciencia ficción?.....	169
El origen de la biotecnología	171
La biotecnología moderna: nuevos horizontes y herramientas	171
La manipulación genética	172
Los transgénicos	172
Las terapias génicas: manipular genes para curar enfermedades	174
Bibliografía	175

*Primera parte**Las relaciones de los seres vivos con el medio**Organismos unicelulares y plantas***UN VIAJE AL “REINO DEL REVÉS”**

Les proponemos comenzar con un viaje imaginario a un lugar en donde la naturaleza se comporta de manera muy extraña. Allí no solo “nada el pájaro y vuela el pez”, sino que también suceden otras cosas no menos intrigantes: las semillas brotan con las raíces hacia arriba, mientras que las hojitas se van hundiendo en el suelo, los pájaros se olvidaron de cómo construir su nido, las arañas se asustan y se alejan cuando algún insecto quedó atrapado en su tela, los ciervos no saben cómo buscar pareja, las chimpancés no saben cómo cuidar a sus crías, las ballenas tiritan de frío en el agua helada y no recuerdan cómo nadar, los gatos no atrapan ratones, las flores nunca se abren... ¿Qué más se les ocurre que puede suceder en el Reino del Revés?

Según lo que sabemos sobre la **teoría de la evolución**, que un pez vuele o un ave nade es poco común (solo se encuentran unos pocos casos como el pingüino –un ave nadadora– y el pez volador, que puede hacer planeos cortos en el aire), dado que las adaptaciones que cada uno adquirió y acumuló durante cientos o miles de años los han preparado para poder sobrevivir en medios muy específicos, que han ejercido **presión de selección** para que se favorecieran ciertas características por sobre otras menos ventajosas. De este modo, como resultado del proceso de **selección natural** sobre las particularidades (o diversidad) en los individuos, se ha llegado a configurar la “forma pez”: cuerpo alargado hidrodinámico, escamas, aletas, respiración por branquias. Lo mismo ocurrió con la “forma ave”: alas, cuerpo emplumado, huesos muy livianos, pulmones para respirar.

Este tipo de modificaciones, llamadas **adaptaciones morfológicas**, se fueron adquiriendo a largo plazo, dado que, en el proceso evolutivo, no todas las características aparecen simultáneamente en un mismo individuo. Un proceso es, justamente, el conjunto de fases sucesivas que dan lugar

¿Sabías que...?

“El Reino del Revés” es el título de una conocida canción (a la que pertenece la frase “nada el pájaro y vuela el pez”) y de un libro cuya autora es María Elena Walsh. Fue una escritora, música y cantautora argentina contemporánea que se dedicó de lleno a literatura infantil. Nació en Ramos Mejía (provincia de Buenos Aires) el 1 de febrero de 1930 y falleció el 10 de enero de 2011. Otras obras destacables de esta autora fueron *Dailan Kifki*, *Doña Disparate* y *Bambuco*, *Cuentopos de Gulubú*, etc. También, creó conocidos personajes como la famosísima tortuga Manuelita.

a un fenómeno. Los cambios adaptativos se van sumando en el transcurso de varias generaciones.

Pero ¿qué ocurre con los otros casos que vemos en el “Reino del Revés”? En esas otras situaciones, no hay un problema de formas –o, para expresarnos correctamente, de morfología–, sino con las “reacciones” de los seres vivos que, en nuestro reino imaginario, no son las esperadas.

Frente a señales del medio o de otros individuos, todo ser vivo lleva a cabo acciones que tenderán a favorecer la supervivencia a través de la obtención de recursos del ambiente o de la posibilidad de reproducirse en mejores condiciones, es decir, de lograr el **éxito reproductivo**.

Este tipo de adaptaciones se clasifican como:

Adaptaciones fisiológicas o funcionales

El ambiente, a través de sus presiones de selección, favorece a aquellos individuos en cuyos órganos se produjo una innovación en lo que hace a su funcionamiento, no a su forma, que le otorga ventajas que otros individuos de su misma población no tienen. En los casos descritos, las semillas, al germinar, poseen mecanismos fisiológicos para detectar hacia dónde deben orientarse el tallo y la raíz a medida que se desarrollan, o para determinar frente a qué señales las flores deben abrirse. En la ballena, se cumple un mecanismo fisiológico de aislamiento que le permite mantener su sangre caliente aun en aguas heladas.

Adaptaciones etológicas o comportamentales

La conducta también puede ser analizada como una característica adaptativa, dado que depende de las presiones ambientales (el tipo de hábitat, el rol en el ecosistema, la presencia de predadores o presas, o el alimento disponible). Son seleccionados positivamente aquellos comportamientos que resultan en el aumento del éxito reproductivo de los individuos que los realicen.

Actividad



¿Les parece posible que estas cosas ocurran en la realidad?, ¿por qué? Considérenlas una a una y discutan acerca de las probables consecuencias que podría sufrir cada ser vivo de acuerdo con su modo de actuar.

Si analizáramos cada una de estas situaciones, llegaríamos a la conclusión de que estos seres vivos... ¿están en serios problemas!

Vocabulario



• Selección natural

Mecanismo descrito por Darwin en su teoría de la evolución para describir los cambios evolutivos y la adaptación. Los seres vivos poseen variaciones individuales que les permiten a algunos de ellos tener más posibilidades de sobrevivir y reproducirse ante determinadas condiciones del ambiente, denominadas “presiones de selección”. Estas variaciones que facilitan la vida de algunos individuos son las adaptaciones que se van acumulando en las poblaciones en las generaciones subsiguientes. De esta manera, se logran cambios de estructuras y conductas que, a lo largo del tiempo, van “moldeando” a los individuos y a las poblaciones en relación con su entorno.

• Presión de selección

Instrumento a través del cual actúa la selección natural. Se trata de una fuerza que actúa sobre las poblaciones y que hace que algunos individuos aporten más descendientes que otros a las futuras generaciones; y de este modo, dirige el proceso de evolución.

Podrán comprobar que ambos tipos de adaptaciones son el resultado de la selección natural, la cual no solo actúa determinando la forma sino también las funciones y acciones que podrán realizar los individuos de una especie.

Las adaptaciones fisiológicas y comportamentales permiten la interacción permanente de los seres vivos con el medio; para eso, es imprescindible que el individuo desarrolle mecanismos que le permitan captar las señales o los **estímulos** que el ambiente u otros seres vivos le envían. Esta condición es imprescindible para poder elaborar una respuesta. En las próximas páginas, veremos muchos ejemplos que exponen la relación entre estímulos y respuestas. Veamos cada concepto por separado.

Actividad



Busquen ejemplos de adaptaciones morfológicas, comportamentales y fisiológicas de tres especies de animales.

EL ESTÍMULO Y LA RESPUESTA

En primer lugar, es necesario recordar una afirmación que parece obvia: para que exista una respuesta tiene que haber una pregunta previa. Esto vale tanto para la comunicación entre seres humanos como también para la que establecen otras especies del reino natural. Para el caso de los animales o las plantas, aparece alguna señal o **estímulo**, que se define como una alteración del medio externo (proveniente del ambiente o de otro ser vivo), o del medio interno del individuo, y que es capaz de desencadenar en él una **respuesta**. Para que esto ocurra, debe cumplirse con otro requisito: el ser vivo debe poder comprender esta señal, es decir, debe contar con estructuras que le permitan captarla e interpretarla. Un ejemplo de esto son nuestros órganos sensoriales, que nos permiten captar estímulos de diversa índole, que luego se decodifican en zonas específicas del cerebro. Tal es el caso de nuestros ojos, por ejemplo, que nos permiten procesar la luz que recibimos y generar imágenes en nuestro cerebro.

Durante el proceso evolutivo, los seres vivos hemos desplegado diversas estrategias para lograr captar estos estímulos y, también, para darles respuesta. Desde los seres unicelulares, pasando por las plantas, hasta los animales más complejos, todos tenemos capacidades desarrolladas en mayor o menor grado para poder procesar estímulos y responder a ellos. Estas capacidades se desarrollan en distintas estructuras más o menos complejas.

