

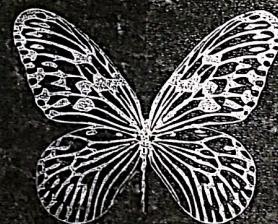
Prof. LLANOS FEDERICO  
G. NATURALES Y BIOLÓGICAS

Prof. LLANOS FEDERICO  
G. NATURALES Y BIOLÓGICA

U Conocer

# Biología 3

Intercambio de información  
en los sistemas biológicos: relación  
integración y control



ES 3.º año

SANTILLANA

Alejandro J. Balmaceda

Maria Gabriela Balmaceda

Celia E. Balmaceda

Héctor F. Mena

Natalia Molina

Hilda C. Soto

Prof. LLANOS FEDERICO  
G. NATURALES Y BIOLÓGICAS

La realización artística y gráfica de este libro ha sido efectuada por el siguiente equipo:

Jefa de arte: Claudia Fano.

Diagramación: Sergio Israelson.

Tapa: Claudia Fano.

Corrección: Martín H. Vittori.

Ilustración: Marcelo Regalado.

Documentación fotográfica: Leticia Gómez Castro, Teresa Pascual y Nicolás Verdura (collages de las páginas "Puntos de vista").

Fotografía: Archivo Santillana, Daniel Jurio, Aan Carlos Muñoz Robredo, Carlos Jiménez Pérez, Manuel González Vicente, Francisco Gracia Abril, BARRES FOTOMATURA, S.L., Pablo Esquivel, Corbis, PHOTODISC, Javier Jaime Sánchez, Roberto Gómez, Paula Bonacorsi, Aníbal Parera, Pablo Picca, Ricardo Cenzano Brandon, Getty Images Sales Spain, Manuel González Vicente, SERIDEC PHOTOMAGENES CD, S.L., DIGITALVISION, Highres Press Stock, Álvaro de Leiva Rodríguez, José Vicente Resino Ramos, JOHN FOX IMAGES, Paul Cesar Pereira, Eduardo Fernández, Estudio Casarelli, Ana Guerra Carizo, GARCÍA-PELAYO, S.L., Servicios Fotográficos, Francesc Morena, Emilia Sánchez López (M&M), Francisco Ontañón, Claudio Botti, Alejandro Ballíano, Carlos Suárez Medina, Carmen Brito Castro y Jorge Núñez, TRECE POR DIECIOCHO (IP digital estudio 2), Manuel San Félix García, Amador Toril Díaz, INTA, Esteban Widrucky, Agradecimiento a BIO SIDUS S.A., Michele di Piccione, José L. De Lope Tizón, Ignasi Rovira Casadevall, MATTON-BILD.

Preimpresión: Marcelo Fernández, Gustavo Ramírez y Maximiliano Rodríguez.

Gerencia de producción: Gregorio Branca.

Este libro no puede ser reproducido total o parcialmente en ninguna forma, ni por ningún medio o procedimiento, sea reprográfico, fotocopia, microfilmación, mimeodisco o cualquier otro sistema mecánico, fotográfico, electrónico, informático, magnético, electroóptico, etcétera. Cualquier reproducción sin permiso de la editorial viola derechos reservados, es ilegal y constituye un delito.

© 2012, EDICIONES SANTILLANA S.A.  
Av. L. N. Alem 720 (C1001AAP), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

ISBN: 978-950-46-2971-9

Questa hecho el depósito que dispone la Ley 11.723  
impreso en Argentina. Printed in Argentina.

Primera edición: septiembre de 2012.

Biológia 3. Integración de información en los sistemas biológicos: relación, integración y control / María Gabriela Bardi, ... [et al.]. - 1a ed. - Buenos Aires : Santillana, 2012.  
208 p. ; 28x22 cm. - (Conocer +)  
ISBN 978-950-46-2971-4  
1. Biología. 2. Enseñanza Secundaria. I. Bardi, María Gabriela  
CCD 570.712

Este libro se terminó de imprimir en el mes de septiembre de 2012, en Platt Grupo  
Impresor S. A., Santa María del Buen Aire 456, Ciudad Autónoma de Buenos Aires,  
República Argentina.

## Índice

### Pensar en ciencia

Punto de partida .....	7
Los caminos de la ciencia .....	8

La metodología de la ciencia

Las hipótesis

Validación de una hipótesis

Representación y comunicación .....

Uso de modelos

La comunicación

Modos de comunicar

Los alcances de la ciencia

Biología, la ciencia de la vida .....

Ciencia sin fin

Desarrollando la biología .....

Puntos de vista

A favor del uso de animales de laboratorio .....

En contra del uso de animales de laboratorio .....

Actividades finales .....

SECCIÓN I • RESPUESTA AL MEDIO

### Seres vivos y su relación con el medio

Punto de partida .....	17
------------------------	----

Los seres vivos como sistemas

Tipos de sistemas

Los niveles de organización

Función de relación en los seres vivos .....

Tipos de respuestas en animales

Tipos de respuestas en plantas

Función de control en los seres vivos .....

El control de actividades en los animales

El control en las plantas

La homeostasis

Ciencia sin fin

Homeostasis y enfermedades .....

Modelo de estímulo - procesamiento - respuesta .....

Puntos de vista

El hábito de madrugar .....

El hábito de trasnochar .....

Actividades finales .....

### Estímulos y respuestas en las plantas

Punto de partida .....	31
------------------------	----

La captación de los estímulos .....

Variedad de estímulos y receptores

Variedad de respuestas

Los estímulos lumínicos .....	34
-------------------------------	----

El fototropismo

El heliotropismo

La nictinastis

La fotoperiodicidad

Los estímulos mecánicos .....

El tigmotropismo

La tigmonastia

La gravedad como estímulo .....

Descubriendo la fotoperiodicidad .....

El agua y otras sustancias como estímulos .....

El hidrotropismo

La hidronastis

Respondiendo a otros estímulos químicos

Otros estímulos .....

La temperatura

Puntos de vista

Bosques naturales y especies autóctonas .....

Bosques plantados y especies exóticas .....

Actividades finales .....

SECCIÓN II • ESTÍMULOS Y RESPUESTAS EN LOS ANIMALES

Estímulos y respuestas en los animales .....	47
--	----

Punto de partida .....

Percepción y respuesta en los animales .....

Estímulos lumínicos .....

Estímulos mecánicos .....

Los estímulos sonoros

Estímulos químicos .....

El olfato

Las feromonas

El gusto

Otros tipos de estímulos .....

La gravedad

La electricidad

La temperatura

Ciencia sin fin

La visión en colores .....

El comportamiento .....

El comportamiento innato

El aprendizaje

Puntos de vista

Perros "bien educados"

Perros "mal educados" .....

Actividades finales .....

<b>capítulo</b>	<b>Percepción y respuesta a nivel celular</b>
Punto de partida .....	63
La comunicación intercelular .....	64
Diferentes tipos de comunicación .....	
La membrana plasmática en la comunicación celular.....	66
La estructura de la membrana plasmática .....	
El pasaje de sustancias .....	
Recepción de mensajes .....	68
Cambios en los receptores .....	
La transducción de la señal .....	70
Complejo mensajero-receptor de membrana .....	
Complejo mensajero-receptor intracelular .....	
Comunicación directa entre células .....	72
Comunicación en células animales .....	
Comunicación en células vegetales .....	
Ciencia sin fin .....	
El ion calcio como señal intracelular .....	73
Respuestas celulares .....	74
Puntos de vista .....	
Sí a la vacunación responsable .....	76
No a la hipervacunación .....	77
Actividades finales .....	78

<b>SECCIÓN II • REGULACIÓN E INTEGRACIÓN DE FUNCIONES</b>	
<b>Control nervioso</b>	
<b>en el ser humano</b>	
Punto de partida .....	79
Respuestas a los estímulos .....	80
El tejido nervioso: las neuronas .....	
Células gliales .....	
Fibras, nervios, ganglios y centros nerviosos .....	
El impulso nervioso .....	82
Velocidad y dirección del impulso nervioso .....	
La sinapsis .....	84
Sinapsis química .....	
Sinapsis eléctrica .....	
Neurotransmisores .....	
El sistema nervioso central .....	86
El encéfalo .....	
El cerebro .....	
La médula espinal .....	
El acto reflejo .....	
Los actos voluntarios .....	
El sistema nervioso periférico .....	90
El sistema nervioso somático .....	
El sistema nervioso autónomo .....	

<b>La actividad cerebral.....</b>	92
Aprendizaje y memoria .....	
Ciencia sin fin .....	
Continuidad versus contingencia .....	93
Afecciones del sistema nervioso .....	94
Las drogas y el sistema nervioso .....	
Drogas y circuitos de recompensa .....	
Efectos del alcohol sobre el sistema nervioso .....	
Puntos de vista .....	
Los efectos positivos de la cafeína .....	96
Los efectos adversos de la cafeína .....	97
Actividades finales .....	98
<b>Control nervioso</b>	
<b>en los animales</b>	
Punto de partida .....	99
Los seres vivos y la irritabilidad .....	100
Evolución del control nervioso .....	101
Control nervioso en invertebrados .....	102
Poríferos y cnidarios .....	
Platelmintos y nematodos .....	
Anélidos y moluscos .....	
Equinodermos y artrópodos .....	
El camino hacia lacefalización .....	106
Ciencia sin fin .....	
Una historia electrizante .....	107
Control nervioso en los vertebrados .....	108
Peces .....	
Anfibios .....	
Reptiles .....	
Aves .....	
Mamíferos .....	
Puntos de vista .....	
Animales Instintivos .....	110
Animales Inteligentes .....	111
Actividades finales .....	112
<b>Control endocrino</b>	
<b>en el ser humano</b>	
Punto de partida .....	113
Características del sistema endocrino .....	114
Función de las hormonas .....	
Las glándulas endocrinas y su función .....	116
Hipófisis: la glándula "maestra" .....	118
Tipos de glándulas .....	119
Glándulas del sistema endocrino .....	
Glándulas exocrinas .....	
Las hormonas en la adolescencia .....	120
La regulación del ciclo menstrual .....	
El páncreas y la regulación de la glucemia .....	122

<b>Las hormonas, homeostasis y osmorregulación.....</b>	124
Ciencia sin fin .....	
La orina y la detección del embarazo .....	125
Eje hipotalámico hipofisario: el control neuroendocrino .....	126
Retroalimentación o feedback .....	
Puntos de vista .....	
Uso de esteroides anabólicos .....	128
Abuso de esteroides anabólicos .....	129
Actividades finales .....	130
<b>Control hormonal en los animales y las plantas</b>	
Punto de partida .....	131
Las hormonas vegetales .....	132
Fitohormonas y ciclo vital .....	
El descubrimiento de las primeras fitohormonas .....	
Las auxinas .....	
Funciones de las fitohormonas .....	134
La función de las auxinas .....	
La función de las gibberellinas y citocininas .....	
La función del etileno y del ácido abscísico .....	
Ciencia sin fin .....	
Fitohormonas sin fronteras .....	137
Control hormonal en los invertebrados .....	138
Hormonas en el desarrollo de los insectos .....	
Control hormonal en los vertebrados .....	140
Hormonas en mamíferos y aves .....	
Hormonas en reptiles, anfibios y peces .....	
Puntos de vista .....	
Por la reproducción de nuestras mascotas .....	142
Por la castración de nuestras mascotas .....	143
Actividades finales .....	144
<b>SECCIÓN III • DEL ADN AL ORGANISMO</b>	
<b>Las proteínas</b>	
Punto de partida .....	145
Las proteínas en los seres vivos .....	146
La diversidad y las proteínas .....	
Clasificación de las proteínas según su función .....	148
Las enzimas .....	150
Las enzimas del hígado .....	
Los aminoácidos y las proteínas .....	152
Los aminoácidos .....	
De aminoácidos a proteínas .....	
La estructura de las proteínas .....	154
Clasificación de las proteínas según su estructura .....	

<b>Clasificación de las proteínas según su composición química .....</b>	
Propiedades de las proteínas .....	155
Desnaturalización de proteínas .....	
Ciencia sin fin .....	
De la albúmina a la Insulina: historias de proteínas .....	157
Relación entre la estructura y la función de las proteínas .....	158
Síntesis de proteínas .....	159
Puntos de vista .....	
Dieta proteicas balanceadas .....	160
Dieta hiperproteicas .....	161
Actividades finales .....	162
<b>El ADN</b>	
Punto de partida .....	163
El ADN: biblioteca de genes .....	164
Genes, código genético y genoma .....	
Proyecto Genoma Humano .....	
Los ácidos nucleicos .....	166
La estructura del ADN .....	167
Transmisión genética: replicación del ADN .....	168
Un código universal .....	
Clasificación y función del ARN .....	170
Ciencia sin fin .....	
Proteínas versus ADN: peleando el primer puesto .....	171
De genes a proteínas .....	172
Mutaciones: errores y variabilidad .....	174
Efectos de las mutaciones .....	
Genotipo y fenotipo .....	175
Puntos de vista .....	
Información genética para diagnosticar y curar .....	176
Información genética para marginar y patentar .....	177
Actividades finales .....	178
<b>La biotecnología</b>	
Punto de partida .....	179
Biología tradicional y moderna .....	180
Ingeniería genética .....	
Herramientas de la ingeniería genética .....	182
Organismos transgénicos .....	183
La Industria biotecnológica .....	184
Insulina recombinante humana .....	

## Actividades finales

Recordá

6. Indicá si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F). En el caso de que sean falsas, justifícalas por qué pensás que lo son.

- a) Hace ya mucho tiempo que los científicos han renunciado a la idea de obtener "la verdad" última y definitiva.
- b) Las "verdades" aportadas por los mitos o las religiones son otra categoría de "verdades", que no están dentro de las fronteras de la ciencia.
- c) En las hipótesis podrán usarse palabras relacionadas con sentimientos, la moral o apreciaciones estéticas.
- d) Un modelo debe representar un fenómeno natural absolutamente en todas sus características para ser válido.
- e) La comunicación es un área secundaria para los investigadores.
- f) La biología se ocupa del estudio de los seres vivos en todos sus aspectos.

Relacioná

7. Escríb una lista de diez profesiones relacionadas con la biología y comentá en pocas palabras a qué se dedica cada una de ellas

8. ¿Cómo puede relacionarse el concepto de ciencia con la frase "No hay nada nuevo bajo el Sol"? Escríb un texto de al menos cinco renglones sobre tu parecer.

9. Ciencia es una palabra que viene del latín y deriva del verbo saber. Pensemos entonces: ¿cuál es la diferencia entre saber, pensar, sentir y creer? Quizá te ayude analizar la situación planteada al comienzo del capítulo.

- a) Buscá al menos cinco ejemplos en los que solo se pueda "creer".
- b) Ahora encontrá cinco ejemplos de sensaciones (cosas que se puedan sentir).
- c) Pensar (o razonar) parece ser algo distinto. Mencioná al menos dos razonamientos que hayas tenido últimamente.
- d) Por último, ¿cómo podés saber si un compañero tiene o no fiebre?

10. Leé el siguiente párrafo, tomado del libro *Novum Organum*, de Francis Bacon. Luego respondé las preguntas.

En el año de 1432, se originó una grave polémica entre un grupo de frailes sobre la cantidad de dientes que tenían los caballos. Rápidamente consultaron sus libros e hicieron muestras de su erudición citando versículos, párrafos o capítulos. Al comenzar el décimo cuarto día de discusiones, un joven fraile de apariencia bondadosa pidió permiso a sus ilustrados superiores para opinar y terminar de inmediato con la discusión.

Sugirió que como él había traído un caballo hasta la puerta del convento, todos bajaran, abrierañ el hocico del animal y contaran los dientes. Esto ofendió la dignidad de los clérigos, quienes inmediatamente se pusieron de acuerdo... para castigar al joven por su osadía.

- a) ¿Cómo clasificarías la actitud del joven fraile en cuanto a su forma de adquirir conocimientos?
- b) ¿Y al grupo de frailes ilustrados?
- c) Realizá un breve análisis del texto utilizando la información que obtuviste en este capítulo.

Resolvé

11. ¿Qué habilidades lingüísticas creés que necesitarás para resolver las siguientes situaciones?

- a) Un grupo de compañeros te pide que los ayudes a comprender las teorías de Descartes y Bacon acerca del método científico.
- b) En clase se genera un debate sobre la necesidad de incorporar actividades de laboratorio en la clase de biología. Te parece importante que esto ocurra.
- c) Una vecina te pide ayuda para usar su computadora.

Investigá

12. De la siguiente lista de descubrimientos científicos, marqué los relacionados con la biología. Investiga algunos datos acerca de cómo se llegó a ellos.

- a) La existencia de los grupos sanguíneos.
- b) La determinación de la edad tiene nuestro planeta.
- c) La formación de las nubes.
- d) El papel de las neuronas.
- e) La pasteurización de la leche.
- f) La importancia de las vitaminas.
- g) La formación de las montañas.
- h) La utilidad de los antibióticos.



## Seres vivos y su relación con el medio

### Punto de partida

Candela salió de su casa hacia la escuela. Iba un poco retrasada, por eso cruzó la calle apurada y se detuvo de golpe cuando escuchó el bocinazo de un auto que doblaba en la esquina. ¡Se dio cuenta de que era mejor esperar la indicación del semáforo! Luego de cruzar, se encontró con Andrea para seguir juntas el recorrido. Candela notó que su compañera estaba temblando y pensó que se debía al frío matinal; sin embargo, por su cara, supuso que ella también se asustó al verla cruzar la calle. A las dos les había pasado lo mismo, pero ya estaban más calmadas y en el resto del camino fueron comentando qué importante es no andar por la calle distraídas.

- a) Al caminar por la calle nos encontramos con mucha y variada información. ¿A qué información no prestó atención Candela y a cuál sí?
- b) Con qué estructuras cuenta el cuerpo de Candela para captar esas informaciones? ¿Cómo reaccionó ante cada una?
- c) ¿Qué otro tipo de información encontrás en la calle?
- d) ¿A qué creés que se debe que temblemos cuando hace frío?
- e) ¿Qué significa para vos "estar distraído"? ¿Por qué creés que nos distraemos?

## Conoci

### Habituando el ambiente

El término ambiente (del latín *ambitus*, rodear) suele emplearse con diferentes significados. Uno de ellos hace referencia a una habitación, como cuando decimos que una casa tiene tres ambientes. Otra remite a las condiciones de una reunión, por ejemplo, al decir que el ambiente de una fiesta fue muy divertido. También suele emplearse con relación al aire o la atmósfera, al hablar de la temperatura ambiente. En Ciencias naturales, en particular cuando se habla de un ser vivo, el ambiente incluye los componentes tanto físicos (temperatura, agua, luz, etc.) como biológicos (otros seres vivos, sus restos y desechos) y también las relaciones que se establecen entre ellos, que influyen sobre ese ser vivo.



Es posible armar un sistema cerrado con un frasco en el que se coloca tierra húmeda y una planta, y luego se cierra herméticamente. En esas condiciones, el sistema solo intercambia energía en forma de luz y calor con el ambiente. Este sistema no se podrá mantener de manera indefinida.

## Los seres vivos como sistemas

No es la primera vez que hablamos de los seres vivos. ¿Qué se tiene en cuenta para caracterizarlos? ¿Cómo se los estudia? Hasta mediados del siglo XX, se tenía una mirada analítica de la naturaleza en general y de los seres vivos en particular, es decir, se consideraba que debían estudiarse "por partes". Se suponía, por ejemplo, que entender cómo funciona una célula permitía entender cómo funciona el organismo completo al que pertenece.

Para esa época, el biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy planteó la teoría general de sistemas. Con ella propuso una mirada diferente: no tenía en cuenta solo los componentes aislados de un organismo, sino también las posibles relaciones entre ellos. A partir de ese momento se comenzó a estudiar a los seres vivos como sistemas. ¿Qué significa esto? Se considera sistema a un conjunto de componentes que se relacionan entre sí. Si bien cada componente posee una función particular, no actúa de manera aislada sino coordinadamente como parte de un todo. Pensemos, por ejemplo, en nuestro sistema digestivo, que transforma en nutrientes los alimentos que ingerimos, como un componente del organismo. Su función cobra sentido en el marco del funcionamiento general de nuestro cuerpo, ya que al liberar los nutrientes permite que el sistema circulatorio los transporte a cada una de sus células, que a su vez los utilizarán para cumplir con sus funciones.

### Tipos de sistemas

Así como al estudiar un sistema es importante considerar las relaciones entre sus componentes, también hay que tener en cuenta las que establece con el ambiente al que pertenece. Al hacerlo, es posible identificar tres tipos de sistemas.

- **Sistemas aislados.** No interactúan con el ambiente, no hay intercambios entre el sistema y el exterior. Es el caso de un sistema ideal perfectamente cerrado que contiene agua caliente. No incorpora ni elimina materia ni energía, por lo que el agua permanece siempre a la misma temperatura y con el mismo volumen.
- **Sistemas cerrados.** Interactúan con el ambiente a través del intercambio de energía pero no de materia, por ejemplo, una taza con leche caliente puesta sobre la mesa. Al cabo de un rato, la leche estará más fría, parte de su calor habrá pasado al ambiente, aunque el volumen de leche se habrá mantenido constante.
- **Sistemas abiertos.** Interactúan con el ambiente intercambiando con él materia y de energía. Por ejemplo, una fogata se mantiene encendida al incorporar oxígeno del ambiente, mientras le entrega dióxido de carbono y energía en forma de luz y calor.

Los seres vivos son sistemas abiertos. Todos incorporan materia y energía del ambiente, que aprovechan para su crecimiento y su mantenimiento. Además, producen sustancias de desecho que liberan al ambiente y disipan energía en forma de calor.

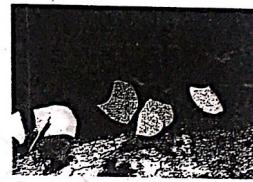


## 1

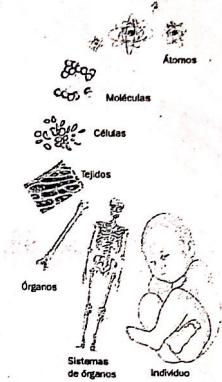
### Los niveles de organización

A través de su teoría de sistemas, Bertalanffy propuso que se debía estudiar de manera similar desde lo más diminuto, como un átomo, hasta lo más enorme y distante a nosotros, como una lejana galaxia. Esta mirada llevó a considerar que en la naturaleza se pueden reconocer una serie de niveles de organización, cada uno de los cuales constituye un sistema. Ya en la Grecia antigua, en el siglo IV a. C., Aristóteles sostendrá que el todo es más que la suma de las partes. Esta idea, retomada por Bertalanffy, lo condujo a definir las llamadas **propiedades emergentes** como aquellas que un determinado nivel de organización adquiere por la suma de las partes que lo forman y que no eran propiedades de cada parte por separado. Tomemos como ejemplo los huesos, que a pesar de su dureza característica, cumplen con la función de sostén solo al unirse por medio de articulaciones y conformar el esqueleto. Por lo tanto, el esqueleto es más que una suma de huesos, y la función de sostén constituye una propiedad emergente del nivel de sistemas de órganos, al que corresponde el esqueleto.

En cada nivel de organización también es posible encontrar regularidades o **propiedades trascendentes**, es decir, propiedades comunes a todos los sistemas, que permiten explicar su funcionamiento. Para el caso de los seres vivos, una de sus propiedades trascendentes es la de ser sistemas abiertos, lo que nos permite generalizar su característica de intercambiar materia y energía con el ambiente. Otras propiedades trascendentes de los seres vivos son la función de relación y la función de control, que analizaremos en las páginas siguientes.



En el caso de los insectos sociales, como las hormigas, la comunidad se puede considerar un nivel de organización, ya que sus integrantes actúan en general colectivamente para asegurar la supervivencia de la colonia.



Cada nivel de organización se conforma con componentes del nivel anterior que funcionan de manera coordinada. Más allá del nivel de individuo, se pueden considerar otros niveles: población, comunidad, ecosistema, bioma y biosfera.

### Recordá

- ¿Cuál es la diferencia entre estudiar a los seres vivos con una mirada analítica y con una mirada de sistema?
- Completa con cruces el siguiente cuadro:

Sistemas		
Intercambio	Materia	Energía
Cerrado	—	—
Aislado	—	—
Abierto	—	—

- En un sistema, ¿a qué se considera una propiedad emergente y a qué una propiedad trascendente?

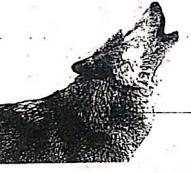
### Resolvé

- Mediante el proceso de fotosíntesis, las plantas elaboran su alimento a partir de dióxido de carbono del aire, agua y energía lumínosa. Como resultado, también producen oxígeno y agua. Además, aprovechan las sales disueltas en el agua que incorporan en la producción de otras sustancias necesarias para su mantenimiento. ¿Cómo puede mantenerse en el tiempo un sistema cerrado como el del frasco mencionado en esta página?

### Investiga

- Una de las funciones de los seres vivos es la nutrición, en la que participan los sistemas digestivo, respiratorio, circulatorio y urinario. Investiga qué función particular aporta cada uno de esos sistemas. A partir de esa investigación, ¿por qué te parece que la nutrición puede considerarse una propiedad emergente en el nivel de organización de individuo?

## Función de relación en los seres vivos

  
En la actividad inicial de este capítulo identifícate algunos ejemplos de información proveniente del ambiente. Esta información es de gran importancia para el desarrollo de las actividades de todos los seres vivos e incluso para su supervivencia. Imaginemos a un joven león que se acerca a otro adulto, mientras este se alimenta de una gacela que acababa de atrapar. De pronto, el adulto volteó la cabeza y emite un potente rugido. Tanto el sonido como su expresión informan que aun no es momento de compartir la presa, por lo que el joven se aleja y evita un enfrentamiento. En este caso, un ser vivo interacciona con otro a través de la información que le aporta su comportamiento.

También podemos pensar en interacciones vinculadas con información sobre características físicas del ambiente como la temperatura, la luz o el agua. ¿Conocés algún ave migratoria? Muchas especies de aves viajan miles de kilómetros entre diferentes regiones del planeta en busca de climas propicios para alimentarse y tener sus crías. ¿Cómo saben cuándo tienen que partir? Diversos estudios permitieron reconocer que el principal factor es el acortamiento del día. Todos sabemos que cuando comienza el otoño, disminuye la cantidad de horas de luz. Esta información sería la que desencadena el inicio del viaje.

Y hay más ejemplos de interacciones, como las plantas que crecen con sus hojas orientadas hacia el lugar de donde proviene la luz, o los bichos bólita, que se alejan de lugares secos y se refugian en sitios húmedos. Los microorganismos también responden ante estímulos como la luz, el agua y la temperatura. Los paramecios, por ejemplo, responden a la luz acercándose a ella.

Toda información del ambiente constituye un estímulo. Los seres vivos cuentan con mecanismos que les permiten captar esos estímulos y responder a ellos de diferentes maneras. Por medio de esta función de relación los seres vivos interactúan con el ambiente. Más allá de la diversidad de estructuras que presentan, todos cuentan con algunas denominadas receptores, especializadas en captar la información, y otras denominadas efectores, que ponen de manifiesto la respuesta.

El sonido permite la relación entre los integrantes de una población en muchas especies de animales. Elullido de un lobo es escuchado a grandes distancias por los integrantes de su manada.

### Conocé

#### Ajúilon estimulante

El término estímulo proviene del término latino *stimulus* (ajúilon) y se vincula con el verbo estimular, que significa provocar la concreción de algo o dar inicio a una actividad, labor, operación o función. Por ejemplo, nos referimos a un estímulo económico para quien realiza un trabajo o un estímulo económico, como un estímulo para quien realiza una carrera. Cuando se aplica a la función de relación de los seres vivos, un estímulo es cualquier forma de energía, ya sea química, mecánica o electromagnética, capaz de desencadenar alguna reacción en un organismo.

#### Tipos de respuestas en animales

En los ejemplos anteriores los animales responden a determinados estímulos con movimientos, pero esta no es la única posibilidad. Veamos qué respuestas pueden desplegar los animales.

- **Respuestas motoras.** Son las que involucran movimiento. En este caso, los efectores que manifiestan la respuesta son los músculos, por medio de su capacidad de contracción y relajación.
- **Respuestas inmunitarias.** La entrada en el organismo de un agente extraño, como un virus o una bacteria, constituye una información y también desencadena una respuesta, en este caso, algún mecanismo de defensa que evite la acción patogénica de dichos agentes. Los efectores varían según de qué animales se trate. En los invertebrados podemos encontrar células que engloban organismos extraños y los destruyen por un proceso llamado fagocitosis. En los vertebrados, los efectores son un tipo particular de células de la sangre denominadas glóbulos blancos. Algunos de ellos destruyen directamente a los agentes extraños y otros producen proteínas llamadas anticuerpos, que son las que los destruyen.

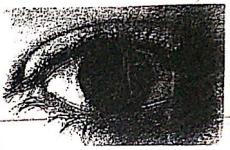
○ **Respuestas secretoras.** Consisten en la producción de sustancias en órganos efectores denominados glándulas. Las glándulas endocrinas producen hormonas que, a través de la circulación sanguínea, llegan a diferentes partes del cuerpo, donde provocan algún efecto. Por ejemplo, en las glándulas suprarrenales se secreta, en respuesta a una situación de estrés, la adrenalina, que produce en el cuerpo una serie de reacciones que lo preparan para la lucha o la huida. Las glándulas exocrinas, en cambio, producen sustancias que vierten hacia alguna cavidad del cuerpo o al exterior. Un ejemplo son las lágrimas producidas por las glándulas lagrimales que permiten mantener húmeda y limpia la superficie de los ojos, y cuya producción aumenta ante la presencia de un cuerpo extraño o una sustancia irritante.

#### Tipos de respuestas en plantas

Si bien no solemos asociar a las plantas con el movimiento, la realidad es que se mueven. ¿De qué maneras pueden responder las plantas? Veamos.

○ **Respuestas que incluyen movimiento.** Algunas plantas realizan movimientos con efectos permanentes, como el crecimiento de alguna de sus partes hacia o en contra de un estímulo. En otros casos, se observan movimientos de efecto temporal, como la rotación de las flores u hojas siguiendo el trayecto del Sol, o la apertura y cierre de las hojas ante determinados estímulos.

○ **Respuestas secretoras.** Las plantas no poseen glándulas como las de los animales, pero sí células o estructuras que segregan sustancias ante determinados estímulos. Un ejemplo es la secreción de néctar que atrae a insectos o mariposas, que contribuyen a la polinización y, en consecuencia, a la reproducción. Otras plantas producen néctar en estructuras presentes en las hojas, que atrae a las hormigas, que a su vez defienden a la planta contra otros insectos herbívoros. Otro ejemplo son las sustancias tóxicas o urticantes producidas en pelos presentes en hojas o tallos.



Las lágrimas se secretan en forma constante para mantener el ojo húmedo, pero su secreción aumenta en respuesta a un estímulo irritante.



Las mariposas se acercan a las flores para tomar el néctar que estas secretan. Al mismo tiempo, se llevan en patas y alas el polen con el que polinizan a otros ejemplares.

#### Relacioná

4. Responde a qué tipo de respuesta corresponde cada ejemplo.

- a) El zorrino produce una sustancia aceitosa y de olor desagradable que elimina cuando se siente amenazado.
- b) La dionaea es una planta insectívora que, además de realizar fotosíntesis, obtiene algunas sustancias a partir de la digestión de los insectos que atrapa. Tiene hojas modificadas, con espinas en sus bordes, y prolongaciones como pelos en la nervadura central. Cuando un insecto se posa sobre la hoja y roza esos pelos, la hoja se dobla por la mitad y lo atrapa.