Diferentes tipos de estímulos y respuestas

Los seres unicelulares son muy simples, al estar compuestos por una sola célula, toda ella está en contacto con su entorno, lo cual les facilita la interacción. Por otra parte, los animales cuentan con el importante recurso del desplazamiento; muchos de estos, además, tienen la posibilidad de generar comportamientos complejos, lo cual no les ocurre a las plantas, que debieron desarrollar estrategias fisiológicas para resolver cuestiones tan elementales como la búsqueda de la luz, elemento esencial para la obtención de alimento.

Los vegetales manifiestan respuestas menos dinámicas, a través de movimientos provocados por el crecimiento de sus células y que, por ello, son lentos, casi imperceptibles; a diferencia de los animales, que llevan a cabo respuestas más activas y variadas.

Hagamos un recorrido por este amplio repertorio de estrategias evolutivas. Comencemos por los seres microscópicos unicelulares.

El mundo microscópico: la “torre solidaria” y otras cosas sorprendentes

Un ejemplo muy sencillo de respuesta ante un estímulo lo representa la **euglena**. Este unicelular perteneciente al reino *Protista* vive en charcos de agua y posee una mancha pigmentaria (mancha ocular o estigma) sensible a la luz. Con su flagelo, se moviliza nadando en espiral hacia la fuente iluminada y logra así optimizar su rendimiento en la fotosíntesis, dado que esta especie es **autótrofa**, es decir, fabrica su propio alimento (aunque la euglena es un caso excepcional, porque también puede ingerir alimento, es decir que también puede ser **heterótrofa**).

Veamos ahora lo que ocurre en el reino *Monera*. Son seres **procariotas**, es decir que sus células no poseen núcleo ni organelas complejas. Sus representantes más conocidos son las bacterias y



Euglena

algas azules. Muchos de estos individuos también son flagelados y tienen la capacidad de acercarse ante la presencia de partículas alimenticias, y de retroceder cuando se les interponen moléculas nocivas. Esta sensibilidad se debe a elementos específicos presentes en su membrana celular que son receptores de cada sustancia; aunque aún no les queda claro a los investigadores cómo la percepción de un compuesto químico benéfico o nocivo puede hacerles “decidir” entre dos respuestas motoras diferentes.



Bacterias de *Salmonella* (conocidas por producir enfermedades en el hombre por contaminación en los alimentos), en las que se ven las prolongaciones que usan para desplazarse y atrapar moléculas de las que se nutren

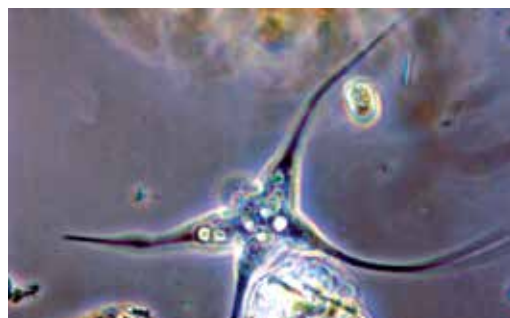
Lo más asombroso que se ha comprobado en seres microscópicos es el comportamiento solidario o **altruismo**, que implica el uso de una acción grupal como estrategia de supervivencia de la especie. Un tipo de ameba (animal unicelular eucariota del reino *Protista*) llamada *Dictyostelium discoideum* vive en suelos húmedos, donde se forman colonias de muchos individuos. Cuando el alimento escasea, se desplazan con movimientos llamados “ameboides”: deforman su membrana

celular y emiten prolongaciones citoplasmáticas llamadas **seudopodios**. Así, se reúnen cientos de estos y trepan uno sobre otro hasta formar una verdadera “torre” que mide unos 2 mm de alto (tengan en cuenta que una ameba mide solo unos 0,025 milímetros), que continúa moviéndose como si se tratara de una unidad. Las amebas que quedan en el extremo superior secretan una envoltura resistente que les permite sobrevivir en ambientes adversos: se transforman en quistes o **esporas**. Al mismo tiempo, las demás generan una pared celular de celulosa (lo cual es extraño dado que la cobertura de celulosa es propia solo de las células vegetales, mientras que las células animales como las de las amebas no tienen pared celular), y así pueden soportar la estructura de la torre en pie. Cuando las condiciones alimentarias mejoran, las amebas enquistadas, únicas sobrevivientes de la comunidad, se desenquistan y refundan la colonia con nuevos individuos a partir de la reproducción.

Esta compleja reacción, propia de animales superiores y de algunos insectos, es desencadenada por una sustancia química que liberan algunas amebas de la colonia al medio y que las demás captan como señal de alarma.



Paramecio. Obsérvense las cilias (pequeños pelos) que rodean todo el contorno de este unicelular. El movimiento coordinado de estas estructuras se debe a neurofibrillas presentes en el citoplasma, que las interconectan y posibilitan el desplazamiento del paramecio



Ameba. Se observan cuatro pseudopodios (prolongaciones oscuras muy alargadas). Foto: Gordon Beakes, University of Newcastle upon Tyne. Imagen de cortesía del Centro de Bociencia

Actividades



- 1 El paramecio (animal unicelular del reino *Protista*) es sensible al frío y al calor y detecta el rango de temperatura en el cual su metabolismo es óptimo, que se sitúa entre los 25 y 26 °C. Este animal es acuático y puede nadar gracias a pequeños pelos o **cilios** que posee en su superficie. Si ustedes tuvieran a disposición una pecera rectangular con paramecios, ¿cómo demostrarían experimentalmente esta reacción?
- 2 Completen la siguiente tabla para los casos vistos:

Ser vivo	Estímulo	Respuesta	Beneficio
Euglena			
Bacteria caso 1			
Bacteria caso 2			
Ameba			
Paramecio			

- ¿Qué tienen en común estos comportamientos?

Cuando la pluricelularidad complejiza las cosas

Las reacciones de los seres sin capacidad de trasladarse: las plantas

El primero en cuestionarse cómo lograban las plantas el movimiento que las orienta hacia la luz fue el reconocido creador de la teoría de la evolución, Charles Darwin. Junto con su hijo Francis, llevaron a cabo, en 1880, un sencillo experimento que les permitió descubrir que era el **ápice** –la parte terminal del tallo– el responsable de la fotosensibilidad de los vegetales. Para esto, prepararon varias plantas de gramíneas (del tipo de hierbas que forman el pasto), a las que les aplicaron diferentes tratamientos.

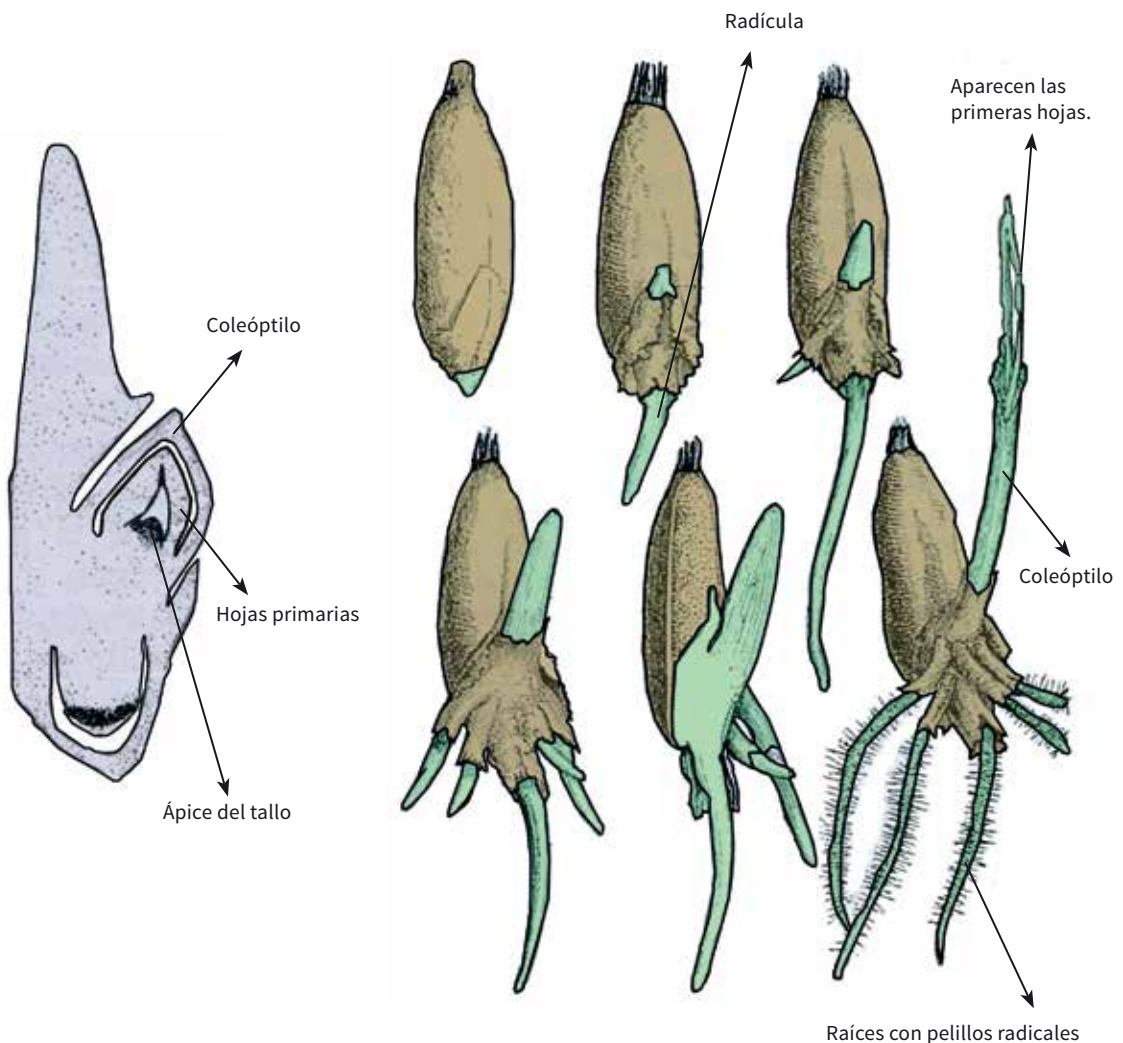
Vocabulario

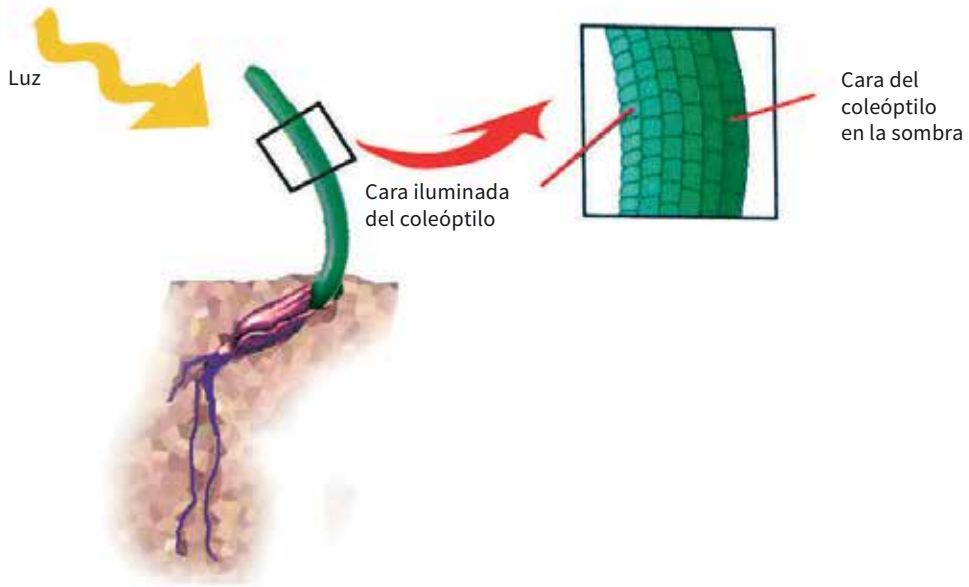
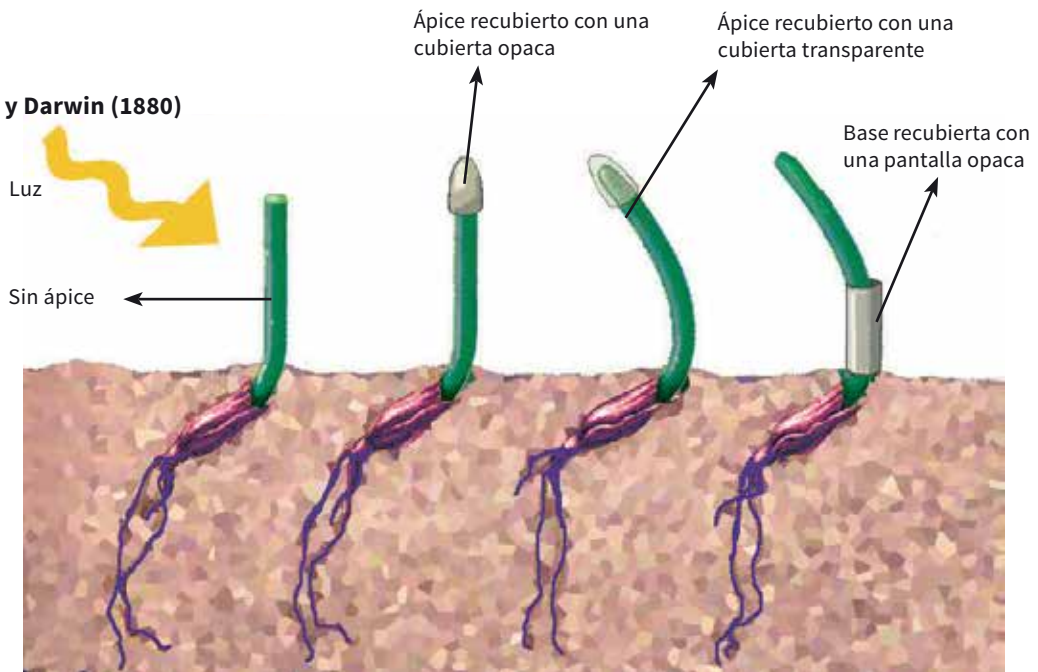


• Coleóptilo

Vaina que poseen por fuera las primeras hojuelas de las gramíneas, la cual es perforada para que estas y el tallo afloren.

Crecimiento de la gramíneas



Control**Darwin y Darwin (1880)**

Como se puede observar, la reacción de las dos primeras plantas ante la luz fue nula. En la primera, la ausencia de ápice demuestra que es este el que desempeña el papel de detector lumínico. ¿Qué se demostrará en el caso de la segunda planta, en contraste con la tercera y la cuarta? ¿Cuál habrá sido la función del capuchón opaco de la segunda planta y el transparente de la tercera? ¿Por qué el comportamiento de ambas fue diferente?

Actividad

**Los tropismos: movimientos orientados en plantas**

La reacción de las plantas al orientarse hacia la luz es conocida como fototropismo positivo. ¿A qué se debe esta denominación? El prefijo “foto-” significa “luz”; por lo tanto, estamos hablando de un tropismo que obedece al estímulo de la luz.