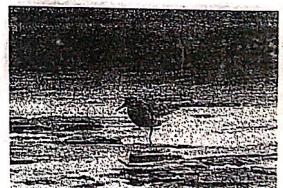
#### Resolvé

5. Los playeros rojizos son aves migratorias que recorren 16 mil kilómetros desde su área de cría, en el Ártico, hasta su área de alimentación, en la Patagonia costera. Allí se alimentan de unos pequeños moluscos llamados mejillines. En el extremo del pico los playeros poseen órganos denominados corpúsculos de Herbst, que les permiten captar vibraciones. Gracias a ellos detectan a

los mejillines aun cuando están enterrados en la arena.

En San Antonio (costa de Río Negro) los mejillines se encuentran adheridos a las rocas, por lo cual ese mecanismo de búsqueda de alimento no resulta efectivo.

- a) ¿Qué función cumplen los corpúsculos de Herbst?
- b) En playas de arena los playeros rojizos pueden alimentarse tanto de día como de noche. En cambio, en las playas rocosas solo pueden hacerlo durante las horas de luz. ¿A qué se debe?



Playero rojizo.

## Función de control en los seres vivos

Alguna vez pensaste cuántas cosas suceden en el cuerpo de un ser vivo? ¿Cómo es posible que todo ocurra al mismo tiempo y sin "errores"? Esto es así gracias a la función de control, que, a través de diversos mecanismos, permite que cada actividad ocurra en el momento adecuado y de la manera apropiada.

Un atleta que realiza una proeza deportiva mientras mantiene sus funciones corporales habituales -respira, digiere, produce orina, crece o envejece-, nos da una idea de los múltiples procesos de control que requiere la vida cotidiana de cualquier ser vivo.

Imaginá una escena en la Puna: un grupo de vicuñas se alimenta de los duros y escasos pastos, pero una de ellas se mantiene alerta tratando de detectar la posible presencia de un puma, su predador. Por un lado, intenta satisfacer su necesidad de alimento. Por otro, con los oídos y la vista atentos, se dispone a avisar al resto, con una especie de reinicio, ante la aparición del puma para emprender la retirada.

Al mismo tiempo, en su cuerpo se suceden diversas actividades: el oxígeno del aire que ingresó en sus pulmones pasa a la sangre, el corazón bombea esa sangre y la mantiene circulando, si es un individuo juvenil está en pleno crecimiento y si se trata de una hembra adulta hasta puede estar gestando una cría. Estas múltiples actividades son solo algunas de las que lleva a cabo su organismo simultáneamente y a cada momento.

Lo mismo ocurre con las plantas. Al mismo tiempo que crecen o florecen, producen el néctar que facilita la polinización, responden a estímulos externos, realizan la fotosíntesis que les permitirá obtener nutrientes, etcétera.

### El control de actividades en los animales

Retomemos el ejemplo de la vicuña. Algunas de sus actividades se realizan rápidamente e incluso es vital que así suceda, de otro modo jamás podría reaccionar con la velocidad necesaria para escapar de su predador. Por el contrario, otras actividades ocurren más lentamente, como el crecimiento, que solo es observable al cabo de cierto tiempo, ya que es un proceso gradual.

El organismo cuenta con dos tipos de mecanismos de control diferentes, que podemos relacionar a su vez con estos dos tipos de actividades: rápidas y lentas.

3. **Control nervioso.** Se ejerce sobre actividades que se desencadenan y terminan rápidamente, y que pueden durar minutos o algunas horas, como por ejemplo la contracción de los músculos que produce movimientos. Este tipo de control se lleva a cabo por medio de mensajes que, en forma de impulsos nerviosos, viajan a gran velocidad a través de los nervios desde las zonas donde se reciben los estímulos y hacia los órganos efectores de las respuestas, como veremos en el capítulo 5.

Tanto el puma para atrapar a su presa como la vicuña para escapar de su predador requieren de la acción rápida del control nervioso sobre sus músculos y su metabolismo.



4. **Control endocrino.** Se ejerce sobre actividades del organismo que se desencadenan y desarrollan lentamente y se prolongan en el tiempo, y pueden durar desde algunos días hasta varios meses. Ejemplos de estas actividades son el crecimiento y los cambios asociados a la madurez sexual. También las transformaciones que se dan en el proceso de metamorfosis, que determina el pasaje de las larvas al estado adulto en las ranas y en insectos como las mariposas. Este control se lleva a cabo más lentamente, ya que la comunicación de los mensajes, que se transmiten por medio de hormonas, requiere su producción en glándulas especiales y su transporte a través de la circulación hasta los lugares donde actúan, como veremos en detalle en el capítulo 7.

### El control en las plantas

Como ya dijimos, en las plantas también existe un sistema de control que les permite responder a los estímulos ambientales y mantener su metabolismo en marcha. Este sistema involucra la producción de hormonas.

Grupos especializados de células presentes en diferentes partes de las plantas producen hormonas con variadas funciones. El crecimiento en largo de los tallos, su curvatura orientada hacia una fuente de luz, la germinación de las semillas y la apertura de las flores son solo algunos ejemplos de actividades que están bajo el control de las hormonas vegetales.

Cada hormona cumple funciones específicas, actúa en diversos momentos y lugares de la planta y sus acciones pueden oponerse a las de otras hormonas. A modo de ejemplo, podemos mencionar a las gibberelinas y el etileno. Mientras las primeras intervienen en la formación de las flores, el segundo promueve su caída luego de que se marchitan.

Las auxinas, por su parte, son hormonas que, entre otras funciones, participan en el crecimiento de los tallos. Y no solo cuando crecen derechos, también cuando se curvan hacia la luz y cuando se enrollan sobre un alambre. Esas diferencias en el crecimiento se vinculan con la cantidad de auxinas producidas, y también con la mayor o menor concentración de auxinas en diferentes partes del tallo.

### Recordá

6. Plante las diferencias entre:

- a) Función de relación y función de control.
- b) Control nervioso y control endocrino.
- c) Control hormonal en animales y en plantas.

### Relacioná

7. Tanto los camaleones, originarios de África, como los anolis, que habitan en América Central y del Sur, son reptiles.



Tienen en común la capacidad de cambiar de coloración. ¿Cómo lo logran? En ambos el cambio se desencadena a partir de ciertas condiciones de luz y de temperatura del ambiente, pero mientras en el camaleón está bajo control nervioso, en los anolis el control es endocrino.

¿Cuál de ellos supones que cambia de color más rápido y cuál más lentamente? ¿Cómo justificás tu respuesta?

### Resolvé

8. En los animales, el control de las actividades se ejerce a través de la transmisión de mensajes. ¿Qué son esos mensajes? En algunos casos, son señales que producen cambios eléctricos a modo de impulsos, y en otros, sustancias químicas. Cada tipo de mensaje recorre el organismo a través de vías particulares, que los conducen a los lugares en donde ejercen el control. Copia en tu carpeta el siguiente cuadro comparativo entre los sistemas de control de los animales y completalo.

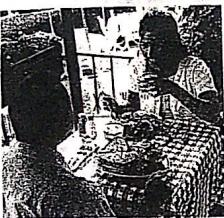
Control nervioso	Control endocrino
Transmisión del mensaje	
Velocidad de la respuesta	
Duración del control	
Ejemplo de actividades controladas	



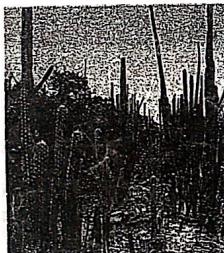
Hembra de carpincho amamantando a sus crías. La producción de leche es un ejemplo de actividad que se encuentra bajo el control endocrino.



En los árboles, las auxinas retrasan la caída de las hojas y el etileno, que se produce con la llegada del otoño, la promueve.



Cuando comemos, aumenta la cantidad de glucosa en la sangre. El cuerpo la detecta y se activa la producción de insulina, que disminuye la glucosa. Este mecanismo permite mantener la glucosa en sangre dentro de ciertos valores.



Las plantas que viven en climas muy secos tienen hojas de tamaño reducido o espinas lo que impide la pérdida de agua por transpiración a través de los estomas.



#### Relaciona

9. El organismo humano contiene aproximadamente 70% de agua. Normalmente se incorporan por día unos 1.200 ml como bebida, 1.000 ml incluidos en los alimentos y 350 ml se originan en la actividad celular. Por otro lado se eliminan cada día unos 1.500 ml de agua en la orina, 900 ml a través de la piel y los pulmones, 100 ml en la materia fecal y 50 ml como transpiración.
- a). ¿Por medio de qué mecanismos el cuerpo incorpora y pierde agua?

#### La homeostasis

Los seres humanos, como muchos otros animales, somos capaces de mantener nuestra temperatura corporal constante. En nuestro caso, en alrededor de 36,5 °C. Cuando nuestro cuerpo se enfria, temblamos, y cuando se calienta, por ejemplo luego de hacer mucho ejercicio, transpiramos. ¿Por qué nos pasa esto? Cuando la temperatura corporal baja, entre otras reacciones, nuestro cuerpo genera contracciones musculares que generan calor y se perciben como temblores. En cambio, cuando la temperatura corporal es alta, aumentan el flujo de sangre hacia la piel y la transpiración, con lo cual se disipa parte del calor y se enfria la piel.

Este ejemplo nos muestra que, así como el organismo capta estímulos del ambiente, también puede percibir estímulos de su medio interno, es decir, del interior de su propio cuerpo, en este caso el aumento o la disminución de la temperatura corporal.

Una de las condiciones para el óptimo funcionamiento de cualquier organismo es mantener dentro de cierto rango las características de su medio interno, como la cantidad de agua, de dióxido de carbono o de nutrientes. ¿Qué sucede si cambian esas condiciones? Se desencadenan mecanismos que las restablecen.

La homeostasis es el conjunto de procesos que mantienen el equilibrio interno del organismo. La contracción muscular y la transpiración, entonces, son mecanismos homeostáticos de termorregulación, que se ponen en funcionamiento para restablecer las condiciones óptimas de temperatura corporal. En el caso de animales que no son capaces de regular su temperatura corporal, como los peces, los anfibios y los reptiles, el mantenimiento de una temperatura adecuada se logra mediante algunas adaptaciones de los procesos bioquímicos y con conductas especiales como las largas exposiciones al sol en los lagartos o la búsqueda de aguas más templadas en los peces.

Otro caso de mecanismo homeostático es el de osmorregulación, que mantiene un estado de equilibrio en relación con la cantidad de agua y de sales del organismo. Por ejemplo, con respecto al agua, si consumimos grandes cantidades, los riñones producen orina diluida (con abundante proporción de agua) para eliminar el exceso, y si consumimos poca agua, los riñones producen orina concentrada (con menor proporción de agua que lo normal) para retener la necesaria.

Las plantas, por su parte, regulan su contenido de agua por medio de un mecanismo en el que participan los estomas, que son poros presentes en las hojas. Si tienen exceso de agua, los estomas se abren y la eliminan, y si el contenido de agua es escaso, los estomas se cierra y evitan que se elimine.

También existen ejemplos de osmorregulación entre los microorganismos, como el paramecio, que posee vacuolas (cavidades limitadas por membrana) en cuyo interior acumulan agua. Periódicamente las vacuolas se contraen y eliminan el exceso de agua al exterior.

- b) ¿Cómo es la relación entre la cantidad de agua incorporada y la eliminada?
- c) ¿Qué crees que ocurre cuando esta relación se modifica? ¿En qué casos podría ocurrir y por qué mecanismos podría el organismo recuperarla?
- d) ¿Cómo relacionarías, con tus palabras, el concepto de homeostasis con este ejemplo?

#### Homeostasis y enfermedades

Desde sus orígenes, el ser humano trató de explicar los fenómenos que sustentan la vida, cómo funciona su propio organismo y por qué se producen las enfermedades. En las civilizaciones más antiguas, la práctica médica se basó en dos pilares: el uso de remedios obtenidos de la naturaleza, y la atribución a los dioses de todo aquello que resultaba inexplicable.

● ¿Considerás que en la actualidad siguen vigentes en ciertas prácticas médicas los pilares mencionados? ¿Por qué?

El filósofo griego Aristóteles fue quien marcó el inicio de la fisiología, ciencia que estudia las funciones de los seres vivos, al proponer la relación entre estructura y función. Y en el siglo II Galeno demostró mediante experimentación la función de algunos órganos como los riñones. Sin embargo, sus explicaciones se relacionaban con la existencia de ciertos "espíritus", una suerte de materia muy sutil que ponía en funcionamiento los órganos.

En los próximos siglos innumerables científicos aportaron conocimientos acerca del funcionamiento del organismo humano. Algunos se basaron en observaciones anatómicas, como el médico inglés William Harvey, que describió el sistema circulatorio en el siglo XVI. Otros estudiaron procesos, como el científico italiano Lazzaro Spallanzani, que en el siglo XVII identificó el proceso químico de transformación de los alimentos durante la digestión.

● Investiga qué dificultades se les presentaban a los científicos en las épocas de Harvey y Spallanzani para estudiar el funcionamiento del organismo humano. ¿Cómo supones que influyeron esas dificultades en los avances científicos?

En el siglo XX, el médico francés Claude Bernard le dio a la medicina carácter experimental. Basó en

la fisiología el estudio de las enfermedades y sus tratamientos. Determinó la estabilidad de ciertos parámetros del organismo, como la temperatura y la presión arterial, y estudió, por otro lado, la teoría celular postulada en 1838 por Schleiden y Schwann, según la cual todos los seres vivos están formados por células.

Bernard consideró la existencia de un medio interno en todos los seres multicelulares, constituido por un líquido que bañaba las células y que contenía una serie de sustancias con las cuales estas interaccionaban. Sostenía que "todos los mecanismos vitales, por muy variados que sean, tienen un fin, mantener la constancia del medio interno". Proponía entonces que, si la enfermedad aparece cuando se altera la estabilidad del medio interno, los tratamientos deberían orientarse a restaurar esa estabilidad.

● Discutí en grupo si Bernard podría haber planteado su concepto de medio antes del postulado de la teoría celular. Tomen este ejemplo para analizar la importancia de la comunicación de los conocimientos científicos.

En 1928, el fisiólogo americano Walter B. Cannon acuñó el término de homeostasis (del griego *homo*, semejante, y *stasis*, posición o estabilidad) para referirse a los mecanismos que regulan el medio interno en todos los seres vivos. Al hacerlo, explicó qué eligió el prefijo "homeo-" en lugar de "homo-" (igual) porque las características del medio interno no son fijas e inmóviles, sino que varían dentro de un rango de valores.

● Discutí en grupo qué ventajas puede tener conocer el origen de los términos científicos.

● ¿Creés que sigue vigente la idea de Claude Bernard acerca de la relación entre pérdida del equilibrio homeostático, enfermedad y tratamiento?

Escaneado con CamScanner

## Pensar en ciencia

El uso de modelos está muy extendido entre los científicos. Esta manera simplificada de representar objetos o procesos permite, por un lado, hacer entender a otros un problema complejo, y por otro lado, abordar el estudio de un sistema utilizando solo las variables que convienen a los objetivos que se persiguen en un trabajo en particular.

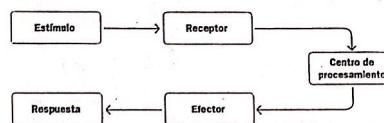


El modelo estímulo - procesamiento - respuesta en el ejemplo de una gacela.  
A. Percebe un estímulo visual o auditivo.  
B. Su sistema nervioso procesa la información.  
C. Sus músculos reciben la orden para emprender la huida mientras todo el organismo se adapta a la nueva situación.

## Modelo de estímulo - procesamiento - respuesta

Ya vimos que cuando los científicos quieren estudiar un fenómeno complejo, muchas veces recurren al uso de modelos, una manera de representarlo de forma simple y más comprensible. El proceso se representa entonces con un esquema simplificado que toma en cuenta las propiedades conocidas del fenómeno.

Sabemos ya que los seres vivos son sistemas abiertos, controlados por sistemas específicos, que responden a estímulos internos y externos con una acción coordinada. Lo que caracterizamos antes como propiedades trascendentes de los seres vivos permite describir un modelo que se aplica a todos ellos en cuanto a los procesos de adaptación al ambiente. Todo lo que tratamos hasta ahora respecto de la recepción de estímulos y elaboración de respuestas se puede explicar mediante el modelo de estímulo - procesamiento - respuesta, dejando por un momento de lado la variedad de estructuras que llevan a cabo estos procesos en los diversos seres vivos. Se puede sintetizar en el siguiente esquema:



Veamos cómo aplicar el modelo, por ejemplo, al comportamiento de una gacela ante la aparición de un predador como el león. La presencia del león constituye un estímulo, que es captado por receptores presentes en los ojos. Esta información llega hasta el centro de procesamiento, en este caso, el cerebro de la gacela, que interpreta la información y elabora un mensaje. Finalmente, el mensaje en forma de impulsos nerviosos viaja por los nervios hasta los músculos, que son los efectores que manifiestan la respuesta. Como resultado, la gacela emprende la retirada saltando.



El lugar donde se produce el procesamiento es muy variado en su complejidad cuando nos referimos a diferentes grupos de animales, pero el modelo se puede aplicar a todos ellos. En cuanto a las plantas y los microorganismos, aunque carecen de centros de procesamiento, los estímulos que captan producen cambios fisiológicos que se constituyen en señales para las estructuras que actúan como efectores. Por lo tanto, podemos aplicar también este modelo en esos seres vivos para explicar sus mecanismos de relación y control.

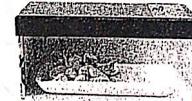
En el caso de las plantas, como en todos los seres vivos, la captación del estímulo requiere un receptor adecuado, por ejemplo, un pigmento que reacciona frente a la luz. La percepción del estímulo produce una alteración en la fisiología (funcionamiento) de algunas células, que puede consistir en cambios en la polaridad de membranas o producción y liberación de sustancias químicas. Este cambio puede transmitirse a otras células y provoca una reacción en la planta, por ejemplo, el crecimiento en una determinada dirección de alguna de sus partes.

Las bacterias son capaces de responder a la presencia de sustancias nutritivas o tóxicas acercándose y alejándose, respectivamente. El estímulo, representado por estas sustancias, actúa sobre receptores de la membrana celular. En la *Escherichia coli*, como en muchos otros microorganismos, estos receptores envían una señal al interior de la célula y activan proteínas que actúan sobre el sentido de giro de los flagelos, lo que a su vez determina la dirección del movimiento de la bacteria. Este tipo de respuesta se denomina quimiotaxis.

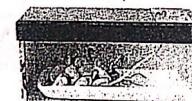
En el ser humano, los sistemas de órganos funcionan de manera coordinada para lograr el equilibrio del organismo. El control es ejercido fundamentalmente por dos sistemas:

- **Sistema nervioso.** Capta la información del ambiente y del interior del cuerpo, la procesa y elabora respuestas. También controla diferentes actividades del organismo como el movimiento.
- **Sistema endocrino.** Produce hormonas que controlan diferentes actividades del organismo. Actúa en respuesta a estímulos internos y externos.

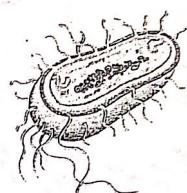
### Respuesta al estímulo lumínico



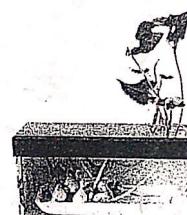
La luz incide desde un lugar determinado.



La planta responde al estímulo y los tallos crecen hacia la luz.



Mediante el movimiento de sus múltiples flagelos, la bacteria *Escherichia coli* produce una respuesta de quimiotaxis al estímulo de la concentración de determinadas sustancias en su ambiente.



Una vez alcanzado el objetivo, la planta sigue creciendo verticalmente.

### Recordá

10. ¿En qué se diferencia el modelo de estímulo - procesamiento - respuesta al aplicarlo en animales, plantas y microorganismos?

11. ¿Cómo se explica a partir del modelo estímulo - procesamiento - respuesta el acercamiento de una bacteria hacia una sustancia nutritiva?

### Resolvé

12. Teniendo en cuenta que en la piel tenemos estructuras que captan la temperatura ambiente y glándulas sudoríparas, que producen sudor, confeccioná un esquema del modelo estímulo - procesamiento - respuesta para

explicar el mecanismo de termorregulación, tanto cuando aumenta como cuando disminuye la temperatura ambiente.

### Investigá

13. Si bien, para simplificar su estudio, se consideran por separado los diferentes sistemas de órganos de nuestro cuerpo, algunos de ellos participan en varias funciones, como el sistema nervioso, que además de la función de control participa de la función de relación, al recibir información del ambiente. Investigá la función de los demás sistemas de órganos e indícal cuáles participan también en la función de relación.

## Actividades finales

Recordá

14. Explicá las diferencias entre:

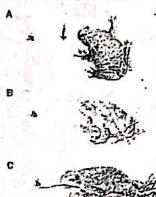
- a) Estímulo y respuesta.
- b) Receptor y efector.
- c) Respuesta vinculada con movimiento en animales y en plantas.

15. Indicá si cada afirmación es verdadera (V) o falsa (F).

En este último caso, modifícalo la oración para que sea verdadera.

- a) El movimiento es una respuesta exclusiva de los animales.
- b) En un sistema, cada componente cumple con su función sin relacionarse con otros componentes.
- c) Un sistema abierto intercambia únicamente energía con el entorno.
- d) El sistema muscular actúa como efecto de las respuestas elaboradas por el sistema nervioso.

16. Observá las imágenes y respondé:



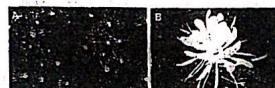
- a) Describí lo que ocurre en cada una.
- b) Explicá las actividades que realiza el sapo utilizando el modelo de estímulo - procesamiento - respuesta.

Relacioná

17. Las plantas rayito de sol (A) y dama de noche (B) tienen algo en común: sus flores se abren y cierran a lo largo del día. Pero, como sus nombres lo indican, lo hacen en momentos totalmente opuestos.

- a) Describí el tipo de respuesta vinculado con la apertura y el cierre de las flores.
- b) Ambas son polinizadas por animales. ¿Qué tipo de animal será en cada caso? ¿Qué estímulos ejercen las plantas sobre sus polinizadores?

- c) ¿De qué modo se controlan la apertura y el cierre de las flores?



Experimentá

18. Reúnete con tu grupo y realicen la siguiente experiencia. Necesitan: un tubo de ensayo, un tapón para cerrar el tubo, una cartulina negra, una tijera, una lombriz de tierra (seguramente encontrarás alguna enterrada en una maceta grande o un cantero), agua, algodón y una linterna.
1. Corten un rectángulo de cartulina, formen un tubo cuyo largo no supere la mitad de la longitud del tubo de ensayo y colóquenlo dentro del tubo hasta el fondo.
  2. Tomen cuidadosamente la lombriz y ubiquenla dentro del tubo de ensayo, cerca del extremo abierto. Es importante que mantengan el tubo en posición horizontal para que la lombriz no se caiga hasta el fondo.
  3. Cierren el tubo de ensayo con el tapón, coloquen el tubo horizontalmente sobre una mesa e ilumínenlo lateralmente con la linterna.



- a) Observen el comportamiento de la lombriz e indiquen qué tipo de respuesta manifiesta y cómo se explica utilizando el modelo estímulo - procesamiento - respuesta.
- b) ¿Qué conclusión pueden sacar de la experiencia?
- c) ¿Cómo suponen que se comportaría la misma lombriz ante el estímulo de la humedad? Discutan cómo armar el dispositivo en este caso y luego démmelo para poner a prueba sus ideas.

SECCIÓN 1

## capítulo 1

## Estímulos y respuestas en las plantas

Punto de partida

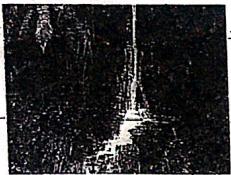
Cuando Celeste visita a su abuela, le encanta ayudarla en el cuidado del jardín regando, juntando hojas secas, quitando yuyos... Observando las plantas se pasan las horas de la tarde. El otro día compraron plantas nuevas en el vivero. Entre ellas había una que Celeste nunca antes había visto. Cuando quiso tocar suavemente sus hojas, vio que se plegaban rápidamente, como las hojas de un libro que se cierra. Aunque sabía que las plantas están vivas, nunca se había puesto a pensar que pudieran moverse o responder de alguna manera tan evidente a un hecho externo. Su abuela le dijo que esa planta se llama *mimosa*, y eso sí que le hizo mucha gracia.

a) ¿Pensás que el movimiento es una característica distintiva de las plantas?

b) ¿Le resultará fácil a Celeste conseguir otra planta para su abuela que presente características similares de movimiento que la *mimosa*?

c) El *girasol* es una planta que durante el día gira buscando siempre que sus hojas y flores miren hacia el Sol. ¿En qué creés que se parecen y en qué difieren el *girasol* y la *mimosa*?

d) ¿Tendrá alguna ventaja adaptativa para las plantas esta capacidad de responder al contacto?



Las plantas son capaces de responder a los estímulos del ambiente y adaptarse a condiciones muy diversas.

## La captación de los estímulos

¿Cómo influye el entorno sobre los seres vivos? Como ya vimos, todos pueden detectar diferentes estímulos del ambiente y responder en consecuencia, aunque en algunos de ellos esta propiedad no resulte demasiado notoria. En los animales resulta bastante fácil observar este hecho, dado que se mueven en forma evidente. Las plantas también captan estímulos y responden a ellos, aunque sus respuestas no puedan percibirse con tanta facilidad. La mimosa y otras especies desarrollan movimientos que por su velocidad podemos observar. Muchos de esos movimientos son posibles por cambios en el contenido de agua de algunas células estratégicamente ubicadas en los distintos órganos, como veremos más adelante.

Otra forma en que las plantas responden a los estímulos es la variación en el crecimiento. Estas respuestas, relacionadas con un aumento en el número de las células de los distintos órganos, son más lentas y menos perceptibles. Sin embargo, podríamos decir que, para las plantas, el crecimiento es uno de sus modos de moverse.

Los cambios en los patrones de crecimiento pueden afectar a todo el individuo, determinando el tamaño completo, o bien circunscribirse solo a algunos órganos, con lo cual lo que cambia es la forma de la planta. Por otra parte, los fenómenos relacionados con la reproducción, que afectan no solo al individuo sino a la especie, también se modifican en respuesta a los estímulos.

Esta capacidad de las plantas les permite crecer y desarrollarse en forma apropiada, adaptándose a las variadas y cambiantes condiciones que se presentan en el ambiente en el que viven. Cuando una planta joven comienza a desarrollarse, se orienta en el espacio, su raíz crece hacia la tierra y su tallo, hacia la luz. En muchas zonas del planeta, los cambios estacionales afectan en forma importante a las plantas, por lo que disponer de herramientas para reconocer y responder a la cercanía de un período seco o frío o de bonanza climática es sumamente ventajoso.

### Variedad de estímulos y receptores

Las plantas pueden responder a una variedad de estímulos ambientales: la luz, la temperatura, la gravedad, el agua, sustancias químicas disueltas en el aire, el agua o la tierra, o el contacto con objetos u otros organismos.

Los estímulos no son otra cosa que distintas formas de energía que desencadenan reacciones en el organismo. Por otro lado, la energía requerida para llevar adelante la respuesta es aportada por el organismo mediante su metabolismo y no por el estímulo en sí mismo. Las plantas, como los restantes seres vivos, requieren receptores que puedan captarlos. Cada tipo de receptor está especialmente preparado para recibir una forma de energía. Veamos algunos ejemplos:

- **fitorreceptores**, para poder detectar el estímulo de la energía lumínica (luz);
- **termorreceptores**, para percibir la energía térmica (temperatura);
- **quinorreceptores**, para detectar la energía que se libera en las reacciones químicas con sustancias provenientes del agua, los nutrientes o sustancias tóxicas producidas por el mismo individuo, por otros de su misma especie o por individuos de distintas especies;
- **mecanorreceptores**, para detectar la energía mecánica que produce el contacto con otros individuos u objetos.

Como estudiaremos luego, un tipo de receptor puede estar incluido en estructuras diferentes y las respuestas que induce un determinado estímulo suelen variar mucho según la especie de que se trate y aún dentro de la misma especie.



Efecto del viento. El viento es una forma de energía mecánica que afecta el crecimiento de las plantas.

### Variedad de respuestas

Ante un mismo estímulo, las plantas pueden responder de diversas maneras. En una misma planta, por ejemplo, se puede modificar el patrón de crecimiento de un órgano, de modo de acercarse a un estímulo (respuesta positiva) mientras al mismo tiempo otro órgano crece en dirección contraria a la del estímulo (respuesta negativa) como ocurre ante los estímulos lumínicos.

Del mismo modo, como vimos, distintas especies pueden desarrollar respuestas diferentes a un mismo estímulo. Veamos algunos ejemplos...

- La luz del Sol hace que se abran las flores de la portulaca, mientras que la reina de la noche solo se abrirá por la noche, cuando esta desaparece.
- El frío hace florecer algunas plantas, mientras que en otras las temperaturas bajas impiden la floración. Por ejemplo, el ciclamen o violeta de los Alpes florece cuando las temperaturas son bajas, mientras que la gerbera florece cuando las temperaturas aumentan, en primavera y verano.
- Como veremos más adelante, la duración del día y de la noche afecta la floración de distinta forma para diferentes plantas. Algunas, como el clavel, muestran sus flores en primavera o verano, y otras, entre ellas el abrojo y el crisanthemio, lo hacen cuando la longitud del día es corta, en épocas otoñales o invernales. De este modo, las semillas estarán formadas y listas para germinar en épocas distintas del año.

En ocasiones, lo que en apariencia es un estímulo único contiene una variedad de estímulos diferentes. La energía lumínica es una forma de energía electromagnética que se manifiesta como ondas de distinta frecuencia que abarcan un espectro amplio, el espectro electromagnético. La luz que los seres humanos percibimos representa solo una porción de este amplio espectro. Para las plantas, diferentes longitudes de onda de la luz pueden representar distintos estímulos y serán captados por diferentes fotorreceptores.

Cuando las plantas reciben estímulos, en su interior entran en acción mecanismos a nivel celular y molecular cuya acción se traduce en una respuesta que puede afectar órganos cercanos al sitio donde se recibió el estímulo o a otros más distantes. Los mecanismos mediadores pueden involucrar, por ejemplo, cambios en el transporte a través de la membrana de algunas células o la producción de sustancias con capacidad reguladora del crecimiento. A estas sustancias reguladoras se las llama **hormonas vegetales** o **fitohormonas** (las estudiaremos con detalle en el capítulo 8).

Las respuestas más frecuentes de las plantas son:

- **Tropismos**: son movimientos de curvatura de una parte de la planta respondiendo a la dirección de un estímulo, ya sea a favor o en contra.
- **Nastias**: son movimientos de partes de la planta que se realizan de un modo predefinido, siempre igual, sin importar la dirección desde la que se recibe el estímulo.

### Recordá

1. Construye un cuadro que permita clasificar distintos tipos de estímulos a partir del tipo de energía involucrado y el tipo de receptor que capta el estímulo.

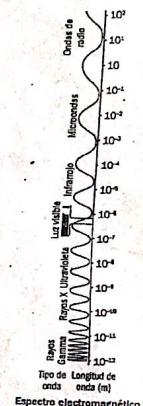
### Relacioná

2. Responde las siguientes preguntas:
  - a) ¿Por qué el crecimiento de las plantas puede ser considerado similar al movimiento de los animales?
  - b) ¿Por qué un mismo estímulo puede ocasionar distintas respuestas en una misma planta?

3. Comparando dos especies, una planta que crece en una región de clima muy seco y otra que se desarrolla en las orillas de las acequias o de pequeños cursos de agua, ¿de cuál esperarías respuestas más notorias al estímulo de la humedad?



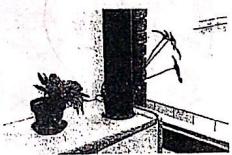
Cultivo de flores en invernadero. Allí se reproducen las condiciones óptimas para la floración de cada planta en el momento apropiado.



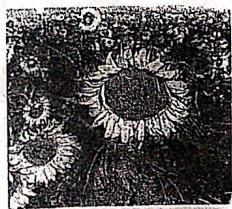
## Conoci

### Distintos giros

Heliotropismo y fototropismo son palabras que poseen en común el término "tropismo", que proviene del vocablo griego *tropé* y significa "girar" o "volverse". El prefijo de cada palabra indica el tipo de estímulo al que reacciona la planta mediante el tropismo. Del mismo vocablo *tropé* han derivado otras palabras como troposfera o trópico.