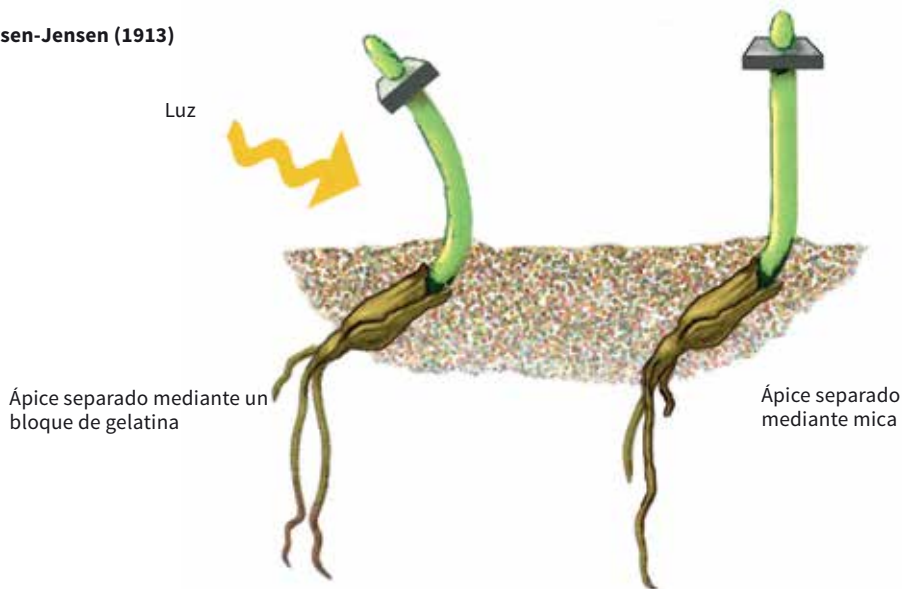
Un tropismo es positivo cuando la orientación se produce hacia el punto desde donde proviene el estímulo.

Determinen de qué tipo de reacciones se trata en cada caso, uniendo con flechas elementos de las tres columnas.

La raíz de una planta se orienta hacia el lugar en el que se colocó una sustancia fertilizante.	Tigmotropismo	
La raíz de la planta se orienta a favor de la atracción gravitatoria.	Fototropismo	
La raíz de la planta crece en sentido contrario de la luz.	Geotropismo	POSITIVO
Las hojas de la planta de mimosa son sensibles al estímulo táctil.	Higrotropismo	NEGATIVO
La raíz de la planta se orienta hacia la zona de más humedad.	Quimiotropismo	
La parte aérea de una planta crece en sentido contrario a la atracción gravitatoria.		

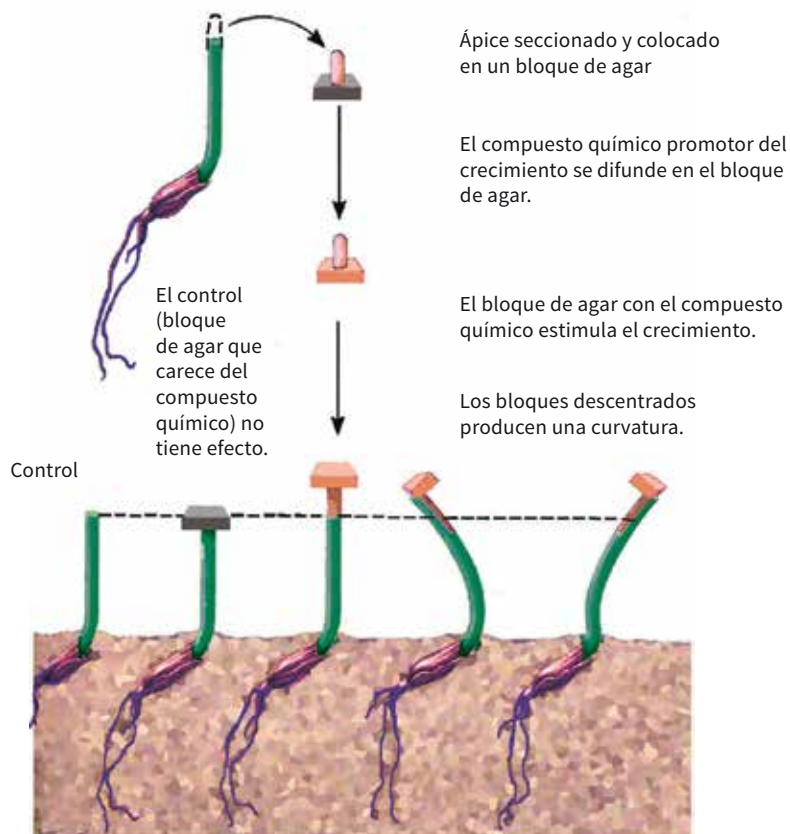
Un paso más en el avance de esta investigación fue el que dio Peter Boysen-Jensen (1883-1959) en 1913, luego de realizar un curioso experimento: tomó plántulas de avena a las que les separó el ápice; en algunas de estas, interpuso un pequeño bloque de una sustancia gelatinosa y permeable llamada **agar**, mientras que, en otras, intercaló una pieza de un material llamado mica, que es sólido y no posee poros. Al iluminarlas notó, en el primer caso –o sea, entre las que tenían agar– que los tallos se orientaban hacia la luz; en el segundo –es decir, entre las que tenían mica– esto no ocurría. Boysen-Jensen dedujo que había alguna sustancia que se generaba en el ápice y que migraba hacia el resto del tallo, lo que provocaba, en consecuencia, su inclinación; e incluso podía traspasar el bloque de agar. Las plantas con el trozo de mica insertado no se torcían, porque esa sustancia no podía pasar a través del material impermeable.

Boysen-Jensen (1913)



Un experimento posterior, diseñado por el científico holandés Frits Went en 1926, confirmó el mecanismo de acción de dicha sustancia, a la que él denominó **auxina**, que es la que producía la orientación de los pequeños tallos hacia la luz.

Trabajó con coleóptilos en la oscuridad, y luego de dejar algunos como control (con un bloque de agar sin auxina), a otros les colocó agar con auxina pero en diferentes posiciones, como puede verse en la ilustración que sigue.



Aún en la oscuridad, los coleóptilos con agar impregnado en auxina se orientaron torciéndose hacia el lado opuesto. Es decir que si el agar con auxina se encontraba del lado derecho del tallo, el tallo se inclinaba hacia la izquierda. Las plantas que tenían bien ubicado el trocito gelatinoso se mantuvieron verticales. A partir de estos resultados, el científico dedujo que la orientación hacia la luz se debía a una acumulación mayor de la sustancia en cuestión del lado del tallo más alejado de la luz, que producía un crecimiento diferencial en ese sector que, a su vez, daba como resultado la inclinación.

Este compuesto químico, la auxina, fue la primera **hormona** vegetal o **fitohormona** (del griego *phyton*: planta) en descubrirse.

Se define como **hormona** a toda sustancia que se elabora en un órgano del cuerpo de un ser vivo para actuar sobre otro órgano a distancia. La acción de las hormonas tiene dos características especiales: se realiza a distancia –motivo por el cual a las hormonas también se las denomina mensajeros químicos– y en concentraciones muy pequeñas y precisas. Quizás los sorprenda que hablemos de hormonas en vegetales, dado que atribuíamos estos compuestos exclusivamente a los animales y los seres humanos, pero en las plantas cumplen muchas funciones en la relación de estas con el medio, como veremos a continuación.

LA RESPUESTA A LA AUXINA A NIVEL CELULAR. OTRAS ACCIONES DE LA AUXINA

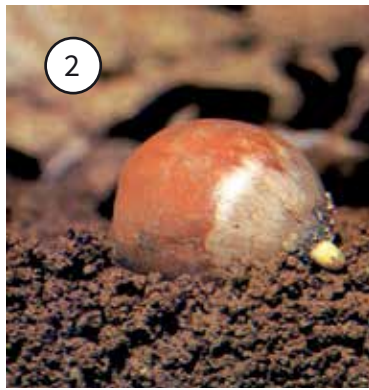
Para resumir el trabajo de los investigadores citados hasta el momento, veamos la siguiente secuencia de acción:

- 1° La planta recibe luz lateral, por ejemplo, desde la derecha (estímulo).
- 2° En el ápice, se fabrica la auxina, que comienza a migrar hacia abajo a lo largo del coleóptilo. La sustancia no migra en forma pareja, sino que se acumula en la parte izquierda del coleóptilo.
- 3° Se visualiza la respuesta: el crecimiento del tallo inclinado hacia la derecha, debido a un mayor crecimiento de las células con auxina.

Sin embargo, esta explicación deja todavía puntos oscuros: por ejemplo, cómo logran las células responder rápidamente y generar el crecimiento diferencial (en ciertas plantas, este comportamiento se puede visualizar en menos de una hora). Nos encargaremos de develar esta cuestión más adelante.

La auxina interviene también en otras reacciones de las plantas, como por ejemplo, en el crecimiento de los frutos y la ramificación; también sobre el crecimiento de la raíz, la orientación de esta y del tallo, en respuesta al estímulo de la fuerza de gravedad.

Observen la siguiente secuencia:



Germinación de una bellota para originar un roble

Ni bien asoma la raíz, esta se curva buscando el suelo como respuesta positiva a la gravedad. Luego, aparece el brote, que originará las primeras hojuelas y tiene una reacción exactamente opuesta: se aleja de la atracción gravitatoria.

Por la acción gravitatoria, al acostar la planta, las auxinas se acumulan en los sectores de la raíz y el tallo más cercanos al suelo. Pero... ¿por qué estos dos órganos tienen reacciones opuestas? Se verificó que, así como, en el tallo, estimula el alargamiento celular, la auxina en las raíces lo inhibe, por lo cual las células de la raíz que se alarguen serán las que contengan una menor concentración de la hormona.

Actividad



Si esta semilla estuviera germinando en una maceta y colocáramos esta en posición horizontal, ¿qué reacción les parece que tendrían el tallo y la raíz? Hagan un esquema para visualizar cuál sería la nueva orientación de ambas partes de la planta.

Actividad



Experimenten con dos plantas de igual especie y forma, que tengan ramificaciones laterales y un tallo principal. Utilicen una como control y córtense el ápice a la segunda. Comparen la evolución posterior de cada una y registren los resultados. ¿Se verificó su hipótesis?

¿Sabías que...?

**Las auxinas tienen efectos tóxicos**

Hay diversas sustancias químicas que fabrican las plantas y a las cuales se las engloba con el nombre de **auxinas**. La aparición de deformaciones en hojas, tallos y raíces, y la formación de tumores vegetales o la detención del crecimiento son problemas inducidos por dosis altas de auxina. Cabe aclarar que la concentración de esta hormona en la planta debe ser muy precisa, para desencadenar en esta la respuesta correcta. Esto hizo que se intentara su uso como herbicida, es decir, para eliminar las malezas, dado que mostró ser particularmente dañina para hierbas de hoja ancha, que terminan muriendo, aunque deja sanas a las plantas de cultivo de hoja angosta (por ejemplo, la caña de azúcar). La auxina no resulta tan tóxica para las personas como los venenos, ya que es una sustancia natural que forma parte del metabolismo de las plantas y está presente en los vegetales que comúnmente se ingieren.

Actividad



Hagan ustedes un nuevo esquema en el que se visualice este comportamiento y detallen lo que ocurre en las células de la raíz y el tallo: las zonas con mayor auxina y el crecimiento diferencial producido en la parte aérea y en la parte subterránea de la planta.



Tulipanero Liriodendron tulipifera

Una fitohormona llamada **citocinina**, que se elabora exclusivamente en las raíces y sube por el tallo en dirección contraria a la auxina, actúa sobre las ramificaciones laterales y estimula su crecimiento. Por el contrario, la auxina que se sintetiza en el ápice del tallo inhibe el crecimiento de ramas laterales, con lo cual se mantiene la dominancia del tallo principal. Si observamos una planta como la de la imagen, comprobaremos que hay una diferencia de tamaño entre las ramificaciones de la zona más cercana a las raíces con respecto a las más altas. Expliquen las causas de este fenómeno a partir de la acción de estas sustancias. ¿Cómo se ramificará si se le corta el ápice? Elaboren una hipótesis al respecto y justifiquenla.

¿Sabías que...?

**La citocinina: fuente de la juventud**

Muchos floristas rocían citocinina sobre las flores, puesto que se ha comprobado que este compuesto químico tiene un efecto antienviejecimiento: retrasa el deterioro de hojas y flores.

Actividad

**Un proyecto para realizar en laboratorio: cultivo hidropónico de plantas**

La **hidroponía** es un método utilizado para cultivar plantas usando soluciones minerales en lugar de suelo agrícola. El término proviene del griego, *hydro* = agua, y *ponos* = trabajo. Esta técnica es ideal para cultivar en espacios reducidos, bajo condiciones ambientales controladas de temperatura y humedad, y en medios asépticos. Las plantas cultivadas de esta manera no sufren enfermedades ni se ven afectadas por plagas; además, se desarrollan más rápido, con lo cual su obtención es independiente de las variaciones estacionales. En países con escasa extensión territorial, como Japón, esta modalidad de cultivo es un importante sostén en la producción de alimentos.

Para criar una planta hidropónica, necesitarán:

- Frascos
- Film plástico o de aluminio
- Fertilizante líquido de disolución lenta
- Esquejes de tallo o de hoja: por ejemplo: hoja con pecíolo de violeta africana, o gajos de malvón, alegría del hogar, *Syngonium*, potus, palo de agua, geranio.

Algunos fertilizantes contienen hormonas vegetales que promueven el crecimiento, por ejemplo, la auxina. Deben tener en cuenta, para prepararlo, las proporciones exactas de agua y fertilizante. Lean bien las instrucciones del envase. Recuerden que cuando una hormona actúa de más, perjudica a la planta.

En cada uno de los frascos, coloquen agua –preferentemente de lluvia– y la dosis justa de fertilizante, cubran con el film y háganle a este una perforación en el medio. Allí, ubiquen con cuidado el gajo o el pecíolo de la hoja, tal como se ve en la siguiente imagen.

Esperen unos diez días. Durante este tiempo, mantengan los frascos en un lugar iluminado y con humedad. Registren los resultados.

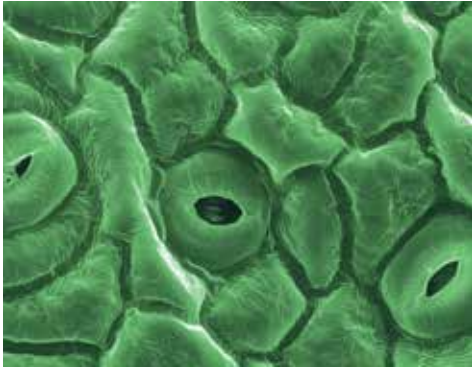
La etapa que sigue es la de rusticación, es decir, el traspaso de las plantas de las condiciones *in vitro* (artificiales) al ambiente natural. Cuando las raíces se hayan desarrollado bastante, transplanten los gajos a macetas con tierra bien suelta y limpia (es preferible que sea comprada en un vivero). Asegúrense de que tengan un drenaje adecuado y riéguelas periódicamente. Déjenlas al aire libre, pero en algún lugar protegido, para que no les dé directamente el sol. Hagan esta aclimatación en forma progresiva. Averigüen qué ambiente necesita cada especie: por ejemplo, el malvón necesita sol directo, pero no así el *Syngonium* o el potus.

Una vez que tengan las plantas bien desarrolladas pueden colocarlas en el jardín de su escuela o regalarlas.

Un poco más de trabajo lleva la siembra y el cultivo hidropónico de lechuga, porque demanda más pasos y cuidados, pero si se ponen prácticos con el método, pueden intentarlo. Busquen en internet y expliquen el procedimiento con esquemas ilustrativos.



OTRAS HORMONAS QUE PRODUCEN REACCIONES EN LOS VEGETALES



Estoma

Hay, además de las auxinas, otras hormonas que tienen diversos efectos sobre las plantas. Si volvemos a la bellota, podemos preguntarnos ¿qué la hizo brotar? ¿Por qué ocurre siempre en la misma época?