La incidencia de una fuente de luz lateral provoca la curvatura de los tallos en la dirección del estímulo.



Las hojas y flores del girasol se mueven para recibir a pleno la luz del Sol durante todo el día.

## Los estímulos lumínicos

Las respuestas de las plantas al estímulo de la luz son unas de las que más fácilmente podemos evidenciar y, por lo tanto, su estudio resulta bastante sencillo. Como ya vimos, estas respuestas varían de una planta a otra y pueden ser tropismos o nictinastias. A continuación, veremos algunas: fototropismo, heliotropismo y nictinastia.

### El fototropismo

Seguramente habrás observado alguna vez que en las plantas que crecen en ambientes poco iluminados, sus tallos y hojas tienden a curvarse hacia el lugar donde proviene un estímulo lumínico. Esta respuesta se llama fototropismo positivo. El fototropismo negativo (crecimiento en contra de la luz) es poco común; se presenta, por ejemplo, en las raíces de algunas pocas plantas. Charles y Francis Darwin estudiaron el fototropismo positivo y publicaron sus observaciones en 1880. Tapando diferentes partes del tallo de plantulas de gramíneas, determinaron que cuando se impide la llegada del estímulo al extremo en crecimiento de la plantula, el ápice, no se produce la curvatura del tallo hacia la luz. Esto significaba, entonces, que en esta zona de la planta se captaba el estímulo aunque la respuesta se produjera en otra parte del tallo ubicada más abajo. El fototropismo tiene un valor muy importante para la supervivencia de las plantas.

Más adelante nuevos experimentos permitieron definir que, dentro del espectro electromagnético, las longitudes de onda correspondientes a la luz azul son las que estimulan a las plantas para producir los fototropismos.

### El heliotropismo

Un tipo especial de fototropismo es el heliotropismo. En este caso, las hojas y/o las flores rastrean la dirección en que les llegan los rayos del Sol y se van moviendo en el mismo sentido, con lo que reciben siempre el máximo de luminosidad. Cuando el movimiento de las hojas y de las flores se produce de modo que los rayos solares caigan sobre ellas en forma perpendicular, se llama diaheliotropismo, una respuesta que optimiza la captación de la luz solar. Si observamos una planta de girasol durante un día, veremos que la disposición de hojas y flores sigue al Sol en todo su recorrido en el cielo. Al atardecer, las hojas están dispuestas casi verticalmente, apuntando hacia el lugar en el horizonte donde se oculta el Sol. En las dos horas siguientes las hojas se disponen perpendicularmente a sus tallos, en posición de "descanso", y una o dos horas antes del amanecer vuelven a moverse para ubicarse mirando hacia el punto del horizonte donde asoman las primeras luces.

En otras plantas, el movimiento que se observa permite ubicar las hojas en forma paralela a los rayos solares y se llama paraheliotropismo.

### La nictinastia

El trébol tiene sus hojas abiertas durante el día y las cierra en la noche. Igual que otras plantas, como la margarita común. Las flores del rayito de Sol se abren cuando el Sol las ilumina plenamente y se cierran cuando la iluminación disminuye. En ambos casos se trata de un tipo de respuesta especial a la estimulación lumínica, la nictinastia. Estas especies detectan la transición de la oscuridad a la luz o de la luz a la oscuridad, independientemente de la dirección desde donde provenga el estímulo. El movimiento se debe a cambios en el tamaño de células motoras ubicadas en la base de las hojas ocasionados por la entrada de agua a través de sus membranas. Algunas de estas células provocan la apertura de las hojas y otras el cierre, ambas por el mismo mecanismo y dependiendo de su disposición.

### La fotoperiodicidad

Las plantas son capaces de adaptarse a los cambios estacionales: la época de sequía, la primera helada y las lluvias en la primavera, por ejemplo, son fenómenos que pueden ser anticipados por muchas plantas mediante la detección de la longitud relativa del día y de la noche. Este fenómeno se conoce como fotoperiodicidad.

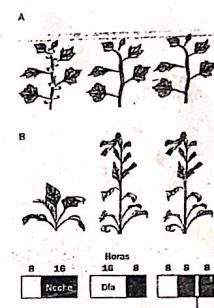
Una de las respuestas más evidentes al fotoperíodo (proporción entre horas de luz y de oscuridad en 24 horas) es la floración. La longitud relativa del día y de la noche determina cuándo florecerán muchas especies. Las plantas de día largo florecen cuando la duración de la noche es inferior a un punto crítico, como la papa, la lechuga y el trébol, que florecen durante el verano. Otras especies, como la frutilla, el crisantemo y la estrella federal, florecen solo cuando los períodos de oscuridad son mayores que cierto tiempo crítico (en otoño o comienzos de la primavera), y se llaman plantas de día corto.

Con el abrojo, una planta de día corto, se realizaron algunas experiencias para comprender cómo actúa el fotoperíodo como estímulo. El abrojo florece cuando el día dura 8 horas y la noche abarca 16. Si el período de oscuridad de 16 horas es interrumpido, aunque sea por un minuto, la planta no florece. Sin embargo, si el que es interrumpido es el período de luz, la floración no se altera. Una planta de día largo, como el clavel, florece con un fotoperíodo de 16 horas de luz y 8 de oscuridad. Sin embargo, si experimentalmente se interrumpe la noche, florece aunque el período de oscuridad sea mayor.

Según los investigadores, el fitocromo, un pigmento que se halla en pequeñas cantidades en los tejidos vegetales, es el responsable de la detección de la duración del ciclo luz-oscuridad. Este pigmento tiene una forma inactiva y otra activa. Durante el día, la luz roja convierte la forma inactiva del fitocromo en su forma activa, la cual ocasiona los efectos biológicos, por ejemplo, promover la floración en las plantas de día largo, o bien inhibir la floración en las especies de día corto. En la oscuridad la forma activa revierte a la forma inactiva. En las experiencias de las que hablamos antes entonces, los pulsos de luz que interrumpen experimentalmente la noche hacen que el fitocromo se convierta en activo, cumpliendo su acción biológica.

El fitocromo también promueve en algunas plantas la germinación de las semillas y modifica el desarrollo de las plantulas jóvenes. Las semillas de lechuga, por ejemplo, germinan si se encuentran cercanas a la superficie, en suelos muy suelos, donde reciben algo de luz y se produce la activación del fitocromo.

Cuando queremos comprobar un suceso de la naturaleza, podemos diseñar un experimento. Si nos basamos en lo que ya sabemos y aplicamos las variables adecuadas, podemos lograr resultados interesantes y ampliar nuestros conocimientos.



Respuesta al fotoperíodo. A. Plantas de día corto. B. Plantas de día largo.

Pensar en ciencia

### Recordá

4. Indica con tus palabras la diferencia entre estos pares de conceptos:

- a) diaheliotropismo - paraheliotropismo;
- b) plantas de día largo - plantas de día corto.

5. Hacé un esquema que explique la interconversión entre la forma activa e inactiva del fitocromo por efecto de la exposición a la luz.

### Relacioná

6. Justificá la siguiente afirmación: La luz como estímulo puede inducir en la misma planta distintos tipos de respuesta.

7. Ubicá en el espectro electromagnético la fracción de luz que induce en las plantas la respuesta fototrópica.

### Zarcillos de la vid

Si pronunciamos la palabra **sarmiento**, inmediatamente surge en nuestra mente la imagen de don Domingo Faustino. Sin embargo, si buscamos la palabra en el diccionario, veremos que nos dice que **sarmiento** es el **vástago** de la vid, largo, delgado, flexible y de crecimiento helicoidal. Es decir, se llama **sarmiento** a los zarcillos de la vid. De modo que, salvo por el detalle de la **lidle** en mayúscula o en minúscula, para nosotros, **sarmiento** es una palabra **arbigua**.



Los zarcillos permiten la sujeción de las plantas a superficies u objetos.

La respuesta de circunnotación ayuda a algunas plantas, como esta de poroto, a trepar.



El tigmotropismo negativo permite que las raíces se alejen de piedras u otros objetos que impiden su crecimiento.

## Los estímulos mecánicos

Muchas especies de plantas son estimuladas por el contacto con una superficie. En estos casos se puede producir una respuesta lenta y durable, llamada **tigmotropismo**, o bien una respuesta rápida y pasajera, la **tigmonastia**.

### El tigmotropismo

La respuesta tigmotrópica puede ser positiva o negativa. El **tigmotropismo positivo** se observa en plantas trepadoras o epífitas, y se dirige hacia donde se encuentra el estímulo. Cuando una planta trepadora germina, crece sujetándose a objetos como troncos o tallos de otras plantas, paredes, varillas, etc. El contacto con el objeto es el estímulo para la respuesta, que se manifiesta con una variación en el patrón de crecimiento, de dos maneras posibles:

- a) Mediante zarcillos, que son tallos modificados que, al entrar en contacto con cualquier objeto, responden enrollándose sobre este. Cuando el extremo situado se observa en plantas trepadoras o epífitas, las células que establecen el contacto se contraen ligeramente, mientras que las del lado contrario se alargan, por lo cual el zarcillo se tuerce paulatinamente, creciendo en forma de una espiral. La pasionaria y la vid, entre otras plantas, presentan este tipo de respuesta de enrollamiento. Los zarcillos de la vid reciben el nombre de **sarmientos**.
- b) Mediante movimientos de **circunnotación**, el tallo completo se enrolla en forma helicoidal sobre el objeto. De este modo muchas plantas, como la campañilla, el ojo de poeta y el poroto, se sostienen y trepan sobre otras plantas. La planta parásita de cuscute, que tiene un color blanquecino o amarillento y carece de hojas y de clorofila, depende para vivir de esta respuesta táctil. Al germinar la semilla, la pequeña plántula de cuscute comienza a crecer. Cuando entra en contacto con otra planta, la cuscute se adhiere fuertemente y crece circunnotando. Posteriormente desarrolla raíces que ingresan en los tejidos de la planta hospedadora, para proveerse de nutrientes. Una vez establecido este contacto parásitario, el tallo sigue creciendo y circunnotando otras plantas hasta cubrir superficies muy extensas de hasta un kilómetro de distancia a partir del sitio donde germinó la semilla.

El **tigmotropismo negativo** se observa en las raíces. Si el extremo de una raíz durante su crecimiento se topa con un objeto que lo obstaculiza, responde alejándose del estímulo. En este caso, incluso ignora el estímulo de la gravedad y puede crecer en contra de ella. Pensemos en la importancia de este tigmotropismo negativo para los árboles o plantas que crecen en las veredas de las ciudades. Este tipo de respuesta dirige las raíces para permitir que esquiven los clímentes de las casas, los caños subterráneos y los postes del alumbrado público.

### La tigmonastia

En algunas plantas puede observarse el fenómeno de tigmonastia. Se trata de una respuesta rápida ante el estímulo del tacto, en el que se aprecia de forma muy evidente que las plantas se mueven.

En la tigmonastia, la dirección del movimiento no guarda relación con la dirección del estímulo mecánico aplicado. La respuesta usualmente no implica modificación del crecimiento sino cambios en la turgencia de algunas células particulares, que reciben el nombre de células motoras, estratégicamente ubicadas en la planta. Por ejemplo, si tocamos suavemente las hojas de la especie *Mimosa pudica* vemos que unos segundos después se pliegan. Este fenómeno se produce por acción de las células motoras ubicadas en la base de las hojas de la planta. Ante la presencia del estímulo mecánico representado por el toque, en la membrana de estas células se abren canales iónicos que a su vez modifican la permeabilidad de la membrana al agua permitiendo que salga de la célula. Esta deshidratación hace que las células de movimiento se "arruguen" o colapsen, con lo que se modifica la posición de las hojas. La ventaja adaptativa de la tigmonastia para *Mimosa* podría ser la protección contra el ataque de insectos o contra la desecación. Cuando esta respuesta rápida ocurre ante una vibración o sacudida, se la suele llamar también **sismonastia**. En plantas adultas no se observa, generalmente, una relación entre el estímulo y la intensidad de la reacción producida. Si la estimulación alcanza para llegar al umbral mínimo requerido, aún el roce de una gota de lluvia puede provocar la respuesta completa de la planta.

Otra respuesta de movimiento rápido se observa en las plantas carnívoras. La *Dionaea muscipula*, comúnmente conocida como *venus atrapamoscas*, por ejemplo, tiene hojas de borde dentado con dos lóbulos articulados como si fueran las hojas de este libro. Cada uno de los lóbulos tiene tres pelitos sensitivos. Cuando un insecto, al posarse en las hojas, estimula por lo menos dos veces consecutivas los pelos sensitivos, las dos mitades de la hoja se acercan entre sí y se cierran como una trampa. Este movimiento es muy rápido, transcurre en apenas medio segundo, de modo que el insecto no tiene tiempo de escapar y queda atrapado en la hoja. Luego, de glándulas especiales en la superficie de la hoja se secretan sustancias digestivas para degradar al insecto atrapado. En este caso, las células motoras que se encuentran en la parte externa de la bisagra aumentan de tamaño en forma muy rápida cerrando la trampa. Mientras tanto, las células internas de la bisagra siguen creciendo como lo hacen habitualmente y este crecimiento hace que unas diez horas después la trampa vuelva a abrirse, dejándola lista para la próxima presa desprevenida.

El movimiento de la *Drosera* (*Drosera stenopetala*), otra planta carnívora, es más sutil. Sus hojas están cubiertas por pequeños tentáculos en cuyo extremo hay una gota pegajosa. Cuando un insecto queda adherido a esta, los tentáculos cercanos se curvan fuertemente, empujando a la presa hacia el centro de la hoja, donde hay secreciones digestivas que la degradan.

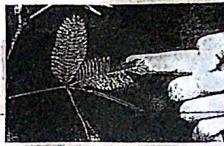
### Recordá

8. Respondé:
  - a) ¿Qué tipos de respuestas a estímulos mecánicos conocés?
  - b) ¿En qué se diferencian y en qué son similares?

### Relacioná

9. Compara los mecanismos que permiten los tigmonastas y los tigmotropismos.

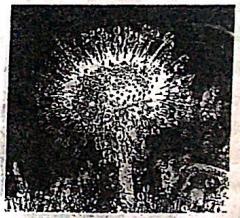
10. En forma individual, proponé una explicación para la observación de que en ambientes selváticos o de montes cerrados son muy numerosas las especies que presentan tigmotropismo. Luego reúnete con tus compañeros y realicen un debate acerca de las distintas explicaciones propuestas.



Mimosa.

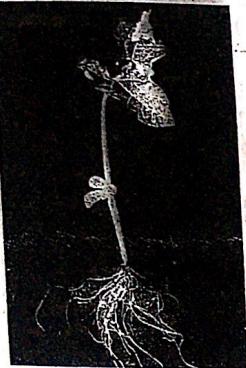


Venus atrapamoscas.



Drosera.

## La gravedad como estímulo



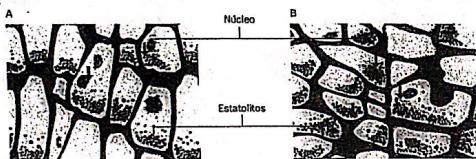
El tallo presenta gravitropismo negativo, mientras que la raíz crece siempre en dirección a la gravedad (gravitropismo positivo).

Otra respuesta de alto valor para la supervivencia de las plantas es la capacidad para responder a la gravedad. Ante este estímulo, la planta que comienza a crecer se enderezar: la raíz crece en dirección al estímulo y el tallo se aleja de este. Entonces, la raíz presenta geotropismo o gravitropismo positivo, y el tallo, geotropismo o gravitropismo negativo. Ante este proceso, surge una pregunta central: ¿de qué modo detecta una planta en qué posición está? Según se sabe hasta el momento, la respuesta a la gravedad se debe a la presencia de estatolitos, unas organelas especializadas que contienen almidón. Los estatolitos se reúnen cerca de la zona inferior de las células. Si la raíz se coloca en posición horizontal, los estatolitos se deslizan y se disponen sobre la pared de las células que se encuentran más abajo. A los pocos minutos, la raíz comienza a curvarse hacia abajo, y los estatolitos vuelven lentamente a su posición original.

En los tallos, los estatolitos se ubican principalmente en el extremo en crecimiento, de modo que si un tallo se dispone horizontalmente, la superficie superior dejará de crecer, mientras que la superficie inferior continuará creciendo, incluso a mayor velocidad. El resultado es la torsión del tallo en dirección opuesta a la gravedad.

A fines del siglo xix y principios del xx se realizaron distintos experimentos con el clinómetro, un dispositivo en donde una planta giraba lentamente sobre su eje longitudinal, ideado para eliminar el estímulo gravitatorio. La respuesta más rápida y evidente de una planta moviéndose en un clinómetro era la flexión hacia abajo de las hojas. Una explicación a este fenómeno fue que la flexión responde a una tensión mecánica sobre la hoja, producto del movimiento del clinómetro. Sin embargo, recientemente se observó que las plantas que crecen en un transbordador espacial, en situación de ingravidez, también presentan como respuesta la flexión de las hojas. Por lo tanto, la flexión es un fenómeno relacionado con la falta de gravedad y no con estímulos de naturaleza mecánica.

Al variar la posición de la raíz, los estatolitos cambian su ubicación atrayendo por la gravedad, como se señala para el gravitropismo positivo. A. Raíz vertical. B. Raíz horizontal.



### Recordá

11. Realizá en tu carpeta los siguientes esquemas:

- Una planta en crecimiento indicando las partes que poseen respuesta gravitropica positiva y negativa.
- Una célula de la raíz que contenga estatolitos. Indicando brevemente su función en la respuesta gravitropica.

### Relacioná

12. Respondé las siguientes preguntas:

- ¿Cuál sería la ventaja adaptativa de la respuesta gravitropica positiva de la raíz?
- ¿Qué sucedería con la planta si el tallo no presen-

tara gravitropismo negativo? ¿Podría tener alguna ventaja adaptativa?

### Resolvé

- Imaginá que sos un científico que está estudiando la respuesta de las plantas a los estímulos gravitropicos.
- Diseñá un experimento para probar qué porción del extremo de la raíz de una planta recibe el estímulo gravitropico.
- Compara tu diseño con el de tus compañeros. Discutan las ventajas y desventajas de los distintos diseños, y elijan el que les parezca más útil para lograr el objetivo propuesto.

## Descubriendo la fotoperiodicidad

Si bien los primeros estudios sobre el fotoperíodo datan del siglo xix, su dilucidación requirió de varios años. El primer científico que sugirió que la duración del día podía influir en la distribución de las plantas fue el botánico inglés Arthur Henfrey, aunque al mundo científico de 1852 en el que vivía no le resultó sencilla de aceptar la idea de que las plantas pudieran medir el tiempo. Parece que hasta los mismos científicos se resistían a dar crédito a las ideas que surgían de sus propios datos. Recién en la década de 1910 el científico francés Julien Tournois se dedicó a estudiar la importancia de la cantidad de horas de luz en la floración del lúpulo. En 1914 enunció que "En las plantas jóvenes de lúpulo se presenta una floración precoz cuando, desde la germinación, se exponen a períodos muy breves de iluminación diaria, y "El florecimiento precoz no se debe tanto al acortamiento de los días sino al alargamiento de las noches". Tournois planeaba seguir sus estudios, pero murió combatiendo en la Primera Guerra Mundial.

¿Por qué pensás que a los científicos de aquella época les resultaba tan remota la relación entre la floración y la duración del día?

Por la misma época el botánico Georg Klebs, en Alemania, trabajaba con plantas de siempreviva. Observó que al recibir varios días de luz constante, florecían y lo relacionó con la nutrición. Para demostrarlo, comparó resultados obtenidos aplicando intensidades bajas durante períodos largos e intensidades altas durante períodos menores, esperando resultados similares. No fue así, lo cual sugirió que el factor tiempo era importante.

En 1920, Wightman Garner y Harry Allard trabajaban en laboratorios del Departamento de Agricultura en Estados Unidos con plantas de tabaco. Observaron que, en el campo, las plantas crecían hasta una altura de 3 a 5 metros durante los meses de verano pero no florecían, mientras que en el invernadero, durante los meses de invierno

alcanzaban la altura de 1 metro pero florecían sin inconvenientes.

○ ¿Te parece importante la elección de las especies de plantas para estudiar el fotoperíodo? ¿Qué puede cambiar si se eligen unas en lugar de otras?

○ Garner y Allard se dedicaban a la ciencia básica o a la ciencia aplicada? Justificá tu respuesta.

Experimentaron con varios factores ambientales que podían diferir entre los campos en verano y los invernaderos en invierno, sin poder concluir que fuera alguno de esos el que afectara la floración. Garner y Allard sabían que la duración del día variaba a lo largo de la temporada, pero les parecía remotísima la posibilidad de que ese factor fuera el que controlaba la floración...

○ ¿Qué te parece que puede ocurrir cuando un científico está convencido de que un resultado no es posible antes de iniciar su investigación?

Cuando finalmente obtuvieron resultados en ese sentido, fueron los primeros en sorprenderse, probablemente porque no conocían los estudios de sus antecesores europeos, y porque en el pensamiento científico de la época aún no cristalizaba la idea de que las plantas podían responder a la duración del período de luz y oscuridad.

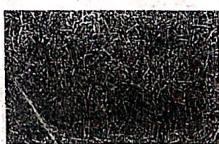
○ ¿Qué relación encontrás entre la Primera Guerra Mundial y la construcción del conocimiento acerca del fotoperíodo?

○ En las últimas décadas, las comunicaciones han sufrido un desarrollo muy vertiginoso. La telefonía celular, la comunicación virtual e Internet son ejemplos de esa evolución. ¿Pensás que los avances tecnológicos en la comunicación tienen relación con el desarrollo del conocimiento científico?

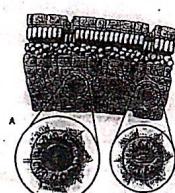
## El agua y otras sustancias como estímulos



El estímulo de la presencia de agua es predominante para determinar la dirección de crecimiento de las raíces.



La *Poa pratensis* o pasto azul es capaz de prosperar aun en condiciones de clima seco mediante la hidronastia.



El cloro de los estomas impide la pérdida de agua en condiciones de clima seco. A. Estoma abierto. B. Estoma cerrado.

### El hidrotropismo

Como una forma de asegurarse el líquido vital, las raíces de algunas plantas responden a gradientes o variaciones de humedad. Si se las expone a ambientes con distintos porcentajes de humedad relativa, cambian la dirección del crecimiento del extremo de la raíz, en el sentido de las zonas más húmedas (hidrotropismo positivo). Experimentalmente, se vio que al quitar la calíptra, la cubierta del extremo en crecimiento de la raíz, la respuesta hidrotrópica se pierde, sin que se vea afectada la velocidad de crecimiento de la raíz. Esta capacidad de la calíptra para la respuesta hidrotrópica tiene prioridad por sobre su capacidad de respuesta a otros estímulos. Es decir que, cuando además del gradiente de humedad hay otros estímulos afectando a la raíz, como el de la gravedad o estímulos mecánicos, la respuesta que se observa en primer lugar es el hidrotropismo. Esto refleja la importancia que la disponibilidad de agua tiene para la supervivencia de las plantas.

### La hidronastia

La hidronastia es la respuesta de las plantas frente a la escasez de agua. Si el ambiente es muy seco, las hojas se pliegan o enrollan y los estomas se cierran. Ambas respuestas representan la adaptación de las plantas a la sequía, porque de este modo reducen la superficie expuesta al aire seco y la pérdida de agua.

El mecanismo por el cual sucede el plegamiento y enrollamiento de las hojas es la pérdida de turgencia en las células motoras, que en este caso se llaman células bulliformes. Estas células especiales poseen una cubierta muy delgada, por lo cual pierden agua con más rapidez que el resto de las células epidérmicas (células más superficiales). Si las células bulliformes se ubican en la porción media de una hoja, al perder turgencia se "arrugan", permitiendo su pliegue o ciere. Este fenómeno se ve en el pasto azul (*Poa pratensis*), una planta que puede crecer aun en regiones muy secas. Es muy utilizada como alimento para el ganado en regiones geográficas donde las lluvias son escasas, aunque también podemos encontrarla en el césped de nuestros estadios de fútbol, por su gran resistencia.

En cuanto a los estomas, estos se cerrarán ante la falta de agua en el ambiente para evitar la transpiración. En plantas de clima muy seco, muchas veces los estomas son muy pequeños o inexistentes.

Una vez más vemos la importancia que tiene para los organismos la cualidad de poder responder a los estímulos ambientales en forma adecuada como ventaja adaptativa.

### Respondiendo a otros estímulos químicos

Si bien no es muy sencillo ni fácil de observar, las plantas también poseen quimiorrecepción. Entre los distintos compuestos químicos que sintetizan, suelen haber algunos que participan en interacciones entre una planta y otra, de la misma o de distinta especie, y también entre una planta y especies animales. Estos compuestos se denominan aleoquímicos y las interacciones que producen, generalmente los de efecto negativo, se llaman alelopáticas. Pueden ser interespecíficas o intraspecíficas, cuando ocurren entre individuos de la misma especie o de diferentes especies, respectivamente.

En cualquiera de los dos casos, si la interacción es planta-plantas, la planta receptora deberá poseer quimiorreceptores. El tabaco, por ejemplo, tiene la capacidad de detectar aleoquímicos que están presentes en el suelo o que se desplazan a través del aire.

Algunas plantas inhiben el crecimiento de otras plantas de la misma especie por este mecanismo, con lo cual evitan el crecimiento excesivo en relación con los recursos nutritivos disponibles en el ambiente. Otras, como el eucalipto, producen aleoquímicos que inhiben el crecimiento de muchas plantas de otras especies.

En algunas especies vegetales, el ataque de un animal herbívoro es un estímulo para la producción de sustancias tóxicas que detienen la acción del predador. Al mismo tiempo, pueden producir sustancias volátiles que son recibidas por plantas vecinas de la misma especie que aun no han sido atacadas. Como respuesta a los estímulos químicos recibidos, estas plantas ubicadas en las cercanías producen sustancias tóxicas que les permiten prevenirse, protegiéndose en forma anticipada del ataque del predador. Otros ejemplos de interacciones interespecíficas en donde intervienen estímulos químicos son los relacionados con el establecimiento de las relaciones parásito-hospedador. Si volvemos al ejemplo de la cuscuta, podemos observar que existe un quimiotropismo positivo que orienta el crecimiento de la cuscuta hacia la planta hospedadora. Del mismo modo, las raíces del malvón emiten una señal química que es percibida por plantas que la parasitan.

El conocimiento del quimiotropismo y, en general, de la quimiorrecepción es utilizado ampliamente en la agricultura. Por un lado, este tipo de interacciones hace que ciertas especies no puedan cultivarse juntas. Por otro, en ocasiones las interacciones pueden tener resultados positivos, como ocurre con las plantas de mostaza, que presentan alelopacia con ciertas malezas y suelen co-cultivarse con plantas de interés agrícola.



Algunas plantas emiten señales químicas para protegerse del ataque de los depredadores.



Cuando la lechuga se cultiva junto con espinaca, se obtienen plantas de mejor calidad.

### Recordá

14. Indicá si estas afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F):
- La raíz presenta gravitropismo positivo.
  - Los aleoquímicos inducen siempre respuestas negativas.
  - El tallo presenta hidrotropismo negativo.
  - La raíz presenta hidrotropismo negativo.
  - La calíptra de la raíz es responsable de la recepción de la humedad como estímulo.

### Relaciona

15. Justificá las siguientes afirmaciones:
- La raíz es un órgano receptor para distintos tipos de estímulos.
  - El hidrotropismo puede considerarse un caso especial de quimiotropismo.

### Resolvé

16. Un agricultor tiene dificultades para hacer crecer sus hortalizas en un terreno porque está invadido de maleza y aún eliminándolas de raíz vuelven a crecer rápidamente. Conociendo las propiedades de las plantas de mostaza respecto de las malezas, ¿qué consejo le podrías dar para evitar el crecimiento de plantas invasoras en su cultivo? ¿Cómo se lo fundamentarías?

### Investigá

17. Buscá información sobre distintos aleoquímicos. Verificá en los distintos ejemplos cómo funciona la quimiorrecepción en esas plantas.

## Actividades finales

### Recordá

21. Detectá los errores del siguiente texto y reescribí el párrafo de modo correcto.

En la tigmonastia, la dirección del movimiento está en relación al estímulo mecánico aplicado. La respuesta usualmente no implica modificación del crecimiento sino cambios en la turgencia de las células motoras. En cambio, en el tigmotropismo la respuesta no se orienta hacia el estímulo y su mecanismo implica una variación en el patrón de crecimiento.

22. Explicá con tus palabras la relación entre:

- a) Quimiotropismo y alelopatía.
- b) Movimiento y células motoras.
- c) Respuesta a estímulos y fitohormonas.

23. Diferencí las siguientes parejas de conceptos:

- a) Gravitropismo positivo - gravitropismo negativo.
- b) Tigmotropia - nictinastia.
- c) Hidrotropismo - gravitropismo.
- d) Hidrotropismo - hidronastia.

### Relacioná

24. ¿Un mismo estímulo desencadena siempre la misma respuesta? Usá varios ejemplos para justificar convenientemente tu respuesta.

25. La tía de Luis vive en Ushuaia. En su jardín florecen durante el verano unas hermosas plantas de lupinos de diferentes colores. Este año ella llevó semillas de sus lupinos a la mamá de Luis a Buenos Aires. Ella las plantó en el jardín, pero ninguna plantita emergió de la tierra. ¿Tenés alguna explicación para esta situación?

### Resolvé

26. Una planta se expuso a distintos fotoperíodos en forma artificial y se observó su respuesta de floración. Los resultados se reden en la siguiente tabla:

12 horas de luz / 12 horas de oscuridad	Floró
6 horas de luz / 18 horas de oscuridad	Floró
18 horas de luz / 6 horas de oscuridad	No floró

- a) Definí si se trata de una planta de día corto o de una planta de día largo.
- b) En condiciones naturales, ¿en qué época del año florecerá?

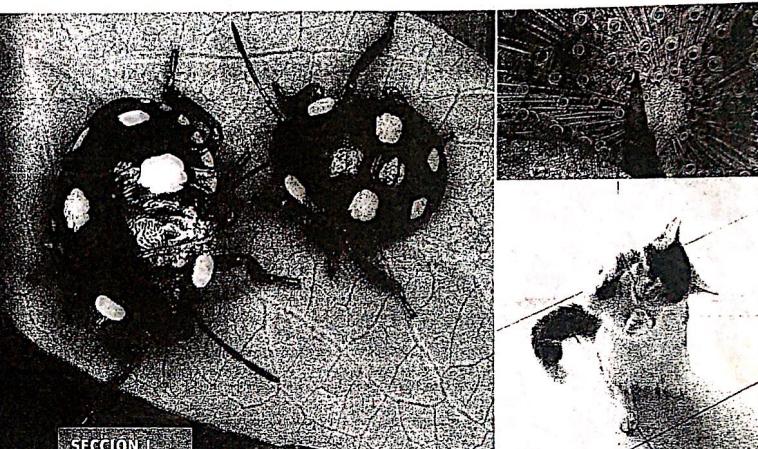
### 27. Experimentá

27. Reunite en grupo y preparan un experimento para comprobar el gravitropismo en raíces y tallos. Necesitarán un recipiente transparente preferentemente cuadrado o rectangular, algodón, papel seco, cuatro portos y agua.