En este caso, hay dos sustancias involucradas, que provocan efectos opuestos: la primera es la **giberelina**, que estimula la germinación; la otra es el **ácido abscísico**, que funciona como una defensa, puesto que impide que la planta brote en condiciones ambientales no aptas. Esta misma sustancia también induce a que los **estomas** (poros situados en la cara inferior de las hojas y por los que las plantas intercambian gases) se cierren en caso de que la planta esté deshidratada, para evitar la evapotranspiración.

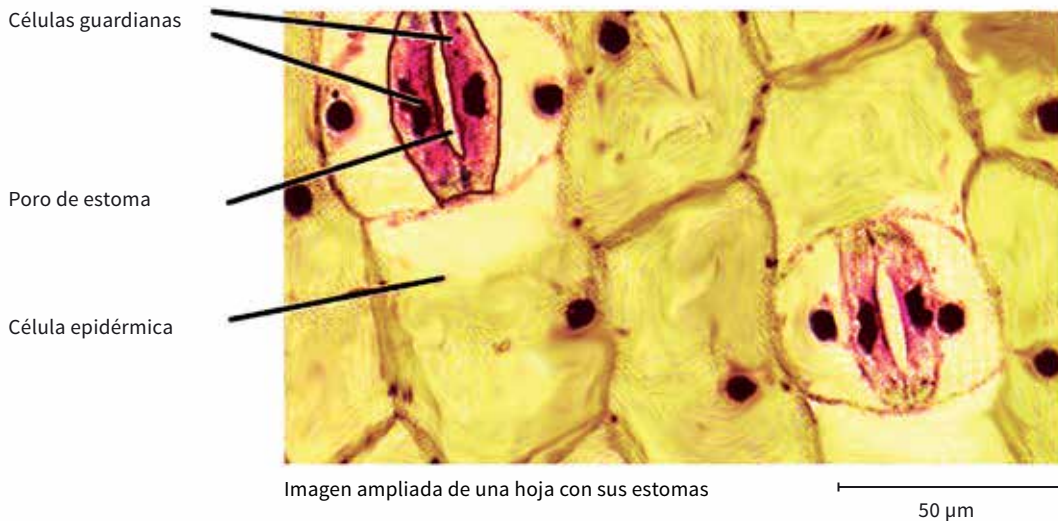


Imagen ampliada de una hoja con sus estomas

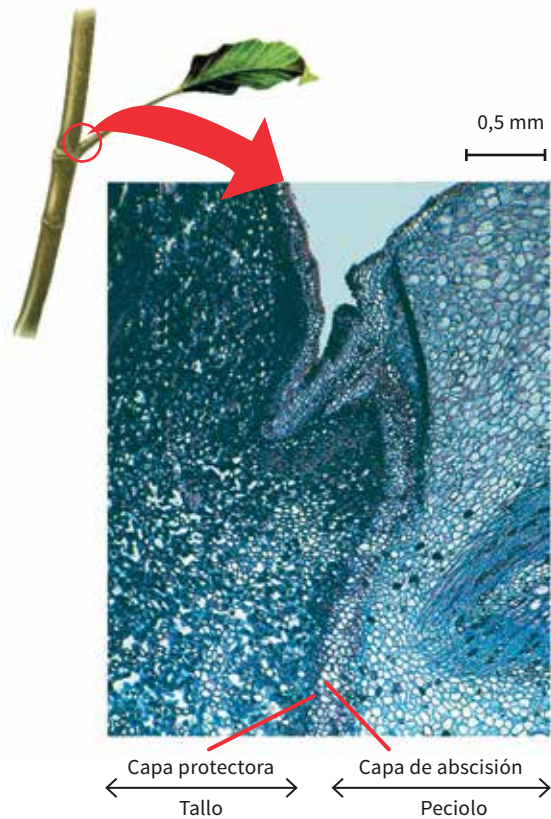
50 μm

EL CRECIMIENTO REPRODUCTIVO: CUANDO LAS HORMONAS NO BASTAN

En la transición entre el crecimiento vegetativo (aumento de tamaño del cuerpo de la planta) a cargo de las auxinas y la citocinina, y el crecimiento reproductivo (su floración y fructificación), intervienen diversas sustancias y, además, factores genéticos y ambientales. La giberelina, por ejemplo, estimula la floración y la aparición del fruto; mientras que, para que este madure, se produce otra fitohormona que se encuentra en estado gaseoso: el **etileno**.



Cambio de la coloración de las hojas en otoño



El etileno se produce también en la base de las hojas de plantas caducas. Esto ocurre en otoño, cuando las condiciones climáticas son adversas y las hojas pueden dañarse con la nieve o las heladas. En el punto de unión de los pecíolos con el tallo, se forma una capa de células, llamada **capa de abscisión** (se observa en la fotografía superior tomada a través del microscopio), en la que se reduce la cantidad de auxina y se incrementa la concentración de etileno. Esta combinación produce una degradación de las paredes celulares (que son las que dan rigidez y sostén a las células) que vuelve débiles a las hojas, con lo cual se provoca un corte que las hace caer

¿Sabías que...?



¡Tomates que maduran “a pedido” y manzanas envueltas!

Por medio de la manipulación genética (que veremos en el capítulo 6), se ha logrado producir tomates que no generen etileno. ¿Qué ocurre entonces? Estos tomates nunca maduran, lo cual implica una gran ventaja económica: una vez cosechados y cerca del momento en el que se van a comercializar, se les coloca gas etileno; así se induce su maduración. Con este procedimiento se evita que los tomates se descompongan antes de llegar al consumidor. En la actualidad, este método es sumamente cuestionado; además, se está estudiando la magnitud del impacto ambiental causado por la presencia de estas especies modificadas genéticamente en los agroecosistemas. También habrán observado que ciertas frutas como las peras o las manzanas se venden envueltas en papel. Esto sirve para que el etileno que fabrica el fruto (que siempre se cosecha inmaduro) quede encerrado en el envoltorio (recuerden que es una sustancia gaseosa) y lo ayude a terminar de madurar.



Taco de reina. Foto: Soledad Comisso



Crisantemos

Sin embargo, se pudo comprobar que hay un factor clave que también condiciona la floración. Tomemos como ejemplo la planta de taco de reina o capuchina, que florece en verano, cuando los días son más largos. El crisantemo, por el contrario, florece en invierno, cuando la cantidad de horas de luz es más reducida. ¿Cómo verificarían experimentalmente esta observación?

A las plantas como el taco de reina se las denominó **plantas de día largo**. En este grupo, también están incluidas las de espinaca, remolacha, rabanito, trébol, rosa china y papa. Por contraposición, las plantas que florecen con pocas horas de luz se denominan **plantas de día corto**. Son ejemplos de estas la violeta, el abrojo, la batata y la frutilla.

A esta alternancia de luz/oscuridad, que determina la floración, se la denominó **fotoperíodo**, el cual está fuertemente condicionado en algunos casos por factores climáticos como la temperatura. Los viveristas que cultivan plantas de invernadero controlan estrictamente esta variable para lograr la floración.

Más tarde, se comprobó que no es la duración del día lo que influye en el proceso de floración, sino las horas de oscuridad. Sabiendo que en la naturaleza los ciclos de luz/oscuridad duran 24 horas, podríamos entonces denominar, al taco de reina, planta de “noche corta”, y al crisantemo, de “noche larga”.