1. Preparen el medio adecuado para la germinación del porto colocándolos entre una de las paredes del recipiente y el papel seco. Pongan un trozo de algodón en el fondo y humedézcanlo regularmente con agua.
2. Dejen en un lugar aireado y luminoso, y observenlos todos los días.
3. Cuando hayan asomado las raíces y los tallos, esperen que alcancen una longitud de algunos milímetros.
4. Giren el recipiente de modo que raíces y tallo queden paralelos a la superficie.
5. Repitan esta operación dos o tres veces, dejando cada vez que raíces y tallos crezcan varios milímetros.
6. Anoten cada vez lo que observan respecto del crecimiento de las diversas partes de la planta.
- a) Antes de realizar el experimento, escriban las hipótesis que quieren demostrar.
- b) Luego de realizado el experimento, discutan los resultados y compárenlos con sus hipótesis. Justifiquenlos con sus conocimientos previos.
- c) Piensen una manera de completar este experimento, de modo de comparar el gravitropismo, el tigmotropismo y el hidrotropismo, y ver cuál prevalece.

**SECCIÓN**

**capítulo**



## Estímulos y respuestas en los animales

### Punto de partida

En la casa de Martín, como en muchas otras, hay un gatito como mascota. Se llama Lázaro y su juego favorito es lanzarse sobre los cordones de las zapatillas. También asalta cualquier objeto que ruede, y para disgusto de la mamá de Martín, araña con sus patas las cortinas que se mueven cuando hay viento.

Los movimientos que realiza hacen recordar a los que se ven en los documentales sobre los grandes felinos que cazan a sus presas para sobrevivir en la pradera africana, aunque Lázaro no mide más de 30 centímetros de largo y come alimento balanceado de una tacita con su nombre.

- a) Pensá que el comportamiento de Lázaro está presente en todos los gatos o es poco común?
- b) Desde la escuela primaria hemos aprendido que existen cinco sentidos. ¿Cuáles utiliza Lázaro al jugar con los cordones de las zapatillas?
- c) Cuando una pantera detecta el olor de una presa a muchos kilómetros de distancia, la sigue cautelosamente para atacarla. ¿Todas las especies podrán percibir los olores con la misma sensibilidad?
- d) Es importante para los animales conocer lo que sucede a su alrededor? ¿Por qué?

Escaneado con CamScanner

## Percepción y respuesta en los animales

Como todos los seres vivos, los animales deben conocer las condiciones del ambiente en el que viven para poder responder a ellas en la forma más apropiada. Esto es fundamental para su supervivencia como individuos y como especie.

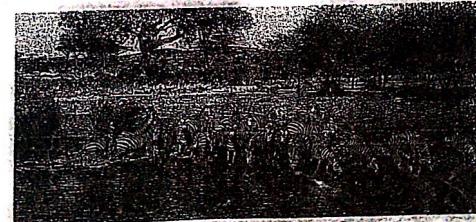
Casi todas las acciones que realiza un animal dependen de la recepción y la interpretación de la información que procede del ambiente: encontrar una fuente de alimento, la búsqueda de una pareja o escapar del ataque de un predador son solo algunos ejemplos. Las conductas que desarrollan serán las apropiadas si los datos que obtienen del ambiente son fieles y precisos.

En este capítulo consideraremos de qué forma los animales perciben información detallada del medio en el que viven y cómo la utilizan para generar respuestas que favorezcan su supervivencia.

Algunos animales obtienen información del medio a través de receptores simples conformados solamente por células receptoras, mientras que la mayor parte posee órganos sensoriales especializados, en los que estas células están asociadas a otras sin función receptora pero que son esenciales para que las células receptoras puedan cumplir con su función.

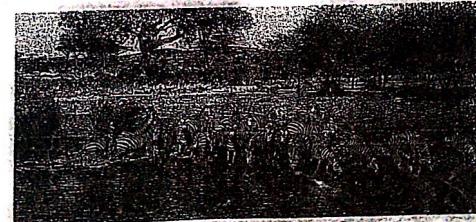
La percepción sensorial, entonces, se inicia en los órganos sensoriales, que se encuentran distribuidos en distintos lugares de la superficie o del interior del cuerpo. Los que nos resultan más familiares son la vista, el oído, el tacto, el gusto y el olfato, aunque entre los animales existen otras posibilidades de percepción. La lista de los estímulos a los que los animales son capaces de responder es muy extensa. Consideremos, por ejemplo, las distintas fracciones de luz en el espectro electromagnético, la energía térmica que se percibe como calor o frío, la energía mecánica en sus variantes de presión o vibración, la fuerza gravitatoria, o estímulos de naturaleza química diversa, incluyendo la humedad. Algunos animales pueden percibir estímulos que los seres humanos no perciben: la serpiente de cascabel, por ejemplo, se alimenta de pequeños mamíferos a los que detecta por el calor que emiten como radiaciones infrarrojas. Algunos peces emiten señales eléctricas muy débiles para comunicarse con otros individuos de su misma especie en aguas turbias. Algunos animales perciben el campo magnético de la Tierra y lo utilizan para su orientación.

Los estímulos que provienen del exterior son captados por exteroceptores. Pero para el mantenimiento de la homeostasis también se requiere conocer qué ocurre en el interior del organismo, como por ejemplo la condición química o hídrica de los líquidos corporales. Estos estímulos son detectados por intercectores. Por otro lado, la posición de los músculos y las articulaciones representan estímulos que son captados por los propioceptores, que transmiten información sobre la posición del cuerpo y su orientación en el espacio.



La serpiente de cascabel posee fosas faciales que contienen receptores muy sensibles a la temperatura que utiliza para cazar pequeños mamíferos.

La disminución de la cantidad de agua o el aumento de la concentración de sales en el organismo son estímulos captados por intercectores que desencadenan la sensación de sed. La respuesta es la ingesta de agua.



Si bien observamos que la lista de estímulos es larga, la secuencia general de fenómenos entre el estímulo y la respuesta es similar para todos, según el modelo de estímulo - procesamiento - respuesta que estudiamos en el capítulo 1. La recepción es realizada por una estructura receptora y esta sensación se transmite hasta centros de integración donde se elabora la percepción o experiencia sensorial, que es propia de cada organismo ya que se enriquece con experiencias previas.

Una vez que los estímulos son integrados y procesados, se elaboran las respuestas, que son enviadas para su ejecución en acciones. Al conjunto de acciones que un animal realiza en respuesta a los estímulos ambientales se lo denomina comportamiento.

Las respuestas pueden ser rápidas o lentas, y se relacionan fundamentalmente con el movimiento hacia un estímulo o en contra de él. La percepción de la dirección de la cual proviene el estímulo es trascendente, al igual que la captación de la distancia a la que se encuentra la fuente del estímulo. La visión es el sentido que probablemente permite distinguir mejor la dirección del estímulo porque los rayos luminosos viajan en línea recta, aunque también a través de otros sentidos los animales pueden percibir la dirección o la distancia hasta un estímulo.

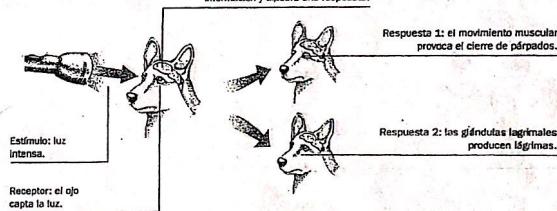
Los sistemas de captación de estímulos se han desarrollado ampliamente en el curso de la evolución, hasta lograr una recepción de los acontecimientos del mundo exterior con altísima definición. Tener una buena idea de lo que sucede alrededor de un organismo tiene una evidente ventaja evolutiva, tanto para la propia subsistencia como para la perpetuación de la especie.

### Conocié

#### Sentir y percibir

En el diccionario, las definiciones de percepción y sensación se tornan confusas, ya que una se basa en la otra. Mientras que define sensación -en una de sus acepciones- como la impresión que las cosas producen en la mente por medio de los sentidos, para percepción nos dice que es la sensación interior que resulta de una impresión material, realizada a través de los sentidos. Ante posibles confusiones, la biología se ha encargado de diferenciar con más agudeza ambos conceptos: sensación es la recepción de los estímulos mediante los sentidos, mientras que la percepción implica la elaboración y el procesamiento por parte del sistema nervioso de aquello que reciben los sentidos.

Procesamiento: el cerebro interpreta la información y elabora una respuesta.



El modelo estímulo - procesamiento - respuesta (capítulo 1) explica cómo los animales responden a los estímulos del ambiente.

#### Recordá

1. Construye un cuadro que permite clasificar distintos tipos de estímulos a partir de su sitio de procedencia y el tipo de receptor que capta a cada uno.
2. Hacé una lista con distintos tipos de estímulos que pueden ser percibidos por los animales.
3. Diferencial los siguientes pares de conceptos:
  - a) Recepción sensorial - percepción.
  - b) Receptores simples - órganos sensoriales.

#### Relacioná

4. ¿En qué se parecen y en qué se diferencian las respuestas de los animales y de las plantas ante los estímulos?
5. Observá la fotografía. ¿Qué receptores creés que están actuando para que el mono logre realizar esta acción?



## Estímulos lumínicos

Como ya estudiamos en las plantas, los estímulos lumínicos tienen gran importancia para los seres vivos.

Como en las plantas, los fotoreceptores son los encargados de recibir los estímulos lumínicos. En general se trata de pigmentos visuales o fotopigmentos, moléculas capaces de reaccionar químicamente al recibir la luz. Estos fotopigmentos suelen estar incluidos en estructuras de complejidad, forma, tamaño y diseño muy diverso a las que en forma general se denominan ojos. A medida que se asciende en la escala evolutiva, las estructuras se van haciendo más complejas.

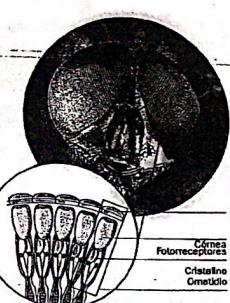
En los organismos unicelulares la recepción del estímulo lumínico se realiza en una mancha de pigmento ubicada en el interior de la célula. Algunos invertebrados cuentan con manchas oculares, fotoreceptores que están dispersos sobre toda la piel o concentrados en un punto, como en las medusas, en cuyo caso se llaman ocelos. Solo informan sobre variaciones en la intensidad de la luz.

En otros animales, los receptores tapizan el fondo de una cavidad abierta y poco profunda. Protópteros, gusanos planos y flagelados poseen este tipo de estructuras, llamadas ojos en copa, con las que pueden detectar una fuente de luz y también la dirección desde la que llega el estímulo.

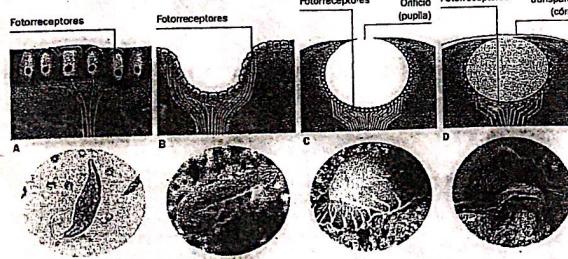
Cuando esta estructura continúa plegándose hasta dejar solamente un orificio para que pase la luz, se obtiene el ojo en cámara oscura que permite distinguir formas simples.

En muchos organismos, las estructuras de recepción de la luz han evolucionado para enfocar los rayos de la luz, refractándolos a través de lentes. En un principio la lente era simplemente un líquido viscoso y, a lo largo de la evolución, se fueron agregando mejoras en la textura y curvatura de las lentes. El ojo simple, presente en los artrópodos, con una lente entre la apertura de la cámara y las células receptoras, permite detectar formas y procesar algunas imágenes. El ojo en cámara de cefalópodos y vertebrados presenta la mayor complejidad y posibilita procesar de forma compleja las imágenes.

Muchos insectos cuentan con dos o tres ojos simples como los descriptos y además dos ojos compuestos, formados por muchas unidades ópticas denominadas omatoidios. Cada una de estas unidades es un ojo simple con su lente y células fotoreceptores, que se ubican con distintas orientaciones. La imagen "final" se forma como un mosaico por la suma de las imágenes que recibe cada omatoidio. Este tipo de ojo es especialmente eficiente para la detección del movimiento.



Las moscas tienen ojos compuestos que les permiten distinguir claramente los movimientos.



Evolución de la estructura del ojo.  
 A. Mancha ocular (en euglena).  
 B. Ojo en copa (en planaria).  
 C. Ojo en cámara oscura (en Nautilus).  
 D. Ojo simple (en caracoles de tierra).

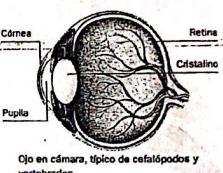
En el ojo en cámara, propio de los cefalópodos y los vertebrados, la luz se enfoca en dos etapas. Los rayos se desvían primero al atravesar la córnea, que es la superficie externa transparente del ojo. Posteriormente atraviesan una lente, el cristalino, donde se refractan e inciden sobre la superficie interna del globo ocular, la retina, donde se encuentran los fotoreceptores. Allí se forma una imagen invertida. Algunas especies acuáticas tienen ojos con tres lentes en serie, con lo que logran obtener imágenes más fidedignas, sin las distorsiones que produce en el medio acuático una lente esférica.

Para que la imagen sea nítida, muchos animales pueden modificar la distancia entre el cristalino y la retina. Algunos peces, por ejemplo, mueven el cristalino con respecto a la retina, mientras que algunas arañas saltadoras son capaces de enfocar moviendo la retina. En la mayoría de los vertebrados ni el cristalino ni la retina son móviles, de modo que la imagen se enfoca cambiando la curvatura y el grosor del cristalino, tensionando o relajando las fibras musculares que lo sostienen en el interior del ojo. La cantidad de luz que ingresa en el ojo también se regula a través de la abertura variable de la pupila, que mediante el reflejo pupilar responde rápidamente a los cambios en la intensidad de luz ambiental.

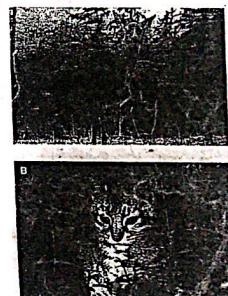
La posición de los ojos es importante en la formación de la imagen en los vertebrados. Por ejemplo, en los peces y los caballos, los ojos están ubicados lateralmente; cada ojo recibe imágenes diferentes y el animal percibe un panorama muy amplio de su entorno (visión monocular). En los seres humanos, los primates y los felinos, en cambio, los ojos se encuentran en posición frontal. Las imágenes que reciben se superponen formando una sola en la retina y se obtiene una imagen en tres dimensiones que permite calcular mejor la distancia y la ubicación de unos objetos respecto de otros (visión binocular).

En la retina de la mayoría de los vertebrados hay dos tipos de fotoreceptores, los bastones y los conos, que poseen distintas capacidades para recibir el estímulo lumínico y enviar esta información a los centros superiores donde es elaborada. Los conos de los mamíferos son los responsables de la visión cromática, mientras que los bastones son muy activos en la detección de la luz tenue pero acomática.

La capacidad de distinguir los colores está relacionada con la presencia de diferentes pigmentos visuales, cada uno de los cuales absorbe en forma óptima la luz de una determinada longitud de onda. Los pigmentos visuales de los vertebrados absorben solo la porción del espectro de longitud de onda entre 400 y 740 nm, la que llamamos la luz visible del espectro, mientras que muchos insectos pueden captar la luz del rango del ultravioleta, inferior a 400 nm. En el ser humano y muchos primates hay tres tipos de conos que contienen diferentes fotopigmentos, por lo que cada uno es sensible a un color diferente: azul, rojo y verde. En el cerebro se combinan estas sensaciones para interpretar todos los colores que percibimos. Las aves, en cambio, poseen cuatro tipos de conos y son capaces de percibir la luz ultravioleta.



Ojo en cámara, típico de cefalópodos y vertebrados.



La disposición de los ojos determina el tipo de visión. A. Monocular en cíervos. B. Binocular en felinos.

### Relacioná

6. Realizá un cuadro para comparar las características distintivas de los ojos de los animales a lo largo de la evolución.

### 7. Contestá:

- ¿Qué es un pigmento visual o fotopigmento?
- ¿Qué componentes tiene un omatíodo?
- ¿Cuáles son las dos estructuras que atraviesa la luz en un ojo en cámara antes de formar la imagen?

### Investigá

8. Distintas especies de animales pueden detectar la luz ultravioleta del espectro electromagnético. Averigua cuáles son algunas de ellas.

### 9. Experimentá

9. Diseñá una experiencia en donde pruebes que en la visión en penumbras no se distinguen los colores, sino que la imagen se forma en tonos grises.

## Estímulos mecánicos

Al igual que las plantas, los animales son capaces de detectar vibraciones que se transmiten por diferentes medios y el contacto de objetos externos sobre la superficie de su cuerpo. Estos estímulos mecánicos son captados por los mecanorreceptores.

Los mecanorreceptores más simples son células excitables que se distribuyen entre otras células de la piel. La mayoría presenta espinas, pelos o cilios que, al ser movidos o deformados por vibraciones o choques, producen la recepción del estímulo. En ocasiones se complementan con cápsulas o células adyacentes que "filtran" la energía mecánica del estímulo.

En los vertebrados, las células cilíadas son las encargadas de detectar vibraciones y las sensaciones por contacto. Están incluidas en diversas estructuras y brindan información sobre textura, presión y otras sensaciones que genera la interacción de un animal con los objetos de su entorno.

Los peces y anfibios poseen un sistema muy sensible, denominado **línea lateral**, que detecta el movimiento del agua y las vibraciones que se producen a su alrededor a través de células cilíadas. Esto les permite orientarse y localizar a sus presas. Los receptores, llamados **neuromastos**, se ubican a lo largo de una línea en el costado y en la cabeza del pez.

### Los estímulos sonoros

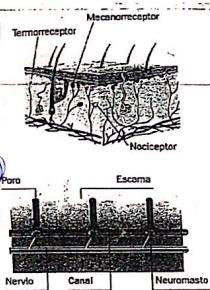
El sonido es una vibración que se propaga a través del aire o del agua como una onda de presión. Es acompañada por un movimiento del medio en la dirección de la propagación, como cuando una piedra cae en un charco de agua. Se llama frecuencia a la cantidad de veces que vibra la onda sonora por unidad de tiempo. Cuanto mayor es la frecuencia, más agudos resultan los sonidos.

Algunos animales han desarrollado sistemas de detección del sonido con los que pueden localizar y ubicar a sus predadores o sus presas y comunicarse entre sí. Los mecanorreceptores encargados de registrar estas vibraciones se encuentran en algunos insectos y en los vertebrados.

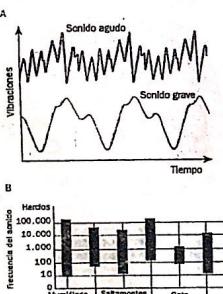
Los insectos presentan sensillas auditivas, prolongaciones huecas que captan las vibraciones y que pueden ubicarse sobre la superficie corporal o bien en el interior de cavidades del exoesqueleto, separadas del exterior a través de una fina membrana, el **tímpano**. En este último caso, la cavidad funiona como caja de resonancia aumentando la sensibilidad al estímulo. En los grillos, los órganos de recepción del sonido están localizados en las primeras patas torácicas y asociados a las tráqueas, que son los conductos respiratorios. El aire pasa a través de los conductos traqueales hasta el **tímpano**, donde se detectan diferencias de presión. Comparando la diferencia en el tiempo de llegada del estímulo a diferentes receptores, pueden localizar la dirección de la que proviene el sonido. No son capaces de detectar diferencias de frecuencia de los sonidos.

Los vertebrados, en cambio, pueden discriminar frecuencias dentro de determinados rangos. El ser humano detecta ondas sonoras cuyas frecuencias van de los 40 a los 20.000 ciclos por segundo. Los perros perciben frecuencias mucho más elevadas, de hasta 30.000 o 40.000 ciclos por segundo, mientras que los murciélagos pueden percibir hasta 100.000.

El hombre puede efectuar análisis muy complejos a partir de la información sonora recibida. Un oído humano normal puede distinguir, por ejemplo, todos los instrumentos que se ejecutan simultáneamente en una orquesta.



Mecanorreceptores. A. En la piel humana se encuentran diversos receptores, entre los que tienen especial importancia los mecanorreceptores que reciben el estímulo que representa la presión. B. Receptores de la línea lateral de los peces.



La detección del sonido depende de su frecuencia. A. A mayor número de vibraciones por unidad de tiempo, el sonido será más agudo. B. Rango de frecuencias que detectan diferentes animales.

Este sistema auditivo tan eficiente de los vertebrados se ubica en una estructura compleja: el oído. **Consta de las siguientes partes:** una superficie en forma de embudo que recoge las ondas sonoras y concentra la presión en una membrana vibratoria, la membrana timpánica o **tímpano**.

Detrás del **tímpano** se encuentra la cámara timpánica, que se conecta con la faringe a través de las trompas de Eustaquio o trompa faringotimpánica. Tres pequeños huesos, el **martillo**, el **yunque** y el **estribo**, transmiten las vibraciones del **tímpano** a la **cóclea**, una cámara ósea en forma de espiral llena de líquido, la **endolinfa**. En la cóclea se encuentra el **órgano de Corti**, formado por las células cilíadas, los mecanorreceptores, que detectan las vibraciones, y con ellas, la frecuencia y la intensidad del sonido. Este sistema en serie permite la amplificación de las señales auditivas unas veintidós veces.

En los peces el sistema es similar pero carecen de oído externo y medio, ya que el agua facilita la transmisión del sonido. En algunas especies la vejiga natatoria se conecta al oído para amplificar los sonidos.

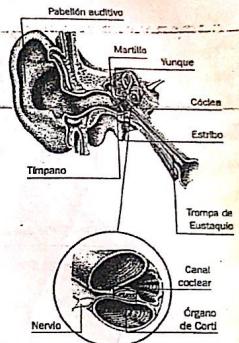
La mayoría de los anfibios posee la membrana timpánica en la pared exterior del cuerpo, un solo huesecillo transmite el sonido al oído interno y la estructura de la cóclea es más simple.

En la mayoría de reptiles y aves existe un solo huesecillo en el oído medio y la cóclea es recta. Las serpientes no tienen oído externo ni medio, por lo que no pueden percibir sonidos que se transmiten por el aire pero sí las vibraciones que les llegan desde el suelo y que reciben a través de sus mandíbulas.

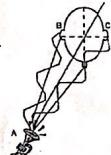
La determinación de la dirección del sonido depende de la posición relativa de las estructuras encargadas de la captación del sonido, dos oídos separados en el espacio que reciben el estímulo con diferencias de tiempo. En el hombre, la capacidad de localizar el sonido es menos precisa que en los felinos o las lechuzas. Estas aves pueden localizar sus presas con muchísima precisión en la oscuridad total utilizando únicamente el oído.

Algunos animales pueden obtener información del eco del sonido que producen ellos mismos para evitar el choque con objetos de su entorno y para detectar a sus presas. Este sistema se conoce como **ecolocalización**, y está presente, por ejemplo, en murciélagos, ballenas, delfines y murciélagos. Cuando un murciélagos vuela, emite un sonido inaudible para el hombre cada 10 o 15 milisegundos a una velocidad de 5 sonidos por segundo.

Dos especies de pájaros, el guácharo y el vencejo, que viven en cavernas profundas, utilizan este sistema emitiendo sonidos audibles para el oído humano.



Estructura del oído en el ser humano con detalle de la cóclea.



Tener dos oídos permite a los animales localizar la procedencia de un sonido por diferencias en el tiempo de llegada a cada oído (distancia A-B es menor a B-C).

### Recordá

10. Justificá la siguiente afirmación verdadera: **Distintos animales tienen diferente sensibilidad al sonido.**

11. Indicá si las siguientes oraciones son verdaderas (V) o falsas (F). Reescribí las que sean total o parcialmente falsas.

- En los grillos, los órganos de recepción del sonido están asociados a los conductos respiratorios.
- En el oído de los mamíferos, el martillo, el yunque y el estribo son una serie de huesos conectados entre sí que termina en el órgano de Corti.
- El sonido que producen los animales que utilizan sistemas de ecolocalización es inaudible para el ser humano.

### Relacioná

12. A partir de la definición de sonido, ¿cómo clasificarías a los receptores auditivos según el tipo de energía que son capaces de captar?

13. La trompa de Eustaquio conduce aire desde la faringe hasta la cámara timpánica. Durante un resfriado fuerte puede obstruirse y producir una diferencia de presión a ambos lados del **tímpano**. Al predominar la presión atmosférica sobre la presión en la cámara timpánica, el **tímpano** se deforma y se producen zumbidos y alteración de la audición. Durante un viaje en avión también se suelen presentar alteraciones en el oído. ¿Por qué?

## Estímulos químicos

Although light and sound are easy to identify, there are other less detectable but equally important stimuli. The perception of chemical substances is crucial for the evolutionary success of some organisms. Chemical receptors provide information about favorable or unfavorable conditions for life, for food search or partner detection, to detect the presence of a predator and to flee from it. In this way, communication systems that involve chemical reception are evolutionarily very ancient, and have been conserved and refined in many groups of organisms.

Many microorganisms obtain this information about oxygen concentration in the medium. Earthworms, for example, detect the acid soil through their chemoreceptors distributed over the entire body surface. Insects, on the other hand, have chemoreceptors in their antennae, which are located on the surface of the body and have pores that allow the entry of chemical substances. These substances are gases, liquids or solids (generally dispersed in the air or water) that come into contact with the nerve terminals to produce the appropriate response. In many of them, the perception occurs in the antennae, while in others it occurs in the body.

Vertebrates have a more differentiated response between the systems of chemical reception by contact (gustatory) and by distance (olfactory), and can be more sensitive depending on the animal species.

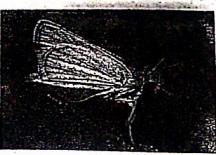
### El olfato

The olfactory system is located in chemoreceptors that receive stimuli localized in fountains more or less distant, which travel to the brain through the nose.

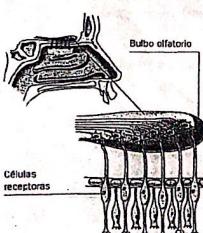
In vertebrates, the receptors for the olfactory system are located in the nasal cavity, where they are bathed by odorant particles that are carried by air or water. These particles reach the nasal cavity through the mucous layer that covers the olfactory receptors, which then release the stimulus. Different receptors respond to different substances, and the response depends on the proportion of different types of receptors that an animal has. The ability to distinguish a large variety of odors depends on the capacity of the integration system to combine all the information transmitted by the olfactory receptors.

In some vertebrates, there is an auxiliary structure of the olfactory system: the Jacobson's organ or vomeronasal, located between the nose and the mouth. Snakes, for example, attract odorant particles with their tongue and bring them to the opening of the organ in the palate to facilitate their perception. In this way, they detect easily their prey. Other animals, such as cats, move their tongue to ensure the arrival of the stimulus to the Jacobson's organ. In most animals, this structure is used to detect pheromones, important chemical mediators of communication between animals.

© Santillana S.A. Prohibida su reproducción. Ley 11/23  
© Santillana S.A. Prohibida su reproducción. Ley 11/23



En las antenas de las mariposas hay un gran número de sensillas con las que pueden detectar por ejemplo sustancias producidas por miembros de sexo contrario para facilitar el encuentro y el apareamiento (feromonas).



Las células que detectan moléculas odorantes se encuentran en la cavidad nasal y transmiten información a los bulbos olfatorios y de allí al cerebro.

### Las feromonas

#### Las feromonas

Las sustancias químicas que se utilizan para la comunicación social en individuos de la misma o de distintas especies se denominan feromonas. Son capaces de generar comportamientos muy definidos en otro individuo. Tienen utilidad en el reconocimiento entre los individuos de un mismo nido, para indicar dónde se localiza una fuente de alimento, o como sustancias de alarma ante la presencia de un peligro. Tienen gran importancia en insectos sociales como hormigas y abejas.

En algunas especies de mamíferos, la orina que contiene feromonas influye en el comportamiento reproductivo de la hembra, lo que posibilita la aceptación del macho en la copulación. Otros mamíferos utilizan sustancias químicas presentes en la orina o en glándulas secretoras especializadas para marcar su territorio o para ahuyentar a sus enemigos.

#### El gusto

En los insectos, el gusto se percibe a través de las sensillas. La mosca, por ejemplo, las posee en los extremos de las patas o en la probóscide y son muy sensibles a algunos sabores, como el dulce.

En los vertebrados, los receptores del gusto se localizan en botones gustativos, ubicados en elevaciones de la superficie de ciertas partes del cuerpo que se denominan papillas gustativas. Para los animales terrestres, las papillas se ubican principalmente sobre la lengua, aunque no en forma exclusiva; también se encuentran en el fondo de la boca, en la faringe y en la parte superior del esófago. Tienen una forma oval y contienen alrededor de 50 células sensibles a las sustancias químicas, las que se renuevan aproximadamente cada 10 días. Cada célula receptora gustativa posee una proyección larga, el cilio gustativo, que emerge del botón por un poro.

Los olores de los alimentos también pasan desde la boca hacia la cavidad nasal para estimular los receptores del olfato, razón por la cual cuando estamos resfriados o nos tapamos la nariz al probar una comida, no percibimos adecuadamente el sabor.

Algunos vertebrados poseen receptores gustativos en la superficie del cuerpo. La trucha, un pez que vive en el fondo marino, tiene aletas pectorales modificadas que poseen receptores gustativos en la punta de los radios, los cuales utiliza para buscar su alimento en el lecho fangoso.

#### Recordá

14. Compara los distintos sistemas de quimiorrecepción según sus características fundamentales.

#### Relacioná

15. Responde en tu carpeta:

- ¿Qué relación existe entre la aleteoquimia de las plantas y el uso de feromonas por parte de los animales?
- ¿Por qué crees que no podemos atraer a un gato ofreciéndole un dulce y en cambio sí podemos premiar a un caballo con una manzana bien dulce o un trozo de zanahoria?

16. ¿Por qué crees que perros y gatos caseros acostumbran olfatear oír objetos de su entorno, en especial cuando salen a la calle? ¿Esto se relaciona de alguna manera con el comportamiento de los animales salvajes?

#### Experimentá

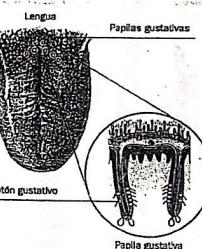
17. Cuando por alguna causa se pierde el sentido del olfato, también se producen variaciones en el sentido del gusto. En muchos casos, la mayor parte de la información acerca del sabor de una comida proviene del olfato; por ejemplo, el sabor que percibimos al comer chocolate está dado por la percepción de su olor.

- ¿Cómo podrías comprobar que esto que afirmamos es cierto?
- ¿Qué sabor se percibe más rápidamente, el de una sustancia líquida o una sólida? ¿Por qué?
- Si sacas la lengua y cuidadosamente colocas sobre ella un trocito de chocolate, ¿percibes inmediatamente su sabor? ¿Por qué?

## Conoce

### Estímulos a distancia

Buscando la etimología de la palabra feromonas encontramos que es la conjunción de dos vocablos de origen griego: *pherin*, que significa transportar, y *horman*, que se traduce como excitar. De modo que su significado podría ser "la que transporta una excitación". Del mismo origen se puede considerar el término *hormona*, que nombró a los mensajeros químicos que producen las glándulas endocrinas en general.



En la mayoría de los vertebrados los receptores del gusto se localizan en las papillas gustativas de la lengua.

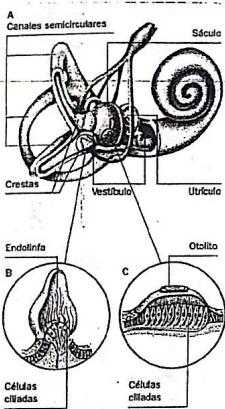
## Otros tipos de estímulos

Aunque los estímulos y respuestas que vimos hasta ahora son vitales para la adaptación de los animales a su ambiente, existen otros que en muchos de ellos adquieren gran importancia.