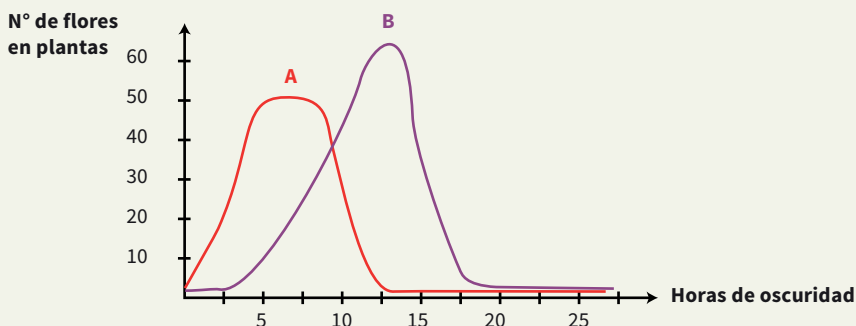
También, se verificó que algunos vegetales como el algodón, el tomate y el tabaco son indiferentes al fotoperíodo que reciben.

Actividades

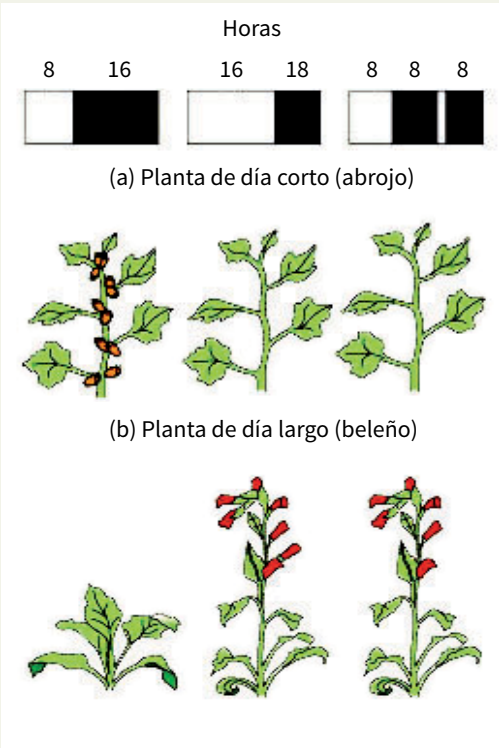


- 1 Observen el gráfico que indica el número de flores aparecidas en función de las horas de oscuridad recibidas para dos especies de plantas, a las que llamaremos A y B.

Floración de dos especies diferentes de planta con flor según horas de oscuridad



- a. Determinen cuál de ellas sería de día corto y cuál de día largo. Justifiquen su elección.
- b. ¿Cuál es la duración óptima de luz/oscuridad para cada especie?
- c. ¿Qué ocurre si iluminamos ambas plantas solo durante dos horas diarias?, ¿y si a la planta B la iluminamos durante 22 horas en forma ininterrumpida?



2 Observen las siguientes imágenes que muestran los efectos de diferente duración de horas de luz para plantas de abrojo y de beleño.

En la parte superior de la imagen, aparecen tres fotoperíodos diferentes a los que fueron expuestas dos plantas: abrojo (de día corto) y beleño (de día largo). Se observa que el abrojo floreció con pocas horas de luz, mientras que el beleño floreció en condiciones opuestas (día largo y noche corta). Expliquen el motivo por el cual los abrojos no florecieron y los beleños sí, al ser expuestos al tercer fotoperíodo en el cual se interrumpen las horas de oscuridad con un breve período de luz.

- a. Grafiquen estos resultados en un sistema de ejes. Determinen cuál es de día corto y cuál de día largo, y justifiquen.
- b. ¿Qué ocurrirá si se intercalan momentos de oscuridad durante el día?

Saquen una conclusión sobre estos resultados.

LA HORMONA DEL FOTOPERÍODO

Si realizáramos la siguiente experiencia:

Injerto experimental	Resultado luego de varias semanas
Planta expuesta a fotoperíodo correcto que induce floración injertada con otra planta iluminada con fotoperíodo incorrecto.	Ambas florecen
Planta deshojada expuesta a fotoperíodo correcto injertada con otra planta con su follaje intacto iluminada con fotoperíodo incorrecto.	Ninguna florece
Planta con su follaje intacto expuesta a fotoperíodo correcto injertada con otra planta deshojada iluminada con su fotoperíodo incorrecto.	Ambas florecen

¿Por qué, en el primer caso, habrá florecido la planta iluminada con el fotoperíodo incorrecto?

Es posible que alguna sustancia, una fitohormona, se haya activado en la planta iluminada correctamente, que esta sustancia le haya permitido comunicarse con la otra a través del **injerto**, y que esto promoviera la floración de la segunda planta, aunque esta estuviera iluminada con fotoperíodo incorrecto. Ese compuesto todavía no ha sido aislado, por lo tanto, no se conoce su estructura química, pero se lo denominó **florigeno**.

Muchos científicos sostienen que esta sustancia misteriosa no existe como tal, sino que la planta florece debido a que se realiza una combinación de una serie de hormonas en concentraciones exactas.

Por otra parte, las dos experiencias que incluyen plantas deshojadas demuestran que son precisamente las hojas las encargadas de captar la señal del fotoperíodo. Es por eso que solo florecen las plantas que, además de ser iluminadas correctamente, conservan el follaje intacto.

Vocabulario



• Injerto

Parte de una planta con una o más yemas que, al estar adosada a otra, se suelda a esta, y comienza a compartir sus tejidos conductores.

¿PLANTAS QUE DUERMEN O PLANTAS CON RELOJ?

Acabamos de ver que las plantas responden cíclicamente a la alternancia de luz y oscuridad, por lo cual su crecimiento reproductivo varía en ciclos estacionales según la duración del día y la noche en cada período. También, comprobamos que podemos modificar esta reacción de manera muy simple: basta con alterar artificialmente el fotoperíodo de la planta.

Muchas plantas como las que se observan en las fotos sufren marcadas variaciones diarias. Durante la noche, el trébol y la mimosa repliegan sus hojas, mientras que el diente de león cierra sus flores. No podemos evitar hacer la analogía entre esta forma de inactividad nocturna y el sueño, acción típica de los animales superiores, que sienten la necesidad de bajar el nivel de actividad cerebral diariamente durante algunas horas.



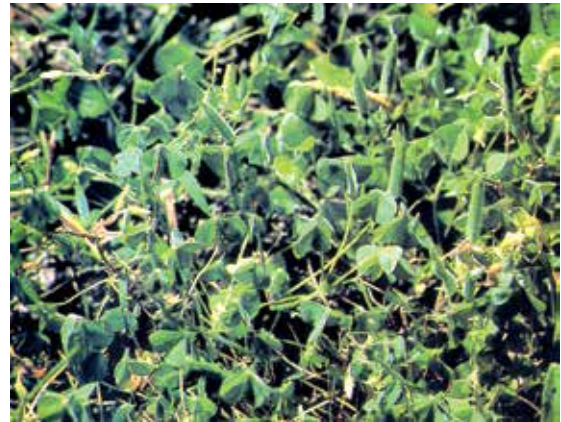
Planta de mimosa durante el día



Durante la noche, la mimosa repliega sus hojas



Planta de trébol durante el día



El trébol se cierra durante las horas de oscuridad

Sabemos que las plantas no tienen sistema nervioso, por lo cual no necesitan dormir. Sin embargo, curiosamente –y al contrario de lo que ocurre con el fotoperíodo– esta reacción nocturna se mantiene aun si la planta es aislada de cualquier variable ambiental, incluso de las horas de luz u oscuridad. Si la planta es iluminada constantemente o si está durante todo el día en condiciones de oscuridad total, seguirá manteniendo el mismo comportamiento: respetará ciclos de, aproximadamente, 24 horas.



Diente de león. Foto: José Víctor Castro Ceñal

Vocabulario



• Endógeno

Cualquier proceso que se origina en el interior de un ser vivo.

• Ritmo circadiano

Actividades o procesos de un individuo que se repiten en ciclos diarios.

Esto fue demostrado por primera vez a comienzos del siglo XVIII por el astrónomo francés Jean-Jacques Dortous de Mairan, luego de realizar un experimento con plantas de mimosa (*Mimosa pudica*).

Junto con estas características sumamente evidentes, también varían de manera cíclica e independiente del ambiente factores como la apertura y el cierre de estomas, la producción de sustancias necesarias para la fotosíntesis, entre otras.