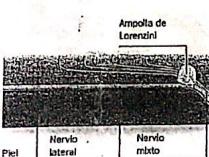
### La gravedad

Los animales necesitan, al igual que vimos en las plantas, registrar el estímulo de la fuerza de gravedad. Esto les permitirá conocer y mantener una posición adecuada respecto del entorno y, con ello, el equilibrio. Por otro lado, podrán obtener información sobre el estado del cuerpo en cuanto a reposo o movimiento. Los **gravíreceptores**, un tipo de mecanorreceptores, pueden estar incluidos en dos tipos de órganos:

- El **estatocisto**, que se encuentra en invertebrados. Es una cavidad tapizada por células mecanorreceptoras cilíadas en cuyo interior hay un **estatolito**. Este es un gránulo de material denso que puede ser obtenido del ambiente, como un grano de arena, o secretado por las células que recubren el estatocisto, como una creación de calcio. Cuando la posición del animal cambia, el estatocisto cambia de ubicación estimulando las cilas de las células receptoras permitiéndole conocer su posición.
- El **aparato vestibular**, órgano del equilibrio en los vertebrados. Está ubicado en el oído interno y consta de dos partes: el **vestíbulo** y los **canales semicirculares**. El vestíbulo está formado por dos regiones: el **utrículo** y el **sáculo**. En sus paredes se encuentran células cilíadas cubiertas por una capa de mucus sobre las que se hallan cristales de carbonato de calcio, los **otolitos**. Los cilios de los receptores se mueven e interactúan con los otolitos transmitiendo información acerca de la posición del cuerpo. Los canales semicirculares, por su parte, son tres y están dispuestos en planos perpendiculares entre sí. Contienen líquido y células cilíadas que dan información sobre la dirección del movimiento.



Estructuras responsables de la gravíreacción en el oído interno del ser humano. A. Oído interno. B. Crestas. C. Sáculo.



La ampolla de Lorenzini recibe estímulos eléctricos a través de una red de canales llenos con un material gelatinoso que se encuentran en general en la cabeza del pez.

### La electricidad

Algunos animales, en su mayoría peces, son capaces de detectar estímulos eléctricos mediante células relacionadas en general con la línea lateral. Esta detección puede ser:

- **Pasiva**: mediante receptores llamados **ampollas de Lorenzini**, los animales detectan los campos eléctricos generados por las contracciones musculares de otros animales, con lo cual pueden localizar a sus presas. Esto ocurre en tiburones, rayas, bagres, renacuajos e incluso en un mamífero, el otorrinofaringe.
- **Activa**: algunos peces pueden generar campos eléctricos. La raya torpeda y la anguila eléctrica los usan comoarma pero otros, como el gilmo, emiten descargas débiles que al chocar con otros animales u objetos provocan cambios en la ropa que son percibidos por el pez como una imagen eléctrica de lo que se encuentra a su alrededor.

### La temperatura

La evaluación de la temperatura permite a los seres vivos realizar la termorregulación por mecanismos de homeostasis o cambios de conducta. En los vertebrados, los termorreceptores se encuentran distribuidos en la piel (mirá el esquema en la página 52) y en zonas específicas como la lengua. En los mamíferos existen receptores para calor y otros para frío que actúan entre los 10 °C y los 48 °C. Fuera de ese rango se activan los nociceptores, receptores del dolor.

Algunas serpientes poseen detectores de radiación infrarroja, las fosas faciales o fosetas loreales, que permiten detectar el calor emitido por sus presas.

## La visión en colores

Allá por 1666, un científico saltó a la fama mundial –e histórica– por elucubrar hipótesis a la sombra de un manzano. Era el físico inglés Isaac Newton, que también se dedicaba a pensar en la luz. Demostró, usando un prisma, que la luz blanca está compuesta por un espectro de siete colores, donde cada componente es monocromático, o sea que no puede separarse en más colores. Consideró entonces que esos colores serían los que se perciben como colores primarios para formar en nuestra mente imágenes a todo color. Sin embargo, los pintores podían demostrar una realidad distinta: en sus paletas podían lograr todos los colores mezclando tres pigmentos puros o primarios: rojo, azul y amarillo.

○ **¿Qué crees que ocurre cuando un científico elabora una teoría que se contrapone con un dato de la realidad?**

Unos años más tarde, esta paradoja comenzó a develarse cuando, en 1802, el científico Thomas Young –también inglés– enunció una teoría según la cual la percepción del color es el resultado de la acción conjunta de tres receptores, cada uno de ellos sensible a luz de una longitud de onda determinada (rojo, azul y verde), que se encuentran en la retina humana. Esta teoría fue corroborada y ampliada por el científico alemán Hermann von Helmholtz en 1856. Él realizó experiencias que demostraban que la mayoría de las sensaciones de colores se podían conseguir superponiendo tres fuentes de luz de los colores primarios. A partir de estos estudios se postuló la llamada teoría tricromática o de Young-Helmholtz.

○ **¿Qué característica crees que necesitaron estos científicos, como muchos otros, para desarrollar sus teorías?**

○ **¿Qué relación existe entre la teoría y la experimentación en la investigación científica de un fenómeno natural?**

El fisiólogo alemán Ewald Hering no estaba totalmente satisfecho con la teoría tricromática y en 1882 postuló una teoría diferente, la de los pares oponentes o procesos opuestos. Observando que era imposible registrar ciertas combinaciones de color, sugirió que el sistema visual funciona a partir de un proceso de oposición de colores: cuatro colores primarios estarían dispuestos en pares opuestos: rojo-verde y azul-amarillo (luego se consideró también blanco-negro). Solo se puede registrar uno de los colores de cada par a la vez y estas percepciones se combinan para producir en nuestra mente cada uno de los múltiples colores que tienen los objetos a nuestro alrededor. Esto explicaría por qué no se puede percibir un color rojo verdoso o azul amarillento. □

○ **¿Qué papel pensás que juega la duda en el trabajo de los científicos?**

Hoy en día, se acepta que la visión del color en los seres humanos se explica mejor con una combinación de ambas teorías. La teoría tricromática se aplica a la recepción del color a nivel de los fotorreceptores de la retina, y recién se vio fundamentalizada fisiológicamente en 1965, cuando se hallaron tres clases de conos, cada uno de los cuales absorbe luz de una única y particular longitud de onda (azul, verde y roja). La teoría de los pares oponentes es más útil para comprender el procesamiento de la sensación del color en el cerebro.

Estas teorías sustentan hoy el desarrollo tecnológico relacionado con la reproducción del color como la televisión, la fotografía o la impresión gráfica.

○ **¿La teoría de los pares oponentes habría surgido si se hubiera descubierto la existencia de los conos en el siglo xx en vez de durante el siglo xix?**

○ **Investigá qué otros desarrollos tecnológicos se fundamentan en estas teorías acerca de la visión del color.**

## El comportamiento

Podríamos definir el comportamiento como todo aquello que hacen los seres vivos en respuesta a los estímulos. Como hemos estudiado hasta ahora, el modo en que responde cada ser vivo a los estímulos de su ambiente es fundamental para su supervivencia como individuo y como especie.

A comienzos del siglo XX se comenzó a investigar el comportamiento animal y humano desde un punto de vista relacionado con la evolución y la genética. Algunos científicos sostienen que el comportamiento solo dependía de factores ambientales, de lo que los individuos aprendían luego de su nacimiento. Sin embargo, estudios posteriores demostraron que parte del comportamiento de los animales depende de la información contenida en sus genes.

### El comportamiento innato

El médico y zoólogo austriaco Konrad Lorenz y el zoólogo holandés Niko Tinbergen, ganadores del premio Nobel en 1973, estudiaron muchas especies animales en su ambiente natural e introdujeron nuevos conceptos en el campo de la Etología, rama de la Biología que estudia el comportamiento. Observaron, por ejemplo, que cuando una gansía veía un huevo fuera de su nido, se concentraba observando el huevo, extendía su cuello y lo hacía rodar hasta meterlo en el nido. Este comportamiento se desarrollaba de una manera muy mecánica. Si se retiraba el huevo mientras la gansía comenzaba a extender el cuello, igualmente completaba el movimiento de hacer rodar un huevo hacia el nido, aunque este ya no estuviera allí. Además vieron que las gansías recuperaban una variedad de otros objetos, como frutas o pelotas, al confundirlas con huevos. Lorenz y Tinbergen llamaron a este comportamiento patrón fijo de acción, movimientos fijos que se repiten en una secuencia siempre igual y que una vez iniciada se completa aunque desaparezca el objeto de la acción o cambien los estímulos externos.

El comportamiento que se observa como resultado del patrón fijo de acción es el comportamiento innato o instintivo y está determinado genéticamente. El objeto que desencadena la activación de este tipo de comportamiento se denomina estímulo-señal. La boca abierta de una cría representa para un ave madre el estímulo-señal que desencadena el comportamiento innato de alimentación.

Algunos comportamientos innatos se desencadenan solo cuando el estímulo-señal se presenta antes de determinada edad, como ocurre con la respuesta de escape de los gansos ante una sombra amenazante que se produce solamente hasta la edad de siete días.

Los estímulos-señal pueden ser muy variados. El color de la piel o los plumajes son disparadores de comportamientos de apareamiento o agresión entre muchos animales; olores o movimientos pueden desencadenar comportamientos de huida muy específicos. Todos los tipos de receptores y respuestas se pueden poner en juego en el comportamiento innato.

Los patrones fijos de acción, que aparecen a determinada edad, sexo y condiciones fisiológicas, se transmiten de padres a hijos igual que las características físicas. Algunos son semejantes entre especies distintas, y otros se encuentran solamente en una especie. Por ejemplo, los patrones que permiten a los animales caminar son similares en la mayoría de los mamíferos, mientras que los rituales de cortejo de las aves son muy específicos en cada especie.

Algunos patrones fijos de acción son muy rígidos, y la experiencia tiene escaso efecto sobre ellos; otras conductas instintivas son más elásticas y pueden ser modificadas por el aprendizaje y la experiencia. Los pollitos rechazan nidos, por ejemplo, picotean para buscar alimentos pero requieren cierto tiempo de aprendizaje para picotear solo aquello que realmente les sirve como alimento.

**A**

**B**

Muchas especies de aves construyen nidos, cada cual a su manera. A. Tacuárita. B. Hornero.



La conducta innata de succión del pezón materno es característica de los mamíferos, indispensable para la supervivencia del recién nacido y muy importante también para su vida social posterior.

### El aprendizaje

Como vimos, los animales adquieren muchos comportamientos por herencia, pero incluso estos pueden ser modificados en algunos casos por la experiencia. En otros casos, los animales aprenden comportamientos nuevos ante estímulos del ambiente. En estos casos hablamos de un comportamiento adquirido.

Las cerdas, por ejemplo, cuando tienen su primera camada de crías, muestran el comportamiento innato de hacer un nido, pero la construcción mejora mucho con cada nueva parición. Este es un ejemplo de comportamiento innato que es afectado por el aprendizaje.

Otros comportamientos son casi totalmente aprendidos. Algunas gaviotas aprenden a arrojar otras sobre rocas para romperlas y comer su contenido, mientras que otras las arrojan en los caminos para que las rompan los automóviles. Muchos animales, desde las aves hasta los monos, utilizan instrumentos para obtener comida. Los aprendizajes pueden ocurrir de diferentes maneras:

- **Por habituación:** es la manera más simple. Un organismo deja de responder a un estímulo que se le presenta en forma repetida. Las ardillas terrestres europeas, por ejemplo, dejan de presentar la respuesta de huida cuando el llamado de alerta de otra ardilla se repite sin evidencia de peligro.
- **Por asociación:** ocurre cuando un estímulo se asocia por experiencia con otro, de modo que el primero produce la respuesta que normalmente se esperaría frente al segundo estímulo. Por ejemplo, un perro responde a la apertura de la puerta moviendo la cola porque espera salir al exterior. Si siempre antes de abrir la puerta lo mostramos la correa, luego de un tiempo moverá la cola ante el estímulo de la correa.
- **Por imitación:** muchos animales aprenden conductas imitando a los miembros de su grupo de pertenencia.
- **Por Impronta:** es un aprendizaje que ocurre solamente en un período determinado, y una vez que se adquiere ya no se olvida. Un ejemplo es el reconocimiento de quién es el adulto al que seguirán por parte de los patos recién nacidos.

Mucho de lo que hemos dicho se aplica también a los seres humanos. Aunque el aprendizaje y la cultura de la sociedad de la que formamos parte juegan un papel muy importante, no podemos ignorar que los comportamientos instintivos son fundamentales en la vida de los humanos. Existen muchas investigaciones actuales que intentan esclarecer el peso relativo de cada uno de estos componentes sobre el comportamiento humano. El estudio con gemelos (genéticamente idénticos) y mellizos (genéticamente no idénticos), por ejemplo, permite estudiar hasta qué punto determinadas conductas están determinadas genéticamente o por aprendizaje y experiencia.



El juego entre pares hace que los cachorros aprendan conductas que necesitarán para su vida adulta.

Documentos en el cuadro

La correcta elección de variables en el momento de diseñar un experimento puede significar su éxito o su fracaso. Para esto es necesario fijar muy claramente qué objetivos se pretenden alcanzar, buscar un sujeto de investigación apropiado y determinar cuidadosamente cómo variar los diversos factores que intervienen en el experimento.

### Relaciona

18. Explicá qué tipo de comportamiento y, cuando corresponda, qué tipo de aprendizaje se observa en estas situaciones:

- a) Una camada de gansos recién nacidos sigue a todas partes a su cuidador luego de que su madre abandona los huevos antes de su nacimiento.
- b) Las pollitas se acercan a una fuente de luz aunque esto les produzca la muerte.
- c) Un grupo de monos que vive en una reserva ubicada en una playa lava las papas que les dan de comer en el agua salada. Son los únicos monos que tienen este comportamiento.

d) Un gato deja de prestar atención a un ratón de juguete luego de tratar de perseguirlo varias veces y descubrir que es un objeto inanimado.

e) Una cotorra se acerca a su comedero cada vez que nos ve caminar cerca de su jaula.

### Investiga

19. Hacé una búsqueda bibliográfica para saber qué se conoce acerca de la influencia genética y ambiental en el desarrollo del comportamiento y la inteligencia humana. Debatí con tus compañeros las diversas posturas existentes y la opinión que ustedes se hayan formado al respecto.

## Actividades finales

### Recordá

20. Uní de manera adecuada los conceptos de la primera columna con las definiciones de la segunda.

Propioceptores	Unidad simple con lente y células fotorreceptoras que forma parte del ojo complejo de los artrópodos.
Omatidio	Transmiten información sobre la posición del cuerpo y su orientación en el espacio.
Sáculo	Estructuras relacionadas con la termorrecepción.
Fosetas faciales	Cámara que forma parte del órgano del equilibrio de los vertebrados.

### Relacioná

21. Analizá el siguiente texto y luego contestá las preguntas que te proponemos.

En la gran ciudad los coches son muy veloces. Atravesian las calles y avenidas a grandes velocidades. Las aves que viven en la ciudad son capaces de alimentarse de los granos que han caído desde un camión de transporte, echándose a volar justo antes de sucumbir bajo una rueda, y a la hora de mayor tránsito. Estudios recientes sobre el comportamiento animal establecen que cualquier animal que se haya desarrollado dentro de una gran ciudad logra habilidades para la supervivencia que difícilmente muestran sus congéneres que viven en condiciones naturales.

- a) ¿El comportamiento de las aves de ciudad es innato o adquirido?
- b) ¿Podrías decir que las aves de ciudad son más inteligentes que las aves que viven en la naturaleza?
- c) ¿Podría aplicarse en este caso el concepto de aprendizaje?

22. Compará los distintos sistemas de recepción de estímulos. ¿Cuáles y cuáles poseen células clíadas como parte del sistema de detección?

### Investigá

23. Se han realizado muchas investigaciones acerca del aprendizaje en el uso de herramientas utilizando unas aves que parecen ser muy inteligentes, los cuervos.

Buscá información al respecto y armá un afiche que comprende la información que conseguiste. Una plisita: el biólogo argentino Alejandro Kacelnik, que trabaja en el Reino Unido, es un referente en la materia.

### Experimentá

24. Reúntate con tu grupo para experimentar sobre la acción de diversos receptores en el ser humano. Van a necesitar: virutas de madera, un recipiente con agua caliente (a no más de 45 °C), un recipiente con agua y hielo, dos recipientes con agua a temperatura ambiente, una plizca de sal gruesa, un reloj con segundero, una manzana, una banana.

- 1.\* Uno de los compañeros del grupo debe cerrar bien los ojos mientras otro le va tirando virutas de madera sobre la mano extendida. En el momento que sienta la presión sobre la mano, deben interrumpir el procedimiento y verificar qué cantidad de viruta fue necesario utilizar para lograr el efecto. Repitan la experiencia con tres o cuatro personas diferentes, y registrén en forma aproximada si las cantidades fueron mayores, iguales o menores. ¿Cuánta viruta hace falta para poder percibir la presión? ¿Fue similar para todos los que probaron?

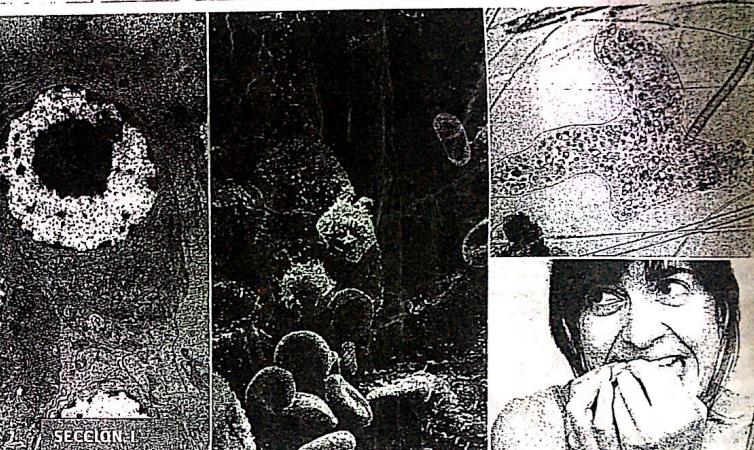
- 2.\* Otro de los compañeros del grupo deberá introducir al mismo tiempo una mano en el recipiente con agua caliente y la otra en el que contiene agua fría. Luego de un minuto, pasará ambas a los recipientes con agua a temperatura ambiente. ¿Recibe la misma sensación en ambas manos en el agua a temperatura ambiente?

- 3.\* Otro compañero deberá colocarse los granos de sal gruesa sobre la lengua mientras otro toma el tiempo con el segundero para determinar cuánto tiempo pasa para que perciba el gusto. ¿Percibe el gusto inmediatamente o pasan algunos segundos?

- 4.\* Con los ojos bien cerrados, huelan la manzana y la banana. Diferencien los aromas. Luego coman un trozo de manzana mientras huelen la banana. ¿Pueden diferenciar ambas frutas por el aroma? ¿Qué les parece que están comiendo?

- a) Respondan por escrito las preguntas de cada punto y fundamenten las observaciones.

- b) ¿Qué receptores intervienen en cada caso? ¿De qué tipo son?



## Percepción y respuesta a nivel celular

### Punto de partida

El año pasado todo el curso preparó una obra teatral para el acto de fin de ciclo. Fue un trabajo casi profesional, ya que un teatro del barrio ofreció su sala para que se realizará la presentación de la pieza. Micaela tuvo un rol protagónico, con mucho texto y escenas difíciles. El día del estreno estaba tan nerviosa que creía que al salir a escena se iba a olvidar todo lo aprendido y ensayado durante el año. Míautos antes del debut, le temblaban las piernas, el corazón le latía vigorosamente y tenía las manos cubiertas de sudor frío. Tuvo miedo de perder la concentración y hacer un verdadero papelón. ¡Tenía ganas de huir corriendo de solo pensarlo! Sin embargo, salió todo bien. Parecía que todas las células de su cuerpo

estuvieron esforzándose en conjunto para que la actuación resultara brillante. ¡El público presente aplaudió de pie!

- a) ¿Por qué pensás que latía fuerte el corazón de Micaela antes de salir a escena?
- b) ¿Cuál era el estímulo al que estaba respondiendo el corazón?
- c) ¿Era un estímulo real o imaginario?
- d) ¿Cómo todas las células de su cuerpo pudieron coordinarse para enfrentar esta situación difícil?
- e) ¿Todas las células responden de igual manera a los estímulos?

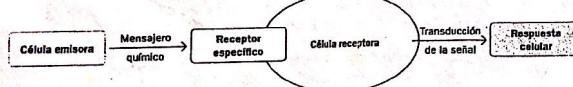
# Conoci

## Traducir la energía

La palabra transducción proviene del latín *transducere* y su sentido es transmitir algo mediante un intermediario. Se podría definir como la transformación de un tipo de señal o energía en otra de distinta naturaleza. Para la biología celular, la transducción de señal es el proceso por el que una célula convierte una determinada señal o estímulo exterior en otra señal o respuesta específica en el interior celular, como hemos estudiado en este capítulo. Se utiliza también en otros campos como la electrónica, donde hace referencia a la transformación de un tipo de energía en una señal eléctrica o viceversa por medio de un mecanismo transductor, o en genética, donde se refiere al proceso de introducir material genético a una célula utilizando como herramienta un virus.



Las células reciben un mensaje y producen una respuesta, de manera similar a todos los sistemas de comunicación que conoces.



El sistema de comunicación intercelular requiere de varios componentes que interactúan en el proceso de comunicación.

## La comunicación intercelular.

En una enorme cantidad de organismos, desde los más simples hasta los más complejos, se observan fenómenos basados en la comunicación. Como vimos en los capítulos anteriores, todos los seres vivos son capaces de responder a los estímulos externos elaborando una respuesta apropiada. Para que esto ocurra, cada una de las células implicadas debe enviar o recibir un mensaje y, cuando el estímulo así lo requiera, producir un cambio para adaptarse a la nueva situación. Esto ocurre, por ejemplo, cuando un protozozo se dirige hacia una fuente de alimento o se aleja de una sustancia tóxica, cuando una célula muscular se contrae para alejar la mano de una superficie caliente, cuando la entrada o salida de agua de una célula vegetal produce un movimiento brusco de sus hojas, o una célula de la retina envía su mensaje al cerebro ante un estímulo lumínico. Las células que componen un organismo pluricelular conforman un sistema integrado, cada una con su función específica y en contacto con las demás. El mantenimiento de la homeostasis del organismo requiere que todos sus integrantes estén vinculados entre sí. Para que esto suceda con éxito, es imprescindible que el organismo pluricelular posea un sistema de comunicación entre sus células.

Como en cualquier otro sistema de comunicación, para que la interacción suceda adecuadamente, no deben faltar ciertos elementos básicos: un emisor, que produce o emite una señal o mensaje, el mismo mensaje y un receptor que sea capaz de recibir el mensaje emitido, interpretar su significado y responder a él.

En un sistema biológico, casi todas las células son capaces de emitir señales o mensajes para comunicarse con otras células, vecinas o distantes de ella. Existen distintos tipos de mensajes, ya que diferentes tipos de moléculas químicas, los mensajeros químicos o señales, pueden cumplir con esta función. A las células que reciben las señales las llamamos células blanco, y para poder cumplir con esta función deben poseer alguna molécula receptora que puede encontrarse en distintas partes de la célula: en la membrana celular, en el citoplasma o en el núcleo. Estas moléculas se llaman receptores y son capaces de interactuar con los mensajeros químicos que provienen de las células emisoras.

Cuando un mensajero interactúa con un receptor específico, se inician cambios en la célula blanco que generan una respuesta al mensaje recibido. A los eventos que suceden en la célula y que median entre la llegada del mensaje y la respuesta se los denomina transducción de la señal. El resultado final es una actividad de la célula blanco en respuesta a la llegada del mensajero, que es específica y está estrictamente regulada. Como respuesta a señales del medio, las células de un organismo pueden moverse, dividirse o dejar de hacerlo, cambiar de forma, transformarse en una célula más madura, producir determinadas sustancias o morir.

### Diferentes tipos de comunicación

Dependiendo de la distancia que media entre las células emisoras y las células receptoras, podemos clasificar a las señales que envían las células para la comunicación intercelular en dos tipos principales: locales y a distancia.

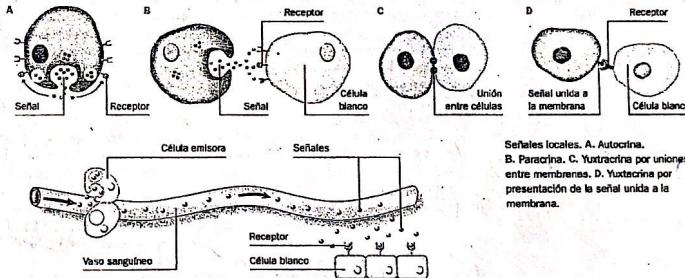
Las señales locales son secretadas por la célula emisora hacia el líquido extracelular, y actúan en su vecindad. Visualmente su acción es muy rápida, se produce en pocos segundos, y luego son inactivadas, y pierden su función dentro de un período corto de tiempo. Pueden ser:

• **Autocrinas:** cuando el mensajero químico afecta a la misma célula que lo emitió.

• **Paracinas:** cuando una molécula mensajera actúa a corta distancia, porque la célula blanco se encuentra próxima a la célula que emite la señal.

• **Xustacinas:** requieren el contacto entre las células emisora y blanco. La comunicación en este caso se puede realizar de dos maneras diferentes: por contacto entre las membranas de ambas células mediante conexiones o bien cuando la célula emisora presenta la señal unida a su membrana y esta se une al receptor ubicado en la membrana plasmática de la célula blanco.

Las señales a distancia o endocrinas son volcadas por la célula emisora al sistema circulatorio, interactúan con células blanco que se encuentran alejadas de la célula emisora. Las señales endocrinas son las hormonas, producidas por células o glándulas especializadas que estudiaremos en detalle en el capítulo 7. Por lo general, las hormonas actúan en forma más lenta que las señales locales, pero pueden permanecer circulando en la sangre durante un tiempo extenso, que se puede medir en minutos o en horas.



Señales locales. A. Autocrina. B. Paracrina. C. Xustacrina por uniones entre membranas. D. Xustacrina por presentación de la señal unida a la membrana.

### Señales emitidas a distancia o endocrinas.

#### Recordá

1. Responde:
  - a) ¿A qué se llama transducción de la señal?
  - b) ¿Qué característica debe tener una célula para ser considerada blanco de un mensajero químico?
  - c) ¿Dónde podemos encontrar receptores para mensajeros químicos en una célula blanco?

2. Explíca las diferencias entre mensajeros locales y mensajeros endocrinos.

#### Relacioná

3. Busca ejemplos de sistemas de comunicación en los que puedas identificar los mismos elementos que en la comunicación intercelular.
4. Justificá la siguiente afirmación: Sin sistemas de comunicación intercelular, los organismos pluricelulares no habrían tenido el éxito evolutivo que alcanzaron.

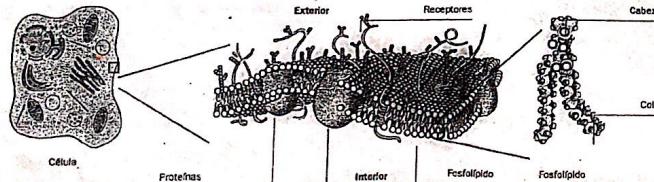
## Conoce

### La membrana plasmática en la comunicación celular

#### Miedo al agua

La palabra hidrofóbico proviene del griego por la combinación de hidrós (agua) y fóbos (miedo). Seguramente los surcos fóbicos y fóbicos te resultan bastante conocidos ya que se aplican para todo aquello que da miedo (claustrofóbico y aracnofobia, por ejemplo). En el lenguaje habitual, el término se aplica muchas veces como síntoma de la rabia, una grave enfermedad transmitida por animales como el perro, aunque en realidad la hidrofobia es solo un síntoma de dicha enfermedad. En psiquiatría es síntoma de acuafobia, un miedo irracional al contacto con agua. En ciencias el término remite, como vemos, a sustancias que no se mezclan con el agua, como la mayoría de las grasas, aunque no hayan sido mordidas por un perro ni deban concurrir al consultorio del psiquiatra.

La membrana plasmática responde al modelo de mosaico fluido.



© Sanitaria S.A. Prohibida su utilización, Ley 11.723  
© Sanitaria S.A. Prohibida su impresión, Ley 11.723

#### El pasaje de sustancias

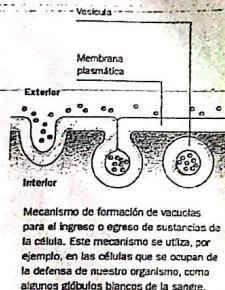
La estructura de mosaico fluido que adopta la membrana plasmática determina muchas de sus propiedades. Una de las más importantes es la permeabilidad selectiva, que le permite mantener el medio interno celular diferenciado de su entorno y a la vez comunicado, entre otras cosas.

En virtud de esta permeabilidad selectiva, algunas moléculas que se encuentran en el medio extracelular pueden atravesar la membrana, mientras que otras no pueden hacerlo. El pasaje a través de la membrana puede darse de dos maneras:

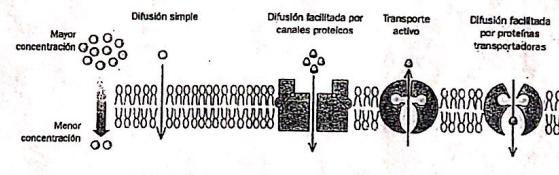
• **Transporte pasivo:** se realiza por difusión, siempre a favor de un gradiente de concentración. Esto quiere decir que las sustancias que pueden pasar libremente a través de la membrana lo harán desde el lugar donde se encuentran a mayor concentración hacia el lugar donde su concentración sea menor. Atravesar la membrana por difusión simple aquellas moléculas que son pequeñas y solubles en lípidos (liposolubles o lipofílicas) y los gases, como el oxígeno. Se requiere una difusión facilitada para iones, azúcares sencillos y aminoácidos, ya que no son liposolubles o demasiado grandes. Estos pasan por conductos formados por proteínas, llamados canales proteicos, o bien "ayudados" por proteínas transportadoras que funcionan hacia un lado u otro de la membrana, siempre a favor de la concentración.

• **Transporte activo:** cuando se requiere el paso de sustancias en contra del gradiente de concentración –es decir, desde donde se encuentran en menor cantidad hacia donde están más concentradas– la célula deberá gastar energía en el proceso. Este transporte se realiza mediante proteínas transportadoras, como la denominada bomba de sodio-potasio, o bien formando una vacuola que permite la entrada o salida de muchas partículas a la vez, ya sea para alimentarse o para destruir elementos extraños al organismo.

Esta característica de permeabilidad selectiva daña a la comunicación intercelular. Los mensajeros químicos que atraviesan la membrana pueden interactuar con receptores internos, mientras que los que no la atraviesan interactuarán con la célula mediante receptores ubicados sobre la superficie externa de la membrana celular.



Mecanismo de formación de vacuolas para el ingreso o egreso de sustancias de la célula. Este mecanismo se utiliza, por ejemplo, en las células que se ocupan de la defensa de nuestro organismo, como algunos glóbulos blancos de la sangre.



Pasaje de partículas a través de la membrana plasmática

Recordá

5. Indicá los tipos de lípidos que conforman la membrana plasmática.

6. Contestá:

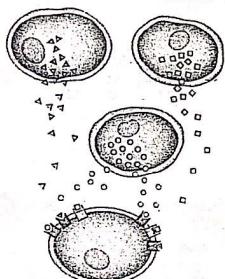
- ¿Cómo pueden estar ubicadas las proteínas en la membrana plasmática?
- ¿A qué se denomina anfipático?
- ¿Por qué se dice que la membrana responde al

modelo de mosaico fluido? Realizá un esquema para explicarlo.

Relacioná

- Recordando los tipos de proteínas que forman parte de la membrana celular:
  - ¿Cuáles podrán cumplir función de transporte de sustancias a través de ella?
  - ¿Cuáles podrían ser receptores externos?

## Recepción de mensajes



La interacción señal-receptor respondió al modelo de llave y cerradura: cada señal tiene un receptor específico al que se une.

Como vimos en los capítulos anteriores, los seres vivos son capaces de recibir estímulos del exterior, pero no lo hacen indiscriminadamente. Cada uno tiene los mecanismos adecuados para captar y responder a las señales necesarias para adaptarse a su ambiente. Del mismo modo las células reciben y responden únicamente a las señales necesarias para cumplir con sus funciones.

Para que una sustancia pueda actuar como mensajero químico y producir una respuesta, en primer lugar debe unirse a una molécula receptora o receptor, en la célula blanco.

Esta unión tiene dos características fundamentales:

• **Especificidad:** la señal o mensajero y el receptor interactúan específicamente, ya que cada señal tiene un receptor propio. Ambos forman un complejo señal-receptor, como si fueran una llave y una cerradura.

• **Eficiacia:** la formación del complejo señal-receptor desencadena una serie de eventos que ocurren dentro de la célula y que conducen a la respuesta.

Si una célula no posee receptores para una determinada señal, no responderá a ella. Una vez que la señal interactúa con su receptor, se desencadena, como dijimos, una serie de fenómenos intracelulares en cascada, se promueven reacciones químicas encadenadas en diferentes pasos, cada uno de los cuales amplifica el anterior, de modo que la interacción de una molécula señal con un receptor ocasiona un efecto de muchísima mayor magnitud. Luego de producir el efecto, el complejo señal-receptor se disocia, por lo que podemos decir que es reversible, característica fundamental para limitar la estimulación de la célula.

Por lo general, una célula blanco posee de 2.000 a 10.000 receptores para una determinada señal, y una misma célula puede ser blanco para muchos mensajeros químicos diferentes. Como el número de receptores de una célula es limitado, si el número de señales es muy alto, el receptor se satura. Cuando esto ocurre, aunque lleguen más partículas de mensajero químico no podrán ser detectadas por la célula.

### Cambios en los receptores

El número de receptores para un mensajero químico en una célula no permanece inalterado sino que varía en el tiempo. En cuestión de minutos u horas pueden fabricarse receptores nuevos, destruirse otros o bien atravesar estados de inactivación-activación en forma cambiante, dependiendo de diversos factores que incluyen la cantidad de señales que se encuentren en las cercanías de las células blancas y se unen a sus receptores.

Por ejemplo, cuando aumenta la cantidad de señales que se unen a sus receptores en una célula, es frecuente que el número de receptores disponibles disminuya. Esto puede suceder a través de tres mecanismos: por inactivación de algunos receptores, por la internalización o secuestro de receptores hacia lugares donde no están accesibles al mensajero químico, o por la destrucción de los receptores. En todos los casos, el resultado es la disminución de la respuesta al mensajero químico. Este fenómeno recibe el nombre de *down-regulation* o regulación en baja.

También es posible que suceda el fenómeno contrario: la señal química estimula la formación de nuevas moléculas de su receptor o bien aumenta la disponibilidad de las ya existentes para la interacción con el mensajero. Cuando esto sucede, aumenta la sensibilidad de la célula blanco al mensajero que recibe, fenómeno conocido como *up-regulation* o regulación en alta.

Como vimos antes, la naturaleza química del mensajero determina si este puede o no atravesar libremente la membrana plasmática. Los receptores específicos para cada mensajero, entonces, deberán estar ubicados en un lugar adecuado para que se lleve a formar el complejo señal-receptor. Según su ubicación, los receptores se pueden clasificar en:

• **Receptores intracelulares citoplasmáticos o nucleares:** son los receptores característicos de las señales o mensajeros de naturaleza lipídica (como los esteroides) y las hormonas tiroideas, ya que estos pueden atravesar la membrana celular libremente. Suelen encontrarse ubicados en el núcleo o bien en el citoplasma celular, aunque estos últimos, luego de interactuar con el mensajero químico, se dirigen hacia el núcleo para actuar allí. Regulan o modifican la actividad celular a nivel del material genético en el núcleo.

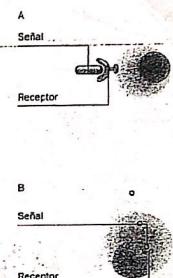
• **Receptores de membrana:** atraviesan la membrana celular y tienen una porción expuesta al exterior, o bien se ubican sobre su superficie externa. Son receptores característicos para señales o mensajeros químicos que no atraviesan la membrana, fundamentalmente los de naturaleza proteica.

Existen tres tipos distintos de receptores de membrana:

• **Receptores canal:** llenan la forma de un canal que atraviesa la membrana, y por el que pueden pasar uno o varios iones (partículas cargadas eléctricamente). Al interactuar con el mensajero químico, los receptores canal se abren o cierran permitiendo o impidiendo el pasaje de iones.

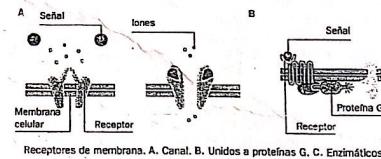
• **Receptores unidos a proteína G:** son proteínas integrales de membrana que poseen una parte externa que interactúa con su mensajero y una parte interna que se asocia a otra proteína que se encuentra en la cara interna de la membrana, denominada proteína G. Cuando la señal se une a la parte extracelular del receptor, la proteína G se activa produciendo, por ejemplo, la activación de una enzima.

• **Receptores enzimáticos:** son proteínas integrales de membrana que tienen en sí mismas actividad enzimática o bien están unidas a una enzima (de las que hablaremos en el capítulo 9).



Dependiendo de la naturaleza química de la señal y de su capacidad de atravesar la membrana plasmática, los receptores se ubican en distintos sitios en la célula.

A. Receptor de membrana. B. Receptor intracelular.



Receptores de membrana. A. Canal. B. Unidos a proteínas G. C. Enzimáticos.

### Recordá

8. Diferenciá con tus palabras los siguientes pares de conceptos:

- especificidad – eficacia;
- receptores enzimáticos – receptores unidos a proteína G.

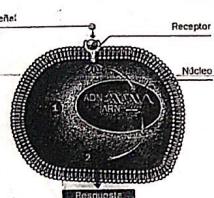
9. Realizá en tu carpeta dos esquemas que muestren cómo se lleva a cabo la regulación en baja y en alta del número de receptores de la célula blanco.

### Relacioná

10. Indicá si estas afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F). Reescribí las falsas para que resulten verdaderas.

- Para que una célula pueda interactuar con otra en forma coordinada, debe tener muchos receptores para un determinado mensajero químico.
- Los receptores de membrana, al unirse a una señal, no producen cambios en el interior de la célula.
- Una señal de tipo lipofílico no necesita receptores.

## La transducción de la señal



Mecanismo general de transducción de una señal. En la vía rápida (—) primero se activan las reacciones (1) y luego ocurren cambios en el metabolismo celular (2). En la vía lenta (—) se produce la regulación de la síntesis de proteínas.

Una vez formado el complejo señal-receptor, en la célula suceden una serie de acciones que permiten la amplificación de la señal recibida. (Esto significa que cuando una única molécula de la señal interactúa con su receptor, desencadena una serie de reacciones químicas que suceden una a continuación de la otra. En cada reacción sucesiva las modificaciones en el interior de la célula van en aumento, de modo que en unos cuantos pasos la señal se amplifica muchas veces) Imaginemos una bola de pool que toca a otra, y esta a su vez toca a otra o a otras bolas, hasta que el movimiento de una sola resulta en el movimiento de todas). En la célula, a estos eventos se los denomina transducción de la señal. Puede ocurrir por una vía rápida, en el citoplasma celular, o bien por una vía lenta, en la cual la señal debe llegar al núcleo celular para modificar la síntesis proteica (proceso que tratarímos en detalle en el capítulo 9).

Hay diferentes tipos de mecanismos para transducir señales, que dependen fundamentalmente del tipo de receptor que se activa ante la llegada del mensajero químico.

### Complejo mensajero-receptor de membrana

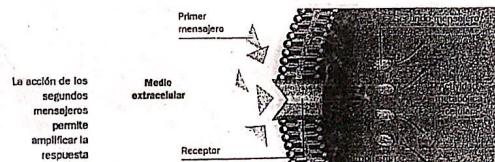
Los mensajeros químicos que no atraviesan la membrana y que, como hemos visto, activan receptores que se encuentran en la membrana de las células blancas, actúan como primer mensajero de la comunicación intercelular. El complejo señal-receptor produce cambios que llevan a la aparición de un segundo mensajero intracelular.

La transducción de señales es distinta dependiendo del tipo de receptor de membrana que se active. En los receptores canal la formación del complejo señal-receptor produce la apertura o el cierre del canal, permitiendo el ingreso o la salida de iones. Así, por ejemplo, entran iones calcio al interior de la célula muscular, que actúa como segundo mensajero iniciando una serie de activaciones de proteínas que termina en la contracción muscular.

Cuando la señal se vincula con un receptor unido a proteína G, puede estimular la formación de otro segundo mensajero, el AMP cíclico, que a su vez activa una cascada de reacciones enzimáticas que concluye, por ejemplo, en la síntesis de hormonas en algunas glándulas, como la suprarrenal.

### Complejo mensajero-receptor intracelular

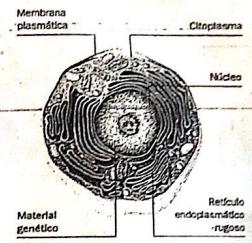
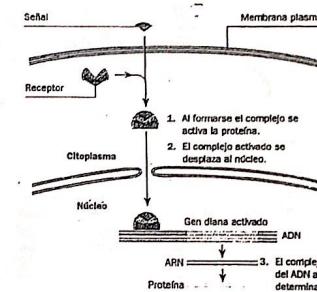
Ya vimos que varios tipos de mensajeros químicos pequeños y solubles en lípidos pueden atravesar la membrana plasmática y se unen a receptores dentro de la célula. El receptor se puede encontrar en el citoplasma o en el núcleo celular. En el primer caso, la formación del complejo señal-receptor ocurre en el citoplasma y este se dirige luego al núcleo celular para poner en marcha la transducción de la señal. En el segundo caso, el complejo se forma directamente en el núcleo.



La acción de los segundos mensajeros permite amplificar la respuesta celular.

En cualquiera de los dos casos este mecanismo involucra la modificación de la actividad nuclear. Usualmente, los receptores intracelulares se encuentran en forma inactiva, unidos a proteínas inhibidoras de su acción. La llegada de la señal induce un cambio de forma en el receptor que hace que se separe de la proteína inhibitoria y, de ser necesario, se traslade hacia el núcleo e inicio la transducción.

Como estudiaremos en el capítulo 10, en el núcleo se encuentra el ADN, que contiene toda la información genética para la síntesis de las proteínas que intervienen en las actividades celulares. La información contenida en el ADN se transcribe a ARN mensajero dentro del núcleo para luego ser traducido a proteínas en los ribosomas del retículo endoplasmático rugoso. Al activarse, los complejos señal-receptor intracelulares se unen al ADN y regulan este proceso.



Cuando la señal interactúa con receptores intracelulares, la transducción siempre se realiza a nivel del núcleo celular.

Los receptores citoplasmáticos modifican la actividad del núcleo.

Una diferencia importante que surge en la comparación del mecanismo de acción entre los complejos mensajero-receptor de membrana y mensajero-receptor intracelular es la velocidad de la respuesta que desencadenan. Los mensajeros que activan receptores de membrana inicián cascadas de transducción de la señal con modificaciones en enzimas o proteínas que ya están fabricadas y funcionando dentro de la célula, por lo que la respuesta es muy rápida. En cambio, los mensajeros que activan receptores intracelulares en donde la transducción de la señal involucra la síntesis de nuevas proteínas, que no estaban antes en la célula, requiere de mayor tiempo, y por lo tanto la respuesta suele ser más lenta.

### Recordá

11. Relacioná con una frase los siguientes pares de conceptos:  
 a) vía lenta – núcleo celular;  
 b) señal – receptor;  
 c) primer mensajero – segundo mensajero;  
 d) receptor enzimático – enzima.

12. Explicá con tus palabras qué es la transducción de una señal a nivel celular.

### Resolvé

13. La insulina es una hormona que al unirse a su receptor promueve la entrada de glucosa a determinadas células como las musculares, y provoca, por tanto, la disminución de la glucosa en sangre. A muchos pacientes diabéticos, en los que no se produce adecuadamente la regulación de la glucosa, se les administra insulina exógena para disminuir sus niveles de glucosa sanguínea. Sin embargo, existen pacientes diabéticos en los que esta terapia no tiene efecto. Explicá si puede existir una relación entre esta situación y los receptores para insulina y cuál sería tu explicación al respecto.

## Comunicación directa entre células

Como ya vimos, dos células vecinas pueden conectarse también por uniones intercelulares. Estas uniones son especializaciones de la membrana plasmática que permiten el envío de señales entre ellas. Esta comunicación directa asegura que las células puedan actuar coordinadamente para cumplir con sus funciones. Son diferentes según se trate de células animales o vegetales.

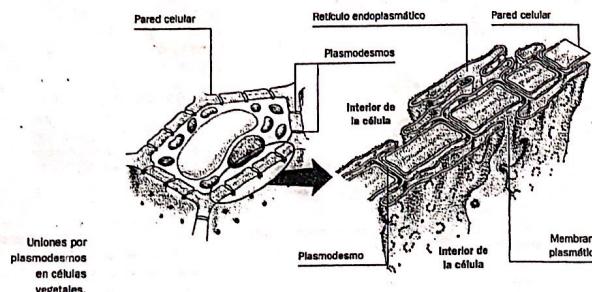
### Comunicación en células animales

Las células animales se comunican mediante una estructura especial llamada uniones en hendidura o "uniones gap". Son canales formados por varias proteínas intrínsecas llamadas conexinas. Cada una de las células posee en su membrana la mitad del canal alineado perfectamente con la otra mitad ubicada en la célula contigua. Cuando estos canales se abren, permiten el paso de partículas pequeñas como iones o aminoácidos, pero no de otras más grandes como proteínas complejas. Entre dos células vecinas pueden establecerse cientos de conexiones de este tipo.

Las uniones de hendidura permiten que las células de un mismo tejido comparten sustancias y que estas alcancen concentraciones similares en todas ellas. Se encuentran en casi todos los tejidos animales, pero están totalmente ausentes en células aisladas y móviles como los glóbulos rojos. Hacen posible, por ejemplo, la existencia de la sinapsis eléctrica, una manera de transmisión del impulso nervioso entre neuronas que estudiaremos en el próximo capítulo.

### Comunicación en células vegetales

Como recordarás, las células vegetales están rodeadas por una pared celular gruesa, por lo que requieren de otro tipo de uniones para poder intercambiar sustancias entre sí. Estas estructuras de unión se llaman plasmodesmos. Están formados por las membranas plasmáticas fusionadas de ambas células, una especie de puente que atraviesa las paredes celulares. En el interior de cada plasmodesmo se encuentra una prolongación del retículo endoplasmático llamado desmotóbulo, por lo que el diámetro resulta similar al de las uniones gap. A través de estas uniones, las células intercambian principalmente gases y nutrientes. También son importantes en la recepción de las señales químicas por parte de todas las células por igual, lo que asegura que todas respondan de la misma forma a ellas.



## El ion calcio como señal intracelular

En 1883 el fisiólogo inglés Sydney Ringer investigaba la contracción cardíaca y las técnicas para estudiar órganos aislados de su organismo. Utilizaba como modelo el corazón aislado de un sapo, y lo bañaba en una solución para que siguiera latiendo. Descubrió que agregando sangre y una proteína llamada albúmina a la solución original de cloruro de sodio mejoraba el funcionamiento del corazón aislado. Luego observó que si preparaba su solución de cloruro de sodio con agua de la cañilla en lugar de agua destilada, se obtenía el mismo resultado que agregando sangre. Así, llegó a la conclusión de que el calcio, contenido en el agua y en la sangre, era el responsable de esta acción. Este fue el primer indicio de que el ion calcio era importante en las funciones celulares.

¿Cómo pudo haber descubierto Ringer que era el calcio el que intervenía en las funciones celulares?

¿Cuál crees que es el papel de la casualidad en los descubrimientos científicos?

Si embargo, los detalles más acabados de la función del calcio como señal intracelular requirieron de mayores y más recientes investigaciones. En 1955 un matrimonio de investigadores estadounidenses, Mabel y Lowell Hokin, vio que, al incubar fragmentos de páncreas de palomas con una hormona (un mensajero químico estimulante), la composición de lípidos de las membranas de las células cambiaba rápidamente. Luego observaron que el cambio se debía a la descomposición muy veloz de una sustancia, llamada fosfatidilinositol. Sin embargo, pese a sus esfuerzos, no pudieron descubrir el mecanismo implicado en este proceso. Hubo que esperar a que en 1975 el investigador británico Robert Mitchell lo descubriese.

Mitchell realizó una profunda revisión de los hallazgos en este campo y encontró una asociación estrecha entre el recambio (síntesis y degradación) del fosfatidilinositol y las variaciones en la concen-

tración del calcio libre en el citoplasma de la célula. Postuló entonces que los mensajeros químicos desdoblaban al fosfatidilinositol y un producto de este desdoblamiento, no se sabía cuál, hacía que el calcio intracelular aumentara. Recién en 1983 Michael Berridge, en colaboración con Irene Schulz, identificó otra sustancia, el inositol trifosfato, como el desconocido producto que iniciaba la señal de calcio.

Más adelante, el interés se centró en ver de dónde provenía el calcio que aumentaba dentro de la célula. Se conocía que, en una célula cualquiera, en el citoplasma hay muy poco calcio con relación al exterior, mientras que en el interior de algunos órganulos u organelas celulares como el retículo endoplasmático se almacena calcio. Se pensó entonces que si se deseaba aumentar la concentración de calcio, lo más sencillo es simplemente abrir un canal para que el calcio ingrese en el citoplasma a gran velocidad desde esos depósitos intracelulares o del exterior de las células. Recién cuando pudo ser utilizado el microscopio electrónico se pudo comprobar la presencia de un canal que está ubicado en la membrana de las cisternas del retículo endoplasmático. Como este canal es bloqueado por un fármaco, la rianodina, se lo llamó canal receptor de rianodina, y es la puerta que usa el calcio para salir de su sitio de almacenamiento hacia el citoplasma.

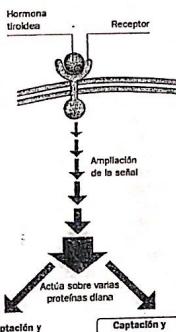
Además del retículo, existen otros órganulos que podrían tener importancia como depósitos; gracias al desarrollo de otros tipos de microscopios y de marcadores fluorescentes que se localizan exclusivamente en las mitocondrias, se ha podido detectar que también las mitocondrias almacenan calcio en su interior.

¿Cómo te imaginás que se realizaron los estudios que descubrieron el canal de rianodina?

¿Por qué pensás que fue necesario el desarrollo tecnológico de la microscopía para consolidar los estudios sobre el rol del calcio en la comunicación intracelular?



Cuando ingerimos alimentos y se absorben sus nutrientes, se ponen en marcha numerosas vías metabólicas. Las células reciben mensajes y responden en consecuencia.



En la respuesta celular el resultado dependerá de la proteína diana involucrada.

## Respuestas celulares

Hasta ahora hemos visto que el mensaje emitido llega a la célula blanco, interactúa con su receptor formando el complejo mensajero-receptor y la señal es transducida en fenómenos internos en la célula que resultan en la modificación de actividad de diferentes proteínas o la creación de proteínas nuevas. A estas proteínas activadas o creadas en respuesta a una señal extracelular se las denomina **proteínas diana** (ver página 114). Dependiendo del tipo de proteína diana que se vea afectada por esta cadena de reacciones, la célula blanco responde con una acción o efecto distinto y específico. Las proteínas diana pueden ser proteínas de transporte a través de la membrana, enzimas que intervienen en distintos pasos del metabolismo celular, proteínas del citoesqueleto, proteínas reguladoras de la síntesis de proteínas, o proteínas que regulan el crecimiento y la división de la célula.

Cuando las proteínas diana son proteínas de transporte ubicadas en la membrana celular, el resultado de su modificación puede influir en el tránsito de sustancias desde la célula hacia el exterior o bien desde el exterior hacia el interior celular. Estas sustancias pueden ser nutrientes, desechos o moléculas que mantienen el equilibrio interno de la célula. Este es el caso de los iones, moléculas con carga de cuya concentración en la zona cercana a la membrana celular dependen las propiedades eléctricas de algunas células.

Si las proteínas diana son enzimas que cumplen diversos pasos del metabolismo celular, la modificación de su actividad conducirá a alteraciones en el funcionamiento general de la célula blanco: el aumento del consumo de energía para efectuar algún trabajo específico, o la modificación de alguna molécula para favorecer su utilización o su almacenamiento. Por ejemplo, las hormonas tiroideas, que son mensajeros químicos producidos por la glándula tiroideas, poseen receptores en casi todas las células del organismo. Allí inducen la captación y utilización de moléculas como la glucosa y los lípidos de las que se puede obtener energía para las funciones celulares, por lo cual también aumenta el consumo de oxígeno y la producción de calor.

En el caso de que la célula blanco sea una célula que produce alguna sustancia de secreción, la regulación de su funcionamiento podrá realizarse a través de los cambios en la transcripción y traducción de los genes que poseen la información para la fabricación del producto de secreción y con relación al momento en que la célula vuela al exterior su producto. En las células del sistema inmunitario que producen anticuerpos, en algunas células endocrinas o en las glándulas exocrinas (de las que hablaremos en el capítulo 7), la secreción se almacena en estas vesículas dentro de la célula y, ante la llegada de un mensajero apropiado, la membrana de la vesícula se fusiona con la membrana plasmática y libera su contenido hacia el exterior como vimos antes en este capítulo, en un proceso conocido como **exocito-** **sis**. También se produce el proceso inverso, por ejemplo, cuando glóbulos blancos y otras células pertenecientes al sistema inmunitario se unen por sus receptores a proteínas presentes en la superficie de microrganismos invasores y los incorporan a la célula para destruirlos. El mecanismo se denomina **fagocitosis**.

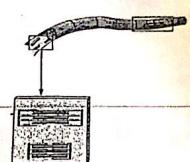


El mecanismo de fagocitosis ocurre en organismos unicelulares o células que forman parte de seres pluricelulares, por ejemplo, en células pertenecientes al sistema inmunitario.

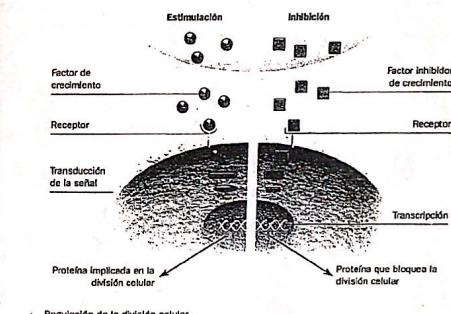
Algunas proteínas diana son parte del citoesqueleto, de modo que su modificación da por resultado cambios en la forma de la célula o en la producción o cese de movimientos celulares. Un ejemplo muy particular es la modificación de la longitud de la célula muscular que se produce en la contracción.

Las fibras musculares son alargadas y contienen haces de filamentos, las microfibrillas, conformadas por actina y miosina, que se disponen a lo largo de su eje longitudinal. Se ubican en una disposición muy organizada, ya que su interacción permite la contracción de la fibra. La posibilidad de que actina y miosina interactúen depende del ion calcio, que se encuentra almacenado en el retículo endoplasmático y que, ante la llegada de un mensajero químico, se libera al citoplasma y participa de la contracción muscular. El calcio es, entonces, el segundo mensajero de la contracción.

Las células normales se reproducen por una serie de procesos desencadenados por factores de crecimiento externos y detienen su división en respuesta a factores inhibidores externos. Estos factores desencadenan, al unirse a los receptores celulares, una "cascada" de respuestas en el interior de las células que terminan en la producción de las proteínas involucradas en estos procesos, que en este caso serán las proteínas diana.



La contracción muscular se produce como resultado del anclaje de los filamentos de actina sobre los de miosina produciendo el acortamiento de la fibra muscular.



### Recordá

- Ciclo celular.
- Proteínas diana.
- Proteína contráctil.

- Prepará un cuadro que resuma los diferentes tipos de respuestas celulares que hemos estudiado en estas páginas relacionadas con los tipos de proteínas diana descriptos.

### Relacioná

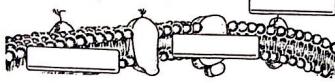
- Cada célula de un organismo pluricelular tiene la infor-

mación que necesita para cumplir con sus funciones en su material genético. Su ciclo de vida, como vimos, es regulado por factores externos. Cuando una célula, probablemente por modificaciones en su ADN, deja de comportarse de esta manera —se divide sin control, no llega a adquirir las características necesarias para cumplir con su función, etc., no responde a los estímulos provenientes del exterior— se convierte en un problema para el organismo completo: el cáncer. Sabiendo esto: ¿cómo explicarías con tus palabras la importancia de la comunicación celular y de la recepción y respuesta celular a los estímulos?

## Actividades finales

### Recordá

17. Colocá los rótulos en esta imagen de la membrana plasmática.



### 18. Elegí la opción correcta.

- a) Los fosfolípidos que constituyen la bicapa de la membrana se caracterizan por...
- I. tener una parte hidrofílica y otra hidrofóbica.
  - II. ser derivados del colesterol.
  - III. representar el 30% de los componentes de la membrana.
- b) ¿Qué propiedad tiene la membrana plasmática que está relacionada con la comunicación intercelular?
- I. Es una bicapa.
  - II. Tiene permeabilidad selectiva.
  - III. Posee colesterol.

### Relacioná

19. Justificá la siguiente afirmación: Un mensajero químico puede regular su propia actividad sobre la célula blanco.

20. Leé y analizá el siguiente texto y resolvé las consignas.

El cólera puede ser una enfermedad mortal. Produce una diarrea acuosa muy importante, pudiendo provocar la muerte por deshidratación. La toxina que produce la bacteria que lo causa, el vibrión cólerico, modifica a las proteínas G de las células epiteliales del intestino de modo que quedan activadas en forma constante. El resultado es una elevación del AMP cíclico intracelular. Este estímulo una bomba que vucla iones cloruro hacia la luz del intestino, y con ellos salen de las células iones sodio y agua. Este flujo de iones y agua produce la diarrea copiosa.

- a) Identificá el mensajero químico que produce esta respuesta celular.
- b) ¿Qué podés decir acerca de las características químicas del mensajero químico?
- c) Caracterizá el receptor que utiliza cuando se relaciona con las células intestinales.

- d) Identificá el segundo mensajero que se produce en esta respuesta.
- e) ¿Qué tipo de proteína diana creés que se ve afectada en este caso?

### Investigá

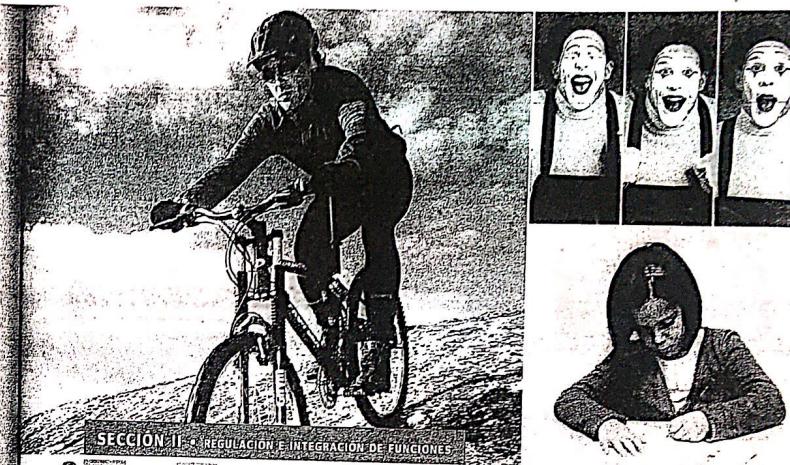
21. Buscá información sobre las propiedades químicas de los siguientes mensajeros químicos, y a partir de ella clasifícalos los receptores que poseen en intracelulares y de membrana.

- a) La hormona de crecimiento.  
b) La testosterona.  
c) El cortisol.

### Experimentá

22. Reúnete con tus compañeros para experimentar acerca de la respuesta celular, en este caso, de las células de elodea expuestas a la luz. Van a necesitar: una ramita de elodea, un frasco con agua, una lámpara, un cuchillo o cíter, dos portabjetos, dos cubreobjetos y un microscopio.

- 1.º Corten una hojita de elodea y colóquenla entre el portabjetos y el cubreobjetos cuidando que quede húmeda.  
2.º Obsérvenla con el microscopio. Distingan dentro de las células el núcleo y los cloroplastos (puntos verdes muy diminutos).  
3.º Pongan la ramita de elodea en el frasco con agua e iluminenla con la lámpara durante 20 minutos.  
4.º Corten una hojita bien verde y colóquenla entre otro portabjetos y cubreobjetos. Obsérvenla al microscopio buscando diferencias con la observación anterior.
- a) ¿Qué diferencias observaron en cuanto a la actividad celular?  
b) ¿A qué tipo de estímulo fue sometida la célula de elodea?  
c) ¿A qué creen que obedece la respuesta observada?  
d) Investigan y hagan un pequeño informe acerca de los eventos que ocurren en la célula para producir la respuesta observada.



capítulo

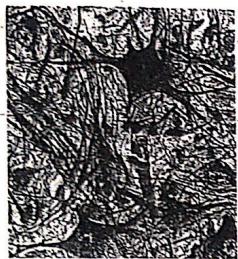
5

## Control nervioso en el ser humano

### Punto de partida

En una escuela, la maestra quiere que Luisa (una pequeña de seis años) sujete bien el lápiz y escriba las primeras letras. La docente ha notado también que la niña muestra dificultad para trabajar con la tijera y hacer con ella las manualidades que los otros niños realizan con facilidad. Suspecha que quizás la nena tenga problemas psicomotrices que podrían corregirse en sus primeros años en la escuela. En casa, la mamá de Luisa también quiere ayudar a su hija y, como notó que la niña intenta escribir con la "mano equivocada", la corrige y le pide que no use su mano izquierda.

- a) ¿Por qué algunas personas no pueden escribir con la mano derecha?  
b) ¿Se relacionará esto con el funcionamiento de su sistema nervioso?  
c) ¿Creés que este hecho repercute en el aprendizaje?  
d) Si Luisa fuese zurda, ¿cómo saberlo y ayudarla?  
e) Y vos, ¿qué harías en el lugar de la maestra de Luisa y en el de su mamá?



El principal componente del tejido nervioso es la neurona.

## Resuestas a los estímulos

En los capítulos anteriores estudiaste que los seres vivos tenemos la capacidad de percibir estímulos del medio externo y reaccionar de diferentes maneras; esta es la base de nuestro comportamiento. También sabés que reaccionamos ante variaciones del medio interno, y así mantenemos constantes las condiciones internas dentro de determinados límites.

Pensá en el ejemplo de la gacela que viste en el capítulo 1. Mientras bebe respondiendo a la necesidad de incorporar agua, sus sentidos le aportan información sobre cualquier señal de algún predador, lo que le permitirá huir y evitar ser devorada. Pero, en ese momento, también está incorporando oxígeno a través de su sistema respiratorio, y algunos músculos están contráidos y la mantienen en la postura adecuada para beber. Además de otras múltiples actividades que su organismo lleva a cabo, simultáneamente, a cada momento. Ahora bien, ¿cómo llega la información desde las células u órganos receptores hasta los órganos o partes del cuerpo que efectúan la respuesta? ¿Cuáles son los mecanismos que hacen posible que los organismos puedan responder al medio de manera coordinada y, en muchos casos, de manera muy rápida?

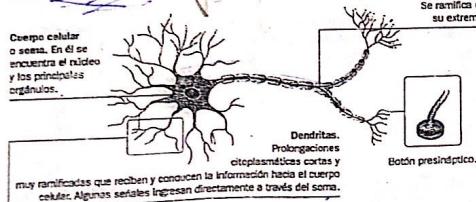
En los animales, los sistemas que se encargan de la relación y la coordinación son el **sistema nervioso** y el **sistema endocrino**. El sistema nervioso, del cual nos ocuparemos en este capítulo, controla la mayoría de las funciones vitales, tanto voluntarias como involuntarias; coordina el funcionamiento de las diferentes partes del cuerpo y permite la relación con el medio. Del sistema endocrino hablaremos en el capítulo 7.