Estas variaciones se denominan **ritmos circadianos** (del latín, *circa*: aproximadamente, y *dies*: día). Los registran todos los seres vivos cuyas células son eucariotas (células con núcleo y organelas) y se cree que les posibilita anticiparse a variaciones ambientales que les son favorables durante su ciclo de vida. Un siglo después del primer hallazgo de Mairan, se determinó que los agentes que permiten el ajuste a estos ciclos son **endógenos** y constituyen el **reloj biológico** de los seres vivos, que es lo que les posibilita mantener sus ritmos circadianos. En el caso de las plantas, dentro de sus células, están los llamados **fitocromos**, constituidos por moléculas de proteínas sensibles a la luz.

Estos serían los responsables de las reacciones cíclicas como las que acabamos de mencionar. De todas maneras, todavía hay mucho por investigar para determinar cómo intervienen los fitocromos en el ajuste de estos mecanismos.

También, existen variaciones cíclicas en los animales: los latidos cardíacos, la temperatura corporal, el azúcar y colesterol presentes en la sangre, la secreción de hormonas, la producción de orina y la rapidez de reflejos son algunos ejemplos.

Vocabulario



• Ritmo infradiano

Actividades o procesos de un individuo que se repiten en ciclos menores de 24 horas.

• Ritmo ultradiano

Actividades o procesos de un individuo que se repiten en ciclos mayores de 24 horas.

Sin embargo, hay ritmos que registran un período más corto que un día (**infradianos**). Por ejemplo, si filmamos durante varias horas una planta y luego proyectamos la filmación con velocidad aumentada, podremos visualizar un movimiento oscilatorio del tallo que cumple un ciclo de entre 30 minutos y algunas horas. Por otro lado, existen ciclos que abarcan más de un día (**ultradianos**), como la floración anual de ciertas plantas. La menstruación en la mujer y en los primates también involucra un ciclo, en este caso, de duración mensual.

¿Sabías que...?



La cronobiología: una nueva ciencia

Los investigadores de este campo de la biología –desarrollado especialmente en Alemania– se dedican al estudio de las estructuras temporales de los procesos vitales, es decir, intentan descubrir la totalidad de los mecanismos involucrados en la respuesta de los seres vivos a los ritmos circadianos.

PLANTAS QUE SE MUEVEN...

Un importante impedimento de las plantas era, como ya señalamos, la imposibilidad de trasladarse. Sin embargo, acabamos de comprobar que, aunque no se trasladen, las plantas obtienen sus recursos vitales, la luz y el agua, realizando diversas estrategias. Más allá de los movimientos cíclicos de hojas y flores, que obedecen a sus ritmos internos, también, se registran otros, que se generan como respuesta casi instantánea frente a un estímulo proveniente del exterior.

La planta de mimosa debe su nombre al cierre inmediato de sus pequeñas hojas ante un estímulo táctil. También, existe un grupo de plantas muy particulares: las plantas carnívoras. Quienes hayan leído algún libro o visto películas de aventuras seguramente se habrán topado con algún desafortunado explorador que, en medio de la temible selva, corrió el riesgo de ser devorado por gigantescas plantas comedoras de humanos. Por fortuna, más allá de los mitos, estas plantas son absolutamente inofensivas para la gente y son muy pequeñas. Solo se especializan en atrapar insectos, para lo cual sus hojas están transformadas en vistosas y perfumadas trampas. Las plantas no tienen una boca como para ingerir alimento, por lo que realizan la absorción de las sustancias orgánicas que hay en las partes blandas del cuerpo de los insectos a los que atrapan. En el caso de la planta atrapa-moscas, este proceso dura unas dos semanas y los restos de esqueleto del animal son desechados.

Actividad



La mimosa se consigue fácilmente en un vivero, así que pueden probar esta reacción ustedes mismos. Intenten tocarla suavemente con un palillo en diferentes partes de las hojas y anoten cuál fue la respuesta en cada caso. Registren el tiempo que tarda en volver a la normalidad. Además, observen si la planta reacciona al ser estimulada continuamente.



Sarracenia y *Nepenthes*: sus hojas tienen la forma de saco alargado, y su interior es ceroso y resbaladizo. Al ser atraído por el néctar que emanan los coloridos bordes, el insecto cae en el interior del saco y se ahoga en el líquido que hay dentro



Drosera: los extremos de las hojas de esta planta tienen pelos pegajosos que envuelven al insecto y lo dejan atrapado



Dentro de las hojas modificadas de la planta atrapamoscas, hay pelos sensibles que activan células que forman la “bisagra” de la trampa. Estas células se deshidratan instantáneamente y permiten que esta se cierre sin darle tiempo al insecto a escapar. La estructura somática es lo que configura el cuerpo de la planta, el conjunto de órganos que la forman

Foto: Kriss Szkurlatowski

UNA ÚLTIMA REFLEXIÓN SOBRE LAS PLANTAS...

Carl von Linné (o Linneo), notable botánico sueco que vivió en el siglo XVIII, elaboró definiciones distintivas acerca de plantas y animales. Sobre las primeras, postuló que son cuerpos organizados y vivos, pero que no sienten. Respecto de los animales, en cambio, señaló que son cuerpos organizados, vivos, que sienten y tienen movilidad.

Es habitual que se utilicen las expresiones “vegetar” o “en estado vegetativo” cuando una persona permanece un tiempo en un estado de coma profundo y cumple con las actividades biológicas estrictamente necesarias para mantener las funciones vitales imprescindibles, como respirar y

conservar la automaticidad cardíaca. Es decir, suele hacerse referencia a este estado como a una existencia puramente biológica pero automática y desconectada del mundo exterior, carente de sensaciones; y comparársela con la de un vegetal. Como vemos, aparece nuevamente la concepción linneana entre “no sentir, no moverse” y “sentir y moverse” como distintivo entre plantas y animales.

Una interesante reflexión al respecto fue aportada por Elio Baldacci (profesor de la Universidad de Pavía, Italia), en *La vida privada de las plantas*:

...a esta reducida “sensibilidad” del mundo exterior, la planta opone el remedio de una individualidad menor. Su **estructura somática** no establece vínculos necesarios y vitales entre uno y otros órganos. Una rama desgajada, una flor arrancada y hasta un tronco derribado no suponen la muerte de la planta. Basta que quede una yema, un pequeño bulbo (...) la planta está pronta para rehacer las partes que le faltan o volver a crear desde luego un nuevo individuo.

Dicho de un modo más sencillo, las plantas cuentan con sus propios recursos para evitar la muerte (aunque sus estrategias también están presentes en algunos animales, como la estrella de mar, que puede regenerar partes de su cuerpo). Un factor clave es la gran diversidad de estrategias que han desarrollado para garantizar la dispersión de las semillas. El viento y el agua, y también los animales, sirven para colonizar nuevos hábitats y evitar la competencia por la luz y los recursos del suelo con sus propios descendientes. Todo esto, sumado a lo que acabamos de aprender en este capítulo sobre su exitosa interacción con el medio, invalida el antiguo preconceito de que las plantas son seres inferiores y que, en su existencia, “vegetan” quietas y sin modo alguno de relacionarse ni de captar estímulos. El hecho de que posean un nivel de organización distinto del que presentan los animales no las hace más simples ni menos “vitales”; sino que, a partir de estrategias diferentes a las del resto de los seres vivos, poseen una admirable capacidad de supervivencia. Más aún, pensemos que los miembros del reino de las plantas constituyen el primer ineludible eslabón de la cadena alimentaria y son los únicos productores de todo el oxígeno de la atmósfera que los animales utilizamos para respirar.

Actividad



Completen el siguiente cuadro luego de leer atentamente los contenidos desarrollados:

Hormona	Órgano/s donde se produce	Órgano/s sobre el/los que actúa	Acción que produce
Auxinas			
Citocinina			
Giberelina			
Ácido abscísico			
Etileno			
Flórigeno			