### El tejido nervioso: las neuronas

El **tejido nervioso** es el principal componente del sistema nervioso. Está altamente especializado para realizar la conducción de la información, en forma de **impulso nervioso**, entre las diferentes partes del cuerpo. Como mencionamos, la función básica de este sistema es codificar la información recibida de los receptores, transmitirla y procesarla; como resultado se generará una respuesta.

En el sistema nervioso se destacan dos tipos de células: las neuronas y las células gliales o neuroglías. Las neuronas tienen la capacidad de comunicarse con precisión, rapidez y a larga distancia con otras células, ya sean nerviosas, musculares o glandulares. A través de las neuronas se transmiten señales eléctricas denominadas **impulso nervioso**. El impulso nervioso, en las neuronas de un organismo vivo, viaja desde el lugar donde se recibe el estímulo hacia el axón, y desde allí hacia la próxima neurona o un órgano efector.

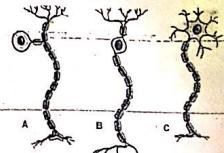
Si bien las neuronas pueden tener distintas formas y tamaños, todas tienen un **cuero neuronal** o soma y prolongaciones como podés observar en esta imagen de una neurona típica.



Las neuronas pueden clasificarse según su función. Las **neuronas aferentes** o **sensoriales** conducen la información que proviene del medio hacia los **centros de procesamiento de la información** (cerebro o ganglios nerviosos); las **eferentes** o **motoras** transmiten el impulso nervioso hasta las células de los órganos efectores (músculos o glándulas); y las **interneuronas** proporcionan conexiones entre las neuronas sensoriales y las neuronas motoras, al igual que entre ellas mismas formando complejas redes o circuitos neuronales. También, como podés observar en esta página, podemos clasificarlas teniendo en cuenta su forma.

### Células gliales

Analicemos ahora al conjunto de células del sistema nervioso que además de intervenir en el procesamiento de la información desempeñan, de manera general, la función de "soporte" de las neuronas. Son las **células gliales** o de la **glifa**. Los **astroctitos**, por ejemplo, se entrelazan alrededor de las neuronas formando una red de sostén, entre otras funciones; las **microglías** protegen al sistema nervioso central (ver en página 86) de enfermedades infecciosas debido a su capacidad de fagocitar; y los **oligodendrocitos**, que, junto con las **células de Schwann**, producen la vaina de mielina que envuelve los axones de ciertas neuronas.



Tipos de neuronas: A. Monopolar, con un solo axón. B. Bipolar, con dos prolongaciones, una de las cuales actúa como axón. C. Multipolar, con un único axón y muchas dendritas.

### Conoci

#### Cuerpo de la neurona

Cuando hablamos de **soma** (del griego *o* *pa*, cuerpo) nos referimos, en este caso, al cuerpo de la neurona. En general, en ciencias naturales, se define el **soma** como la totalidad de la materia corporal de un organismo vivo es decir, su cuerpo (a excepción de los gametos). Pero... ¿sabés que la palabra "soma" tiene otros significados? Si la usamos en femenino, la **soma** (que proviene del latín *summa*) es una especie de harina gruesa y tosca o pan hecho con esa harina. También se llama **soma** al jugo de una planta de la India que se bebe en ceremonias religiosas y el sepulcro de Alejandro Magno... ¿Habrá otros significados más de la palabra? Todo es cuestión de averiguar...

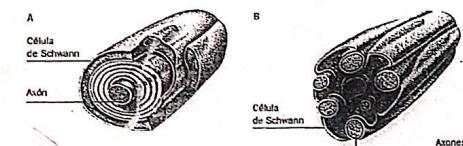
### Fibras, nervios, ganglios y centros nerviosos

Los axones de las neuronas del sistema nervioso periférico (ver en la página 90) están asociados a las **células de Schwann**, formando **fibras nerviosas** que pueden ser de dos tipos:

• **Fibras mielínicas**. Constituidas por un solo axón y varias células de Schwann que lo rodean, formando capas concéntricas (la vaina de mielina). Entre dos células de Schwann consecutivas existen estrangulamientos sin mielina llamados **nódulos de Ranvier**.

• **Fibras amielínicas**. Constituidas por varios axones que quedan recubiertos por evaginaciones de las células de Schwann, sin formar capas concéntricas.

Las fibras nerviosas se pueden agrupar constituyendo los **nervios**, que quedan protegidos por capas de tejido conjuntivo. Los cuerpos de las neuronas también pueden estar agrupados en estructuras denominadas **ganglios nerviosos**, que, junto con los nervios, forman el sistema nervioso periférico (que estudiarás más adelante). Cuando los cuerpos neuronales se asocian en el sistema nervioso central de los vertebrados, originan los **centros nerviosos**.



Fibras nerviosas. A. Mielínica. B. Amielínica.

### Recordá

1. Elaborá una tabla que refleje las diferencias entre los diferentes tipos de células gliales.

2. ¿Cómo está formado un nervio?

### Investigá

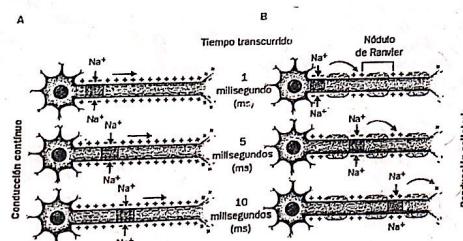
3. Hasta hace poco tiempo se creyó que ninguna neurona tenía la capacidad de división celular. ¿Esto también ocurrió con las células de la glifa? Investiga y escribe un breve informe.

## El impulso nervioso

Cuando una neurona recibe un estímulo, se genera un impulso que se transmite a través de su axón hacia las neuronas vecinas, hasta llegar a un órgano efector (como un músculo o una glándula). Para comprender cómo se genera un impulso nervioso, debemos considerar que la excitabilidad de las neuronas depende de la existencia de distintas concentraciones de iones a ambos lados de la membrana celular. En el exterior (líquido intersticial), los más abundantes son el  $\text{Cl}^-$  y el  $\text{Na}^+$ , mientras que en el interior (citoplasma) predominan las proteínas y el  $\text{K}^+$ . Este desequilibrio iónico se debe a que la membrana presenta permeabilidad selectiva, es decir, deja entrar algunos iones más fácilmente que otros.

1. En condiciones de reposo, la membrana de la neurona está polarizada, ya que el exterior es positivo respecto al interior. Se establece así una diferencia de potencial de reposo, de unos  $-70\text{ mV}$ .
2. Cuando la neurona recibe un estímulo, se altera la permeabilidad de su membrana, favoreciendo la entrada de  $\text{Na}^+$  (despolarización). Este cambio de voltaje afecta a ciertos canales de sodio cuya apertura depende del voltaje, y como consecuencia entra más sodio, lo cual, a su vez, despolariza más la célula. El pasaje es tan intenso que al llegar a un determinado valor de voltaje o umbral, el potencial de membrana cambia y se invierte: el exterior pasa a ser negativo y el interior positivo ( $+40\text{ mV}$ ), generándose un potencial de acción.
3. El potencial de acción que viaja a lo largo de la membrana plasmática de la neurona constituye el impulso nervioso. Es decir que se trata de ondas transitorias de inversión del voltaje que se originan en el lugar en donde se aplica el estímulo. Cada una de estas ondas corresponde a un potencial de acción.
4. Conforme se igualan las cargas, el flujo de  $\text{Na}^+$  decrece, mientras que el  $\text{K}^+$  sale de la célula para neutralizar la electronegatividad del exterior. Como la salida de  $\text{K}^+$  es mayor que la que se requiere para restablecer el potencial de reposo, la membrana queda con mayor electronegatividad en el interior (repolarización).
5. La propagación del impulso nervioso se produce gracias a la despolarización y repolarización de la membrana del axón; ello hace que el potencial de acción viaje a través de las regiones de la membrana.

- Transmisión del impulso nervioso:
1. Membrana neuronal con potencial de reposo.
  2. Tras un estímulo se crea un potencial de acción.
  3. Se produce el avance del potencial de acción por la membrana neuronal.
  4. A medida que el potencial avanza, las zonas anteriores se repolarizan.



Transmisión del impulso nervioso. A. En neuronas no mielínicas, el impulso nervioso se conduce como una onda continua de despolarización progresiva de las zonas de la membrana del axón. B. En neuronas mielínicas la conducción es saltatoria; el potencial de acción "salta" de un nódulo de Ranvier a otro, pues la mielina actúa como aislante.

Como te imaginarás, es muy importante que el impulso nervioso pueda recorrer una distancia considerable a lo largo de los axones sin perder intensidad. La despolarización de la membrana en un determinado punto activa la apertura de los canales de sodio en la zona inmediatamente posterior. Se inicia así la despolarización y el impulso sigue su viaje. A su vez, cuando el canal de sodio de una zona ya estimulada vuelve a cerrarse, queda inactivo, incapaz de volver a abrirse, por una fracción de segundo. Este tiempo se conoce como período refractario y asegura que el impulso nervioso no pueda volver hacia atrás y viaje siempre hacia el extremo del axón.

¿Y por qué no sentimos lo mismo cuando nos pinchamos con una aguja que cuando nos roza el pétalo de una flor? La magnitud del impulso nervioso es siempre la misma. Una vez alcanzado el umbral para la despolarización, el potencial de acción que se transmite es siempre igual. Sin embargo, el pinchazo de la aguja genera una mayor frecuencia de impulsos (el número de potenciales de acción transmitidos es mayor) que el roce de los pétalos y, por lo tanto, lo que percibimos tendrá mayor intensidad.

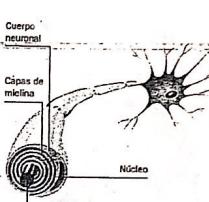
### Velocidad y dirección del impulso nervioso

La velocidad de propagación del impulso nervioso no depende de la fuerza del estímulo, sino del diámetro del axón y de que las neuronas involucradas sean mielínicas o no mielínicas.

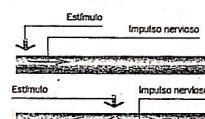
La velocidad será mayor cuanto mayor sea el diámetro del axón. Un ejemplo de esto ocurre en el calamar gigante, donde el axón de la neurona que controla la respuesta de evasión ante un depredador puede llegar a tener 1 mm de diámetro y permite una activación muy rápida del mecanismo de escape.

La velocidad de propagación será mayor en las neuronas que posean vaina de mielina que en axones sin mielina. En las fibras mielínicas los canales de sodio se encuentran concentrados en la zona de los nódulos de Ranvier y solamente allí ocurre la despolarización de la membrana, por lo que el impulso nervioso salta de un nódulo a otro a mucha mayor velocidad que cuando se transmite a lo largo de toda la membrana en las fibras no mielínicas.

En cuanto a la dirección, dijimos antes que el período refractario asegura que el impulso viaje siempre hacia el mismo lado. Cuando se transmite de una neurona al cuerpo de otra, sigue su camino hacia el axón y a lo largo de este hasta llegar a sus ramificaciones terminales y pasa a otra neurona. Pero si se estimula la parte media del axón, el impulso generado viaja en ambas direcciones: hacia el soma neuronal y hacia la terminación del axón. El impulso que llega al cuerpo se pierde, ya que no puede ser transmitido a otras neuronas, en cambio el que llega a las ramificaciones terminales se transmite a la neurona siguiente (solo en esa dirección) mediante un mecanismo que estudiaremos en la página siguiente.



La vaina de mielina que recubre los axones de algunas neuronas permite una transmisión más rápida del impulso nervioso.



El impulso nervioso solo pasa de una neurona a otra en las sinapsis, pero en el axón es capaz de viajar en un sentido u otro, según dónde se produzca la estimulación.

### Recordá

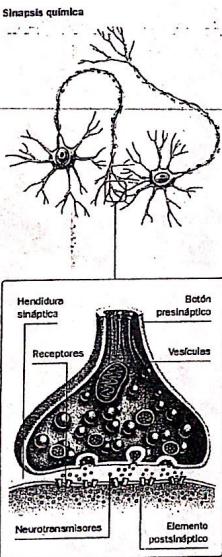
4. Elegí la o las opciones correctas:

- La conducción saltatoria del impulso nervioso presenta ventajas respecto a la conducción continua porque...
  - la neurona ahorra energía.
  - el impulso viaja más rápido.
  - no se requiere despolarización de la membrana.

### b) Respecto de las neuronas, podemos decir que...

- en general están formadas por un soma, las dendritas y un axón.
- todas tienen sus axones recubiertos de vainas de mielina.
- solo transmiten el impulso nervioso a otras neuronas.

## La sinapsis



### Sinapsis química

El impulso nervioso se transmite de una neurona a otra (o de una neurona a otra célula, como un receptor o un efecto) a través de sitios específicos de comunicación conocidos como sinapsis. De acuerdo con el mecanismo de la propagación, la sinapsis puede ser química o eléctrica.

### Sinapsis eléctrica

En la sinapsis eléctrica no existe una unión entre las neuronas o entre la neurona y el órgano efecto. Un pequeño espacio separa las membranas y la transmisión ocurre gracias al auxilio de sustancias químicas llamadas neurotransmisores. La transmisión del impulso es unidireccional, puede ocurrir solo en una dirección.

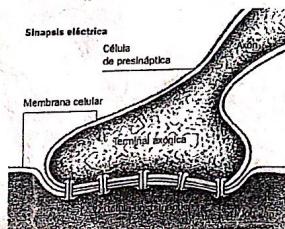
En este tipo de sinapsis se pueden distinguir tres elementos:

- Elemento presináptico. Pertenece a la célula de la que procede el impulso nervioso. Se trata del extremo terminal de un axón, que recibe el nombre de botón presináptico, el cual está repleto de vesículas que contienen los neurotransmisores.
- Hendidura sináptica. Es el espacio que separa ambas neuronas. Cuando el impulso nervioso llega al botón terminal del axón, los neurotransmisores se liberan en la hendidura sináptica, llegando así al elemento postsináptico. Para que se realice la descarga de neurotransmisores, es necesaria la presencia de iones de calcio y magnesio. Los neurotransmisores liberados se unen a receptores específicos de la membrana del elemento postsináptico.
- Elemento postsináptico. Pertenece a la célula que recibe el impulso nervioso. Puede ser otra neurona o un órgano efecto, por ejemplo, un músculo. Cuando los neurotransmisores llegan a la membrana del elemento postsináptico, se unen a unas proteínas receptoras que hacen que se genere un nuevo impulso nervioso.

### Sinapsis eléctrica

En la sinapsis eléctrica el impulso nervioso pasa directamente de una neurona a otra a través de canales proteicos (las uniones gap que vimos en el capítulo 4). La despolarización de la neurona presináptica provoca la apertura de los canales iónicos de la membrana de la neurona postsináptica, generando un potencial de acción. La transmisión rápida del impulso nervioso permite respuestas inmediatas. Es el tipo de sinapsis más común en invertebrados y vertebrados inferiores, pero en el ser humano se presenta, por ejemplo, en la retina, en el corazón y en el tubo digestivo, donde se producen contracciones musculares rítmicas.

Las sinapsis eléctricas son bidireccionales, por eso la despolarización se puede transmitir en ambos sentidos.



### Neurotransmisores

Como acabamos de ver, en las sinapsis químicas se requiere la presencia de neurotransmisores que permitan el pasaje del impulso nervioso a través de la brecha existente entre las neuronas. Estas sustancias pertenecen a diversos grupos desde el punto de vista químico y son de tamaño muy variable. Son sintetizadas por las neuronas y se almacenan en vesículas que, en estado de reposo, se encuentran en el botón presináptico. Muchas neuronas sintetizan dos o más neurotransmisores diferentes y, a su vez, la neurona postsináptica presenta los receptores adecuados para estos mensajeros químicos.

Los neurotransmisores pueden tener diversos efectos sobre la membrana postsináptica. En algunos casos producen un efecto excitatorio al producir la entrada de iones sodio positivos ( $Na^+$ ), con lo que la membrana se despolariza y el impulso se sigue transmitiendo. En otros casos el neurotransmisor tiene efecto inhibitorio, produce la entrada de iones negativos ( $Cl^-$ ) y/o la salida de iones potasio positivos ( $K^+$ ), se incrementa el potencial de reposo (hiperpolarización), no se dispara un nuevo impulso nervioso y el efecto es inhibitorio. Un mismo neurotransmisor puede causar ambos efectos, dependiendo de las neuronas involucradas y de los receptores postsinápticos que participan.

En el sistema nervioso se produce una gran cantidad de neurotransmisores. Algunos de los más comunes son:

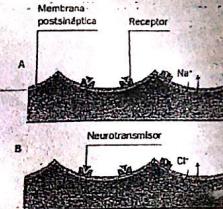
- Acetilcolina: es liberada por neuronas del cerebro, del sistema nervioso autónomo y principalmente por las neuronas motoras, en su acción sobre las fibras musculares. En este caso estimula la apertura de los canales de sodio en el músculo, causando la despolarización y contracción. El exceso de acetilcolina se elimina mediante una enzima, la acetilcolinesterasa, que impide que siga actuando sobre los receptores.
- Epinefrina o adrenalina: se libera en el tálamo, en el hipotálamo y en la médula espinal. En general, tiene acción excitatoria.
- Norepinefrina: se libera en la médula espinal, en el cerebro y sobre todo en el sistema nervioso simpático. Una vez que actúa, su exceso vuelve a incorporarse al botón presináptico o bien se degrada por la enzima monoaminoxidasa (MAO).
- Dopamina: se libera en la corteza cerebral, el sistema límbico y el hipotálamo. Se relaciona con funciones motoras. Las alteraciones en su producción provocan la enfermedad de Parkinson.
- Ácido gamma-aminobutyrico (GABA): se produce en la médula espinal, en la corteza cerebral y en el cerebelo. Tiene acción inhibitoria.

### Relacioná

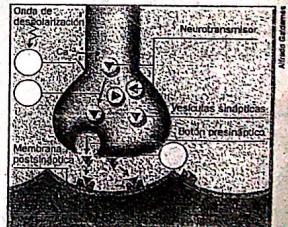
#### 5. Responde:

- a) ¿Qué cambios son necesarios para que se produzca un potencial de acción?
- b) ¿Qué tipo de conducción del impulso nervioso es más rápido?
- c) ¿Cuáles son los factores que determinan la velocidad del impulso nervioso?
- d) ¿En qué se parecen y en qué se diferencian las sinapsis eléctrica y química?

6. Colocá un número en cada círculo para indicar el orden en que ocurren los acontecimientos durante la sinapsis química. Luego escribe en tu carpeta una breve explicación para cada etapa numerada.



Efecto de los neurotransmisores. A. Efecto excitatorio. B. Efecto inhibitorio.



## El sistema nervioso central

Como ya vimos, el **tejido nervioso** es el principal componente del sistema nervioso y en él se destacan dos tipos de células: las neuronas y las células gliales o neuroglías. Ahora bien, ¿cómo se organizan estas células? ¿Cómo está constituido nuestro sistema nervioso?

Existen diferentes criterios para estudiarlo. Desde el punto de vista estructural o anatómico, se distinguen el sistema nervioso central (SNC) y el sistema nervioso periférico (SNP).

El sistema nervioso central (SNC) es el que nos confiere la capacidad de pensar y contestar una pregunta, es decir, la capacidad de procesar información, la de crear un cuadro, una escultura o una poesía, o la de responder a los clientes de estímulos del medio interno o externo, de manera voluntaria o involuntaria. En otras palabras, se encarga de analizar y procesar la información que llega de los receptores y de ordenar una respuesta adecuada para que la ejecuten los órganos efectores (músculos y glándulas).

El SNC está conformado por el **encéfalo** y la **médula espinal**, órganos que se encuentran protegidos en el interior del cráneo y de la columna vertebral respectivamente. A su vez, el tejido nervioso está aislado del hueso mediante tres membranas, llamadas **meninges**, que sirven de protección: la interna o **piamadre**, la media o **aracnoides**, y la externa o **duramadre**; entre las dos primeras se encuentra el **líquido cefalorraquídeo**, que actúa como "amortiguador" frente a golpes que podrían ocasionar daños en el cerebro o en la médula espinal; también transporta sustancias y participa en el intercambio de nutrientes y desechos.

En la médula espinal existe un espacio, ubicado entre la duramadre y el hueso vertebral, llamado **espacio epidural**.

En todo el sistema, tanto en el encéfalo como en la médula, se visualizan dos tipos de sustancias. La **sustancia gris** está formada por los cuerpos de las neuronas y los axones que no contienen mielina, mientras que la **sustancia blanca** está formada por los axones con mielina.

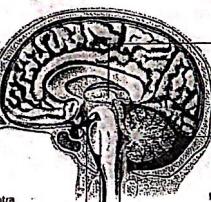
### El encéfalo

El encéfalo controla el funcionamiento del cuerpo. Realiza un control voluntario e involuntario. Está compuesto por el cerebro, el hipotálamo, el tálamo, el cerebelo y el bulbo raquídeo. El sistema límbico, formado por varias estructuras incluidas en estas regiones, está relacionado con las emociones y la conducta.

**Tálamo.** Es el encargado de recibir y filtrar la información sensorial (como dolor, temperatura y presión), para prestar atención solo a lo importante y actuar rápidamente.

**Cerebelo.** Controla funciones involuntarias imprescindibles para la vida. Mantiene el equilibrio y la coordinación de movimientos voluntarios. Controla la postura corporal y recibe información de los ojos y los oídos.

**Bulbo raquídeo.** Controla funciones vitales, como el latido del corazón, la respiración, la deglución, la dilatación y la contracción de vasos sanguíneos, etc. Es el centro de control de todos los procesos involuntarios relacionados con el funcionamiento del cuerpo.



**Cerebro.** Controla funciones voluntarias. En él se procesan y elaboran órdenes motoras voluntarias. Es responsable el lenguaje, la creatividad, la voluntad, la memoria, el pensamiento y la interpretación.

**Hipotálamo.** Controla funciones involuntarias, como la ingestión de alimentos, la temperatura corporal y la presión sanguínea. Contribuye a la regulación de la contracción de los músculos liso y cardíaco, así como la secreción de muchas glándulas. En él se encuentra el centro del apetito, responsable de las sensaciones de hambre y sed. Contribuye también a mantener los estados de vigilia y los patrones de sueño.

### El cerebro

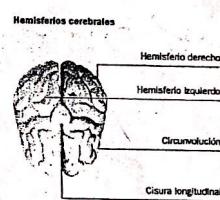
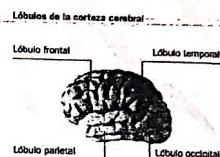
El cerebro es la parte más grande del encéfalo; se compone de dos hemisferios (izquierdo y derecho), los cuales están separados por un surco profundo en la línea media: la cisura longitudinal del cerebro. En la profundidad de la cisura, una gran comisura, el **cuerpo calloso**, conecta los dos hemisferios.

En los seres humanos, el cerebro es una estructura altamente especializada y compleja. ¿Por qué es tan importante? Porque es el lugar de nuestro cuerpo donde se generan procesos tales como el pensamiento, la memoria, las emociones y la conciencia. Pero además, a través de él, podemos percibir y comprender la información que nos llega del ambiente externo, es decir, captar estímulos y crear respuestas. Su funcionamiento es esencial para la integración y el control de múltiples actividades fisiológicas que ocurren en el organismo.

En la capa más externa del cerebro, la **corteza**, es donde se desarrolla la mayor actividad cerebral. Está formada por sustancia gris y es el lugar donde se recibe la información sensorial, se procesa y se elabora la respuesta motora voluntaria en cada caso. El área de la superficie de la corteza cerebral está incrementada al máximo, debido a que la superficie de cada hemisferio forma pliegues o circunvoluciones que están separados por surcos o cisuras. Con el fin de facilitar la descripción, se acostumbra a dividir el cerebro –basándose en los surcos– en lóbulos, que se denominan de acuerdo con los huesos craneanos debajo de los cuales se ubican: frontal, parietal, temporal y occipital.

Si bien en ambos hemisferios las circunvoluciones y las cisuras de la corteza cerebral son casi idénticas, ciertas actividades nerviosas son realizadas predominantemente por uno de los dos hemisferios cerebrales.

La destreza manual, la percepción del lenguaje y el habla están controlados por el hemisferio dominante (en el 90% de la población, el izquierdo), que controla el lado derecho del cuerpo. Por el contrario, la percepción espacial, el reconocimiento de las caras y la música son controlados por el no-dominante (hemisferio derecho), que rige el lado izquierdo del cuerpo. La mitad izquierda del cerebro controla el lado derecho del cuerpo y viceversa, porque las fibras se cruzan, algunas en el encéfalo y otras en la médula. Las personas zurdas responden a una estructura cerebral determinada y se considera que no puede ni debe forzarse a que se desempeñen como diestras.



### Investigá

9. Ser zurdo o diestro no depende únicamente de qué mano empleamos para escribir o con qué pie jugamos al fútbol. El cuerpo muestra la preferencia por un lado, conocido como "lado dominante", en muchos de sus actos. Llena una tabla como ésta para reconocer cuál es tu lado dominante:

Actividad	Lado dominante
Coser ropa	Lado dominante
Coser ropa	Lado dominante
Cepillarse los dientes	Lado dominante
Cepillarse los dientes	Lado dominante
Patinar una pista	Lado dominante

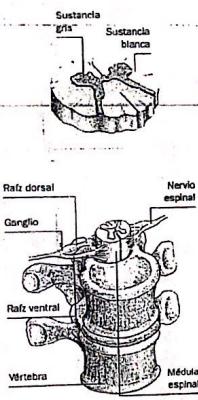
### Recordá

#### 7. Responde:

- a) ¿Qué partes del encéfalo controlan las actividades involuntarias y cuáles las voluntarias?  
b) ¿Qué partes del cerebro trabajan coordinando algunas funciones en común?

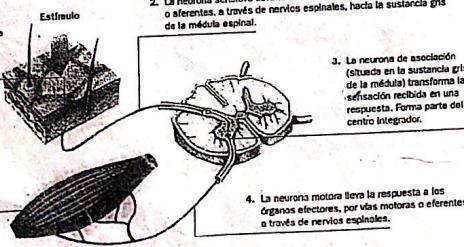
### Resolvé

8. a) Si una persona sufre una lesión en el cerebelo, ¿cuáles serían los posibles síntomas?  
b) ¿Cuál es la relación entre el hemisferio dominante y el lado dominante del cuerpo?

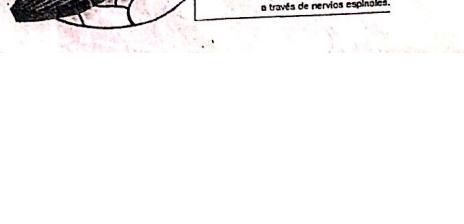


En la médula espinal la sustancia gris (agrupación de cuerpos celulares) es interna y la sustancia blanca (agrupación de axones con mielina) es externa.

1. El órgano receptor recibe el estímulo del exterior. Corresponden las dendritas de una neurona sensitiva o una estructura asociada, que detecta un estímulo específico desencadenando uno o más impulsos nerviosos.



5. El órgano efector, que puede ser un músculo o una glándula, ejecuta la respuesta.



### La médula espinal

La médula espinal se extiende desde la base del cráneo hasta la segunda vértebra lumbar. Se encuentra protegida por las meninges dentro del canal vertebral. Observa la ilustración de esta página: de cada lado de la médula parten 31 pares de nervios espinales; cada uno de ellos tiene una raíz dorsal o aferente (formada por fibras sensitivas) y otra ventral o eferente (formada por fibras motoras). Sobre la raíz dorsal se encuentra un ganglio. Las dos raíces se unen para formar el tronco principal del nervio espinal, de donde parten varias ramas (con fibras nerviosas y sensitivas) que se dirigen a distintos lugares del cuerpo.

La médula espinal tiene dos funciones principales:

- Transmite la información que llega desde los nervios periféricos, procedentes de distintas regiones del cuerpo por vías aferentes, hasta los centros superiores del encéfalo. También transmite impulsos a los músculos y a las glándulas a través de los nervios eferentes, como respuesta a un estímulo recibido o a señales procedentes de los centros encefálicos.
- Es el centro de los actos reflejos, en los que no interviene el cerebro ni la voluntad.

### El acto reflejo

Los actos reflejos son respuestas involuntarias y se realizan de manera inconsciente. Son respuestas muy rápidas y ayudan a mantener las condiciones del medio interno dentro de rangos normales. Pecemos entonces que corresponden a reacciones automáticas. ¿Se te ocurre algún ejemplo? Podría ser cuando recibimos un pinchazo y retiramos rápidamente la mano o cuando, ante un ruido muy fuerte, nos tapamos los oídos o giramos la cabeza y, por qué no, cuando escuchamos esa canción que nos trae algún recuerdo y nos acelera el corazón.

Los actos reflejos pueden ser incondicionados (presentes desde el nacimiento). Por ejemplo, el reflejo pupilar. Pero también hay actos reflejos condicionados (aprendidos durante la vida de un individuo); por ejemplo, manejar bicicleta sin perder el equilibrio o el control de esfínteres.

En los actos reflejos, participan la médula espinal y otros centros nerviosos, pero no el cerebro. El circuito neuronal que desarrolla un acto reflejo se denomina arco reflejo, el cual se observa en el dibujo. Tené en cuenta que este circuito constituye la unidad básica de la actividad nerviosa integrada. Por qué? Porque en él se pueden encontrar todos los elementos básicos de la función del sistema nervioso, como vemos a continuación:

### Los actos voluntarios

Los actos voluntarios son aquellos que se realizan con la participación de los centros nerviosos de la corteza cerebral; por lo tanto, son conscientes y más elaborados que los actos reflejos.

El circuito neuronal que posibilita esta respuesta se denomina arco voluntario, el cual se observa en la imagen.

1. El órgano receptor capta un estímulo.

2. La neurona sensitiva transmite el estímulo, que entra por la raíz posterior de los nervios periféricos hasta las estaciones posteriores de la médula espinal.

7. Luego hace sinapsis con una neurona motora de las estaciones anteriores, que envía la respuesta por las raíces anteriores del nervio espinal hacia el efecto.

### Recordá

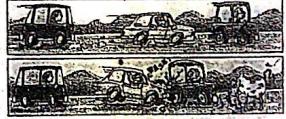
10. Indicá si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F).
- En un acto voluntario, el cerebro da respuesta al estímulo.
  - Esquivar un objeto es un acto reflejo incondicionado.
  - Respirar es un acto reflejo condicionado.
  - El arco reflejo es el circuito neuronal más simple.

### Relacioná

11. Respondé:
- ¿Por qué se considera que los actos reflejos son importantes para nuestra supervivencia? Explicá tu respuesta con ejemplos.
  - ¿Por qué un golpe en la espalda o una fuerte caída podrían producir la pérdida de movilidad de las extremidades inferiores?

### Resolvé

12. En grupos, observen estas imágenes y respondan:



- ¿Qué ocurrió en el caso de los tres conductores?
- Frenar con el auto es un acto reflejo o voluntario? Justifiquen.
- Observen la distancia que separa los autos y establezcan una relación con lo sucedido.
- ¿Cómo se relacionan la "distancia de frenado" con el "tiempo de reacción" cuando un conductor debe tomar una decisión?

## El sistema nervioso periférico

El sistema nervioso periférico (SNP) es la parte del sistema nervioso que relaciona los órganos efectores y receptores con los centros del sistema nervioso central. Está constituido por los ganglios nerviosos y los nervios, la agrupación de cuerpos neuronales y axones respectivamente, que se extienden fuera del sistema nervioso central. Es fundamental en la transmisión de la información que proveen los órganos sensitivos y de las respuestas motoras voluntarias e involuntarias que esta información desencadena en el SNC.

Se acostumbra clasificar los nervios de acuerdo con la región del sistema nervioso central a la cual se encuentran conectados. En el ser humano, se los divide en dos grupos: los nervios craneales y los nervios espinales.

- **Nervios craneales.** Son 12 pares que salen de la parte ventral del encéfalo y se dirigen a los tejidos y los órganos que se encuentran en la cabeza y el cuello. Controlan el movimiento de los músculos en el rostro. Algunos nervios son sensitivos, otros motores y otros mixtos. Se indican con números romanos.
- **Nervios espinales.** Están organizados en 31 pares (8 cervicales, 12 dorsales, 5 lumbares y 6 sacros) que parten de la médula espinal y van respectivamente hacia el pecho, el abdomen y las extremidades. Controlan la mayoría de los músculos esqueléticos. Son nervios mixtos (formados por neuronas sensitivas y neuronas motoras) que inervan tanto receptores como efectores de diferentes zonas del cuerpo.

De acuerdo con su funcionamiento, el SNP se puede dividir en dos: el sistema nervioso somático, que controla las acciones voluntarias, y el sistema nervioso autónomo, que dirige las acciones o movimientos involuntarios.

### El sistema nervioso somático

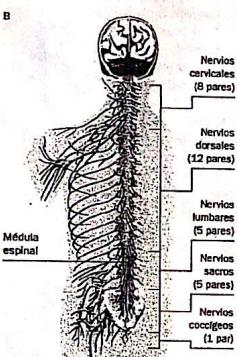
El sistema nervioso somático (SNS) está formado por neuronas que llevan información desde las unidades sensitivas, como los órganos de los sentidos, hasta el SNC, y por neuronas que conducen información desde el SNC hasta el sistema muscular esquelético. Se encarga de la relación con el medio externo, y puede responder a los cambios que en él se producen. Como el accionar de los músculos esqueléticos puede ser controlado conscientemente, se considera al SNS como voluntario.

Las neuronas motoras del sistema somático son distintas y están separadas de las neuronas del sistema nervioso autónomo, aunque sus axones forman parte del mismo nervio periférico. Sus cuerpos celulares se encuentran dentro de los centros del sistema nervioso central, y sus axones son lo suficientemente largos como para conectar con los músculos esqueléticos de forma directa.

### El sistema nervioso autónomo

El sistema nervioso autónomo (SNA) está formado por neuronas que llevan información desde los componentes sensitivos (receptores), ubicados fundamentalmente en las vísceras, hasta el SNC, y por neuronas que conducen información desde el SNC hasta los músculos lisos, como los del sistema digestivo, el músculo cardíaco y las glándulas. Como la contracción de estos músculos y glándulas no es consciente, se considera al SNA como involuntario. Sus nervios motores controlan los latidos del corazón, el diámetro de los vasos sanguíneos, la secreción de las glándulas, las funciones excretoras y digestivas, etc. Los centros de control se localizan en el hipotálamo, el bulbo raquídeo y la médula.

Por sus funciones, se pueden reconocer dos subsistemas: el sistema nervioso autónomo simpático y el sistema nervioso autónomo parasimpático.



Distribución de los nervios: A. Craneales y B. Espinales.

Los órganos están inervados por fibras de ambos subsistemas. Los dos componentes realizan funciones antagonistas. Lo que hace que los órganos funcionen correctamente es el equilibrio en la actividad de ambos. El simpático actúa en situaciones de alerta o alarma y frente a condiciones adversas para el organismo aumentando el gasto energético. El parasimpático actúa relajando y recuperando las condiciones normales disminuyendo el gasto energético.

Si volvemos al ejemplo de la gacela y su reacción de huida ante un peligro podemos comprender mejor cómo funcionan estos subsistemas. En los seres humanos este tipo de reacción se produce ante situaciones de miedo y estrés.

Cuando un animal o una persona enfrentan una situación de peligro, se preparan para huir o luchar, lo cual implica entre otras cosas una actividad muscular intensa; aumentan las frecuencias respiratoria y cardíaca, los vasos sanguíneos de la piel y de otras zonas se contraen con lo que fluye más sangre al corazón y se eleva la presión sanguínea (se manifiesta con la palidez de la piel), las pupilas se dilatan, disminuyen los movimientos del tubo digestivo y se liberan a la sangre grandes cantidades de glucosa procedente del hígado, que aporta energía para el movimiento de los músculos. Todas estas reacciones se deben a la acción del sistema nervioso simpático.

Cuando pasa la situación de peligro entra en acción el sistema nervioso parasimpático para restablecer el equilibrio del organismo: las frecuencias cardíacas y respiratorias bajan, los vasos sanguíneos se dilatan y baja la presión sanguínea, las pupilas se contraen, aumentan los movimientos del tubo digestivo y la secreción de las glándulas digestivas y salivales.

### Sistema parasimpático

#### Contracción de la pupila

Estimulación de la secreción salival

#### Disminución del ritmo cardíaco

#### Constricción bronquial

Aumento de la movilidad gástrica

#### Inhibición de la liberación de glucosa

#### Inhibición de secreción de adrenalina

#### Contracción de la vejiga urinaria

Contracción del ano

### Sistema simpático

#### Dilatación de la pupila

Inhibición de la secreción salival

#### Aumento del ritmo cardíaco

#### Dilatación bronquial

Inhibición de la movilidad gástrica

#### Estimulación de la liberación de glucosa

#### Estimulación de la secreción de adrenalina

#### Relajación de la vejiga urinaria

#### Relajación del ano

- Relaciona**
13. En un estado de miedo o de angustia, ¿qué ocurriría con la secreción de las glándulas salivales? ¿Qué sistema la controla?

14. Si todos somos conscientes de que nuestro corazón late y podemos notar si lo hace de forma acelerada, ¿por qué el control del ritmo cardíaco es inconsciente?

15. Observa la figura de los sistemas nerviosos simpático y parasimpático: ¿por qué el sistema nervioso simpático aumenta el gasto energético del cuerpo? ¿Cuáles son los principales órganos que participan en esta acción?

## La actividad cerebral

Al estudiar un órgano tan complejo como el cerebro, se ha podido determinar que en él existe una división del trabajo: distintas partes de la corteza cerebral desempeñan funciones específicas.

Como ya vimos, el cerebro presenta surcos o cisuras que dividen cada hemisferio en lóbulos. En cada lóbulo, a la vez, se identifican áreas relacionadas con alguna función corporal. Se clasifican en tres grupos:

- **Áreas sensoriales primarias.** Son zonas del cerebro que contienen neuronas sensoriales, las cuales reciben la información de los receptores y conducen los impulsos hacia las áreas de asociación (donde se interpreta dicha información). Es en ellas donde se producen las sensaciones.
  - **Áreas motrices.** Controlan los movimientos musculares voluntarios y, junto con el cerebelo, regulan la contracción coordinada de varios músculos.
  - **Áreas de asociación.** Son regiones de la corteza cerebral que integran la información sensorial con la motora. Sus funciones se relacionan con el razonamiento, el aprendizaje y el lenguaje.
- En el lóbulo parietal se encuentra el área del tacto, que recibe la información desde los receptores sensoriales ubicados en la piel y en las articulaciones.
- En el lóbulo occipital está el área visual, que recibe información proveniente de los ojos. Una vez integrada y procesada, se elaboran las respuestas visuales.
- En el lóbulo temporal se encuentra el área auditiva, que recibe información de los oídos. En el mismo lóbulo se encuentran centros relacionados con las emociones, la memoria y el comportamiento.
- En el lóbulo frontal se encuentra el área motora primaria, que controla el movimiento voluntario de los músculos, y el área de Broca, relacionada directamente con la formación de las palabras. Las personas que sufren una lesión en esa zona, ubicada en el hemisferio izquierdo, no pueden articular bien el habla.

### Aprendizaje y memoria

Cada neurona del cerebro puede conectarse con decenas de otras neuronas y modificar sus conexiones neuronales en respuesta a la experiencia, un rasgo esencial para el aprendizaje. Este último se define como el cambio de comportamiento basado en la experiencia y en la práctica.

Diversas investigaciones demostraron que al practicar una tarea se favorece la creación de nuevas conexiones neuronales. De esta manera, se optimiza el circuito cerebral. Si mediante el aprendizaje se adquieren conocimientos sobre diferentes aspectos, la memoria es la retención de dicho conocimiento y su recuperación para utilizarlo en un momento determinado. Muchas especies animales tienen ambas capacidades pero estas alcanzan su máximo desarrollo en la especie humana.

El sueño no solo es importante en la reparación del sistema nervioso, sino que estudios recientes indican que los tiempos de descanso ayudan a consolidar la memoria y la función cognitiva.



### Resolvé

16. Una de las formas de mejorar la memoria es la técnica de cadena, que consiste en relacionar las palabras -que tengan un significado fundamental y que se encuentran lógicamente organizadas- dentro de un resumen o esquema. Por ejemplo, se puede usar para recordar la primera línea de la tabla periódica de los elementos químicos. Un buen método es confeccionar una frase con la primera

o las primeras letras de cada uno de estos elementos; esta podría ser: "La BBC no funciona". Observa que se ha utilizado la L de litio (La), la B de berilio y boro, la C de carbono (BC), la N de nitrógeno y la O de oxígeno (no), la F de flúor y la N de neón (funciona). Ahora, utiliza esta técnica inventando un recurso para recordar los elementos de la segunda fila de la tabla periódica.

## Continuidad-versus-contigüidad

Desde que los seres humanos tomaron conciencia de sí mismos, comenzaron a preguntarse por el origen y el lugar de residencia de los pensamientos y los sentimientos. En la antigua Grecia, Galeno afirmaba que el cerebro era la sede de esas funciones superiores. Recién en el siglo xvi, Andrés Vesalio tuvo oportunidad de realizar estudios anatómicos más avanzados, por medio de disecciones, que echaron luz sobre buena parte de la anatomía humana y también sobre la estructura del cerebro y de los nervios. Este médico belga profundizó y en muchos casos modificó las enseñanzas de Galeno, vigentes durante 1500 años. Confidó más en sus observaciones que en las ideas impuestas.

● ¿Te habría gustado ser alumno de Vesalio? ¿Por qué?

● Investiga qué otros cambios se produjeron en los conocimientos científicos durante el Renacimiento. ¿Crees que la época histórica influye en el trabajo científico?

Con la llegada del microscopio, a mediados del siglo xvi, se fueron obteniendo nuevas precisiones acerca del sistema nervioso. En la década de 1870, el médico italiano Camilo Golgi se dedicó al estudio profundo de la estructura del sistema nervioso. Desarrolló un nuevo método de coloración a base de nitrato de plata con el que pudo observar neuronas individuales completas con mucha mayor claridad. Esto permitió que él y muchos otros investigadores fueran desentrañando este laberinto. Cada uno realizó sus aportes pero no todos llegaron a las mismas conclusiones.

● ¿Qué importancia crees que tiene el desarrollo de la tecnología en el avance científico?

● Comenta esta frase: "Un científico trabajando en forma aislada, con el auxilio de la mejor tecnología, puede lograr por sí mismo avances extraordinarios para la ciencia".

Entre Golgi y el médico e investigador español Santiago Ramón y Cajal se estableció una polémica que polarizó el mundo de las investigaciones sobre el sistema nervioso por bastante tiempo. Basándose en sus observaciones, Golgi sostendrá que las neuronas se unían entre sí a través de sus prolongaciones formando una red, de modo que los impulsos nerviosos se propagarían en todas direcciones de unas neuronas a otras (teoría reticularista). Por su parte Ramón y Cajal, que usó y perfeccionó la tinción de Golgi, declaraba que él nunca había podido observar una unión entre los apéndices neuronales, que las neuronas son independientes entre sí y que el impulso nervioso viaja a través de una pequeña brecha entre el terminal de una neurona y el de otra, siguiendo caminos bien definidos (teoría neurista). Según su punto de vista, las neuronas no conformaban un tejido continuo sino contigo (una neurona junto a otra sin unirse entre sí). Aunque nunca pudo observar esta brecha con un microscopio óptico, único tipo de microscopio disponible en esa época, dedujo su existencia del estudio de las terminaciones nerviosas.

Golgi nunca aceptó que su teoría pudiera estar equivocada aunque la mayoría de los investigadores fueron aceptando la idea de Cajal, que solo pudo confirmarse totalmente con la invención del microscopio electrónico en la década de 1950. [Las sinapsis realmente existen]

En 1906 ambos científicos recibieron el premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus aportes en el tema, y en sus discursos, en especial en el de Golgi, se manifiesta aún la virulencia de su enfrentamiento.

● Si en los primeros años del siglo xx hubiera decidido realizar una pasantía por un laboratorio científico con el fin de explorar el trabajo de los investigadores y probar tus propias inclinaciones para el futuro, ¿habrías preferido trabajar en el equipo de Camilo Golgi o en el de Santiago Ramón y Cajal? ¿Por qué?

## Afecciones del sistema nervioso

Como el resto de nuestro organismo, el sistema nervioso puede sufrir enfermedades, ya sea por fallas en su funcionamiento o por la acción de agentes externos. Veamos algunos ejemplos:

- **Epilepsia.** Es la enfermedad neurológica más frecuente en adultos jóvenes. Se trata de un síndrome cerebral crónico, caracterizado por una descarga excesiva de impulsos nerviosos de las neuronas cerebrales, lo que ocasiona convulsiones y cambios en las sensaciones. Puede presentarse por diversas causas: lesiones cerebrales por golpes, secuelas de meningo o tumores. También puede ser un mal congénito (de nacimiento). La zona afectada está situada en la corteza cerebral.
- **Enfermedades neurodegenerativas.** Son aquellas debidas a la degradación progresiva de las neuronas. Por ejemplo, la enfermedad de Alzheimer comienza afectando la memoria y lleva al paciente a la invalidez total en un lapso variable. En estas personas, generalmente mayores de sesenta y cinco años, se producen lesiones y posterior destrucción de neuronas en regiones crecientes del cerebro. Los afectados presentan dificultad para reconocer a las personas, tienen problemas para nombrar las cosas, pierden la capacidad de hablar, abandonan el cuidado personal y sufren desorientación.
- **Enfermedades cerebrovasculares.** Son alteraciones del flujo sanguíneo al cerebro. En consecuencia, puede producirse la muerte de ciertas zonas cerebrales y, por tanto, la pérdida de las funciones que realizan esas zonas. Entre estas enfermedades están las embolias (que se producen por la presencia de un coágulo sanguíneo), los derrames y los infartos cerebrales.
- **Enfermedades Infecciosas.** Diversos tipos de virus y bacterias pueden infectar las meninges y causar una meningitis. Si el encéfalo se ve también afectado, se habla de una encefalitis. Los síntomas dependen de la región afectada e incluyen fiebre, dolor de cabeza, náuseas, vómitos y rigidez en la nuca. En algunos casos, en especial si no se trata rápidamente, puede provocar efectos permanentes debido a la presión que ejercen las meninges inflamadas sobre el sistema nervioso central.

### Las drogas y el sistema nervioso

Existen múltiples sustancias o drogas que, al ser incorporadas al organismo, pueden actuar sobre el sistema nervioso central modificando la conducta, la percepción, el juicio y las funciones del organismo. De acuerdo con el tipo de efecto que producen, estas drogas llamadas psicótropicas pueden ser estimulantes (acestan la actividad cerebral, como las anfetaminas y la cocaína), depresoras (disminuyen los reflejos y producen sueño, como el alcohol, los tranquilizantes y los opiáceos) o perturbadoras (distorsionan la percepción, como los solventes y el éxtasis).

Cuando hablamos de abuso de drogas nos referimos al consumo excesivo y periódico de estas sustancias (con fines terapéuticos) que puede dar lugar a una forma de adicción. La drogadicción o adicción a las drogas es un estado de alteración provocado por el consumo repetido y periódico de drogas psicótropicas.

### Drogas y circuitos de recompensa

Como vimos en páginas anteriores, el impulso nervioso se transmite de una neurona a otra por medio de sustancias químicas: los neurotransmisores, como la acetilcolina, la dopamina y la serotonina. Según su naturaleza, las drogas afectan la función de los neurotransmisores naturales de diferentes formas.

Veamos algunos ejemplos que se ilustran en la imagen de la derecha.

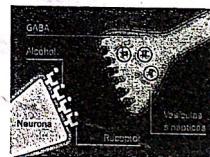
- Intensifican o disminuyen la producción de neurotransmisores. La cocaína, por ejemplo, aumenta la presencia de dopamina en la sinapsis, y el éxtasis, la de serotonina (1).
- Alteran la función de las proteínas que destruyen los neurotransmisores interrumpiendo su acción (2).
- Interfieren en la reabsorción de los neurotransmisores (3).
- Imitan y substituyen a los neurotransmisores. La morfina, por ejemplo, se instala en los receptores del neurotransmisor endorfina, y la nicotina, en los receptores de acetilcolina (4).
- Inhiben la producción de los neurotransmisores (5).

Los circuitos de recompensa son centros del sistema nervioso central regulados por neurotransmisores, que permiten que el individuo desarrolle conductas aprendidas en respuesta a hechos placenteros o de desagrado.

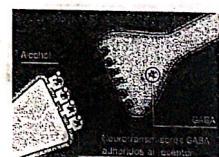
Las drogas adictivas actúan sobre los circuitos de recompensa sustituyendo a los neurotransmisores naturales. Independientemente de su mecanismo de acción, aumentan la biodisponibilidad de dopamina. Las altas cantidades de dopamina estimulan el centro de refuerzo del cerebro, en el que se producen sentimientos placenteros y sensaciones de bienestar. Por ello, a largo plazo, el consumo de drogas provoca cambios adaptativos que implican alteraciones en el ámbito de las conexiones sinápticas, de la neurotransmisión y de sus moléculas, creando así la dependencia física y psicológica.

### Efectos del alcohol sobre el sistema nervioso

El alcohol actúa modificando la acción de dos neurotransmisores: GABA y glutamato. Por un lado, aumenta la acción inhibitoria del GABA y, por otro, impide la unión del glutamato a sus receptores, con lo que no puede llevar a cabo su acción estimulante sobre las células nerviosas. Ambas acciones provocan una sensación de calma y relajación.



El alcohol se adhiere al receptor de GABA en una zona no específica.



Cuando el alcohol y GABA están unidos, el tiempo de unión de GABA se prolonga y con ello, su efecto depresor.

### Recordá

17. Explicá con tus propias palabras la diferencia entre uso y abuso de drogas.

### Relacioná

18. Sabiendo que, según los científicos, la risa y la sonrisa son acciones que producen, entre otras cosas, la liberación de dopamina, ¿por qué creés que, en general, la adquisición de nuevos conocimientos es más fácil y productiva en un ambiente distendido y amable?



El ejercicio físico ayuda a prevenir y mejorar el pronóstico de la enfermedad de Alzheimer.

## Conoce

### Drogas y medicamentos

Si buscás en el diccionario, una de las definiciones de la palabra droga es: sustancia o preparado medicamentoso de efecto estimulante, depurativo, narcótico o alucinógeno. Es decir que se refiere a las drogas psicótropicas. Pero para la Organización Mundial de la Salud, droga es cualquier sustancia (terapéutica o no) que introduce en el organismo humano es capaz de modificar una o varias funciones. Y hay más...

Según la Farmacopea Nacional Argentina, se considera droga a toda sustancia natural o sintética que puede emplearse en la elaboración de medicamentos, medios de diagnóstico, productos dietéticos, higiénicos, cosméticos u otra forma cuadricular que puede modificar la salud de los seres vivos. Si investigás más a fondo, encontrarás que en algunos países esta palabra puede tener otros significados en el lenguaje cotidiano.

© Sanillana S.A. Prohibida su impresión. Ley 11.223

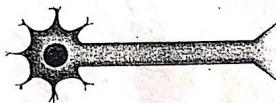
## Actividades finales

### Recordá

19. Descubrí a qué concepto se refiere cada definición:

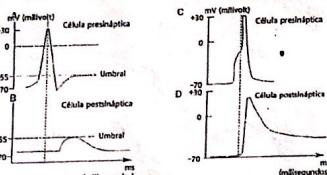
- a) Terminación de pequeñas prolongaciones del axón.
- b) Onda transitoria de inversión del voltaje.
- c) Cumplen la función de soporte de las neuronas.
- d) Fibras nerviosas cubiertas por tejido conjuntivo.
- e) Agrupación de los cuerpos de las neuronas.
- f) Espacio que separa dos neuronas.
- g) Sustancia contenida en vesículas en el botón presináptico.
- h) Son 12 pares y parten de la zona ventral del encéfalo.
- i) Está formada por neuronas motoras que llegan a la médula.

20. ¿Qué sucederá con las cargas eléctricas de una neurona en reposo si se aplica un estímulo? Expícalo con tus palabras y luego completá el siguiente esquema según tu respuesta.



### Resolvé

21. Analizá los gráficos y respondé las siguientes preguntas:



Los gráficos A y B muestran los potenciales presinápticos y postsinápticos en la transmisión sináptica química. Los gráficos C y D representan la transmisión en la sinapsis eléctrica.

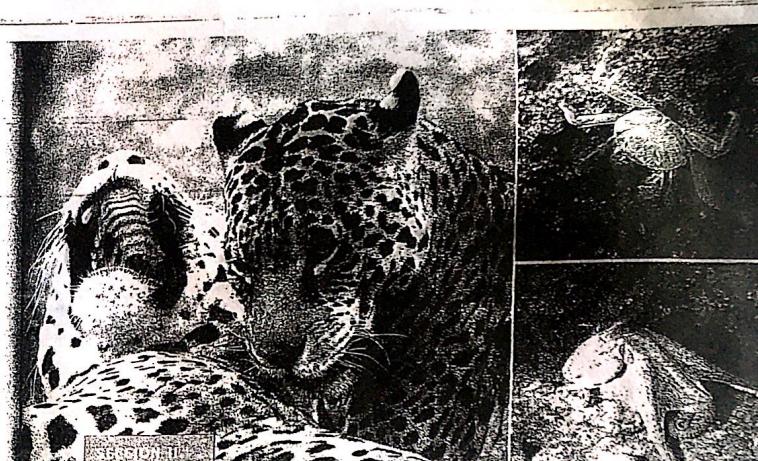
- a) ¿Cuál de los gráficos representa la respuesta más rápida en la neurona postsináptica?
- b) ¿Cómo explicarías el potencial sub-umbral representado en el gráfico B?
- c) ¿Cuál de los gráficos representa una despolarización de la membrana postsináptica? ¿Por qué?

### Experimentá

22. Reúnete con tu grupo y realicen la siguiente experiencia. Van a necesitar: dos pelotas de goma de diferentes colores (por ejemplo, una verde y otra roja) y una cinta métrica.

1. Uno de tus compañeros debe sostener las dos pelotas. Colocándolas a diferentes distancias (por ejemplo, primero a un metro, luego a dos y finalmente a tres metros) las irá lanzando alternativamente a otro compañero, quien deberá atrapar sólo una del siguiente modo: Primero, intentará atrapar cualquiera de las dos pelotas. Luego, intentará atrapar sólo la pelota naranja cuando se la lance. Finalmente, intentará tomar la pelota verde, pero solo si la tira con la mano izquierda.
2. Cada uno de los integrantes del grupo tendrá la oportunidad de probar su distancia de reacción a diversas distancias. Anoten los resultados de la observación en una tabla.

3. Analizá los datos y respondé:
  - a) ¿Creés que hay una relación entre la complejidad de la tarea a resolver para tomar una decisión y la distancia de reacción? ¿Cuál?
  - b) ¿Las distancias de reacción registradas varían entre los compañeros del grupo? Si fue así, ¿a qué creés que se debieron estas diferencias?
  - c) Si repiten varias veces esta experiencia, ¿creés que podrían reducir sus distancias de reacción?
  - d) ¿Cómo podrías relacionar esta experiencia con algunos de los cuidados que hay que tener al manejar un auto?



## capítulo

# Control nervioso en los animales

### Palabra parida

Martín y Guillermo miraban en la computadora unos videos del mundial de fútbol que se jugó en Sudáfrica en 2010. En la columna de videos destacados, un título les llamó la atención: "el pulpo Paul". Inmediatamente se preguntaron qué tiene que ver un pulpo con el fútbol. Para saber de qué se trataba, fueron al enlace del video y descubrieron un simpático animalito que, según decían, tenía la capacidad de "adivinar" cuál de los equipos ganaría el partido. Enfrentada a las banderas de dos equipos, siempre "elegía" la que correspondía al equipo que luego resultaba vencedor. Esta experiencia generó gran interés en los chicos y comenzaron a investigar al respecto. Leyeron que los pulpos poseen un sistema nervioso muy complejo, formado por un cerebro que les permite aprender. ¿Será cierto...?

- a) Pensé en algunas acciones que realizan los animales que vemos en esta página. ¿Te parece que existe alguna relación entre estas actividades y el sistema nervioso?
- b) ¿Estará relacionada la capacidad que tienen los animales de desarrollar diversas actividades con la complejidad de su sistema nervioso?
- c) ¿Todos los animales tienen cerebro?
- d) Los seres humanos podemos aprender y adaptarnos a nuevas situaciones, y los pulpos a su modo también. ¿Esto significa que los pulpos y nosotros tenemos el sistema nervioso exactamente igual?

## Conoce

### Seres irritables

La palabra **irritabilidad** del latín *irritabilis* (sensible), te hace pensar seguramente en una persona enojada, que grita, que responde desmedidamente a lo que sucede a su alrededor. O quizás dícese hablar de una enfermedad crónica que afecta al intestino, el síndrome de colon irritable, y que se suela relacionar con el aspecto emocional de los pacientes. En Biología, la irritabilidad se refiere a la posibilidad de los seres vivos de responder a los estímulos del ambiente, lo cual asegura su supervivencia.



Todos los seres vivos están perfectamente adaptados al medio en el que viven.

### Los seres vivos y la irritabilidad

Como ya estudiaste en los primeros capítulos de este libro, una de las características que definen a los seres vivos es su capacidad para relacionarse con el medio en el que habitan. Todos los organismos, independientemente del grado de complejidad que tengan, cuentan con los mecanismos adecuados para percibir señales del ambiente, procesarlas y responder a ellas. Como ya vimos, la forma en que los seres vivos, y los animales en particular, realizan estas funciones puede ser muy diversa. Algunas serpientes perciben el calor de sus presas y se dirigen hacia ellas, algunos peces identifican la electricidad propia y ajena, las aves levantan vuelo si ven o escuchan que alguien se les acerca, las lombrices huyen de la luz y se entierran, los herbívoros corren ante la presencia de un predador, etcétera.

La capacidad que tienen los seres vivos de relacionarse frente a los estímulos se denomina **irritabilidad**. El modo en que se expresa esta capacidad dependerá del grado de complejidad de sus receptores, de la forma en que procesen los estímulos y de las estructuras que posean para producir una respuesta.

Como ya sabés, la unidad fundamental del control nervioso en los seres humanos es la neurona. Las neuronas, de acuerdo con la función que cumplen, pueden ser aferentes (actúan en la recepción de estímulos) o eferentes (actúan en las respuestas a dichos estímulos). ¿Pero qué ocurre con los animales menos complejos, como los porfíeros y las medusas? ¿Tienen neuronas? ¿Cómo reciben y procesan la información del medio que los rodea? ¿Recibirán los mismos tipos de estímulos que los mamíferos? ¿Tendrán los mismos tipos de receptores?

Las estructuras que les permiten a los animales relacionarse con su ambiente, recibir y responder a los estímulos, se van haciendo más complejas a medida que evoluciona la escala zoológica. En los animales más primitivos, como los porfíeros, las medusas y los platelmintos (gusanos planos), no existe un sistema nervioso como tal, sino que hay agrupaciones de células nerviosas de diversa complejidad que tienen la función de conectar a estos animales con el medio. En los animales más evolucionados, como los vertebrados (peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos), se observa la presencia de un verdadero sistema nervioso.



Cada grupo de animales, incluyendo a los seres humanos, tiene las estructuras adecuadas para relacionarse con el medio en el que vive de un modo particular que asegura su supervivencia.

### Evolución del control nervioso

Como vimos, todos los animales se relacionan de alguna manera con su ambiente, pero no todos cuentan con las mismas herramientas para hacerlo ni tienen las mismas necesidades en función de su forma de vida.

Los animales menos evolucionados tienen un nivel de organización simple y no poseen tejidos especializados ni neuronas. En cambio poseen células en su superficie corporal que tienen la capacidad de cambiar de polaridad y transmitir señales a otras células vecinas.

Luego encontramos animales un poco más complejos, con poca movilidad, que pueden cubrir sus necesidades con una simple red neuronal o plexo nervioso, que les permite detectar alimentos o peligros y, en respuesta, extender o retraer partes de su cuerpo. Como en este caso se trata, en general, de animales con simetría radial (mediante varios planos que se unen en un eje de simetría se los puede dividir en varias partes casi iguales entre sí), esta red se extiende hacia todas partes desde su eje de simetría y los estímulos viajan en todas direcciones. Las células receptoras de estímulos se encuentran a lo largo del mismo eje de simetría.

En animales con simetría bilateral (su cuerpo puede dividirse en dos partes casi iguales entre sí), que en general tienen mayor movilidad en su ambiente, las estructuras de control nervioso se hacen más complejas para permitirles procesar más información y producir respuestas más elaboradas. Las neuronas tienden a agruparse en ganglios unidos por fibras nerviosas que recorren todo el cuerpo formando una estructura ganglionar bilateral. En algunos casos los ganglios forman una cadena a lo largo del cuerpo, y en otros casos algunos se hacen más grandes y se ubican preferentemente en la zona anterior del animal.

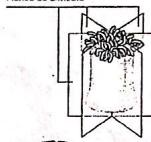
En los invertebrados, los cordones nerviosos se disponen ventralmente respecto del tubo digestivo, por lo que se dice que son hiponeuros.

En los vertebrados esta organización alcanza su mayor complejidad en un sistema encefálico. La mayor parte de las neuronas se nuclean en el encéfalo y la médula espinal constituyendo el sistema nervioso central (SNC), donde se recibe y procesa la información y se elaboran las respuestas respectivas. Este eje nervioso se localiza dorsalmente respecto del tubo digestivo, por lo que los vertebrados son epineuros.

El transporte de la información desde los receptores y hacia los efectores se realiza mediante neuronas y fibras ubicadas fuera del SNC que constituyen el sistema nervioso periférico (SNP).

En los ejemplos que veremos a continuación, analizaremos en detalle cada una de estas estructuras.

Plano de simetría



Plano de simetría



Animales con simetría bilateral.

#### Recordá

1. Expresá con tus palabras el significado del término "irritabilidad" para los biólogos. Relacionalo con lo que estudiaste en el capítulo 1 acerca del modelo estímulo - procesamiento - respuesta.

- d) Células excitables en la superficie corporal.
- e) Neurona.
- f) Ganglio.
- g) Epineuro.
- h) Hiponeuro.

2. Ordená los siguientes conceptos según su orden de aparición a medida que se complejiza la escala zoológica colocando un número de orden en cada cuadrado (algunos números pueden repetirse para indicar que dos conceptos aparecen en el mismo escalón).

- a) Encéfalo.
- b) Cordón nervioso.
- c) Red neural.
- d) Células excitables en la superficie corporal.
- e) Neurona.
- f) Ganglio.
- g) Epineuro.
- h) Hiponeuro.

3. Realizá un esquema que muestre cómo se va haciendo más complejo el mecanismo de control nervioso a medida que se complejiza la escala zoológica. Correlacioná cada estado con ejemplos acerca de la percepción y respuesta a los estímulos que estudiaste en capítulos anteriores.



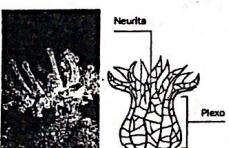
## Control nervioso en los invertebrados

Como vimos, entre los animales existen distintas estructuras encargadas del control nervioso. Entre los invertebrados podemos encontrar una amplia variedad en este aspecto.

### Poríferos y cnidarios

Los poríferos son los animales más sencillos del reino Animalia. Su cuerpo está tapizado por numerosos y diminutos poros, son sésiles (no pueden moverse), viven adosados a un sustrato en el fondo del mar y solo alcanzan el nivel de organización celular, esto significa que sus células no están organizadas en tejidos ni en órganos.

La esponja es un organismo muy simple que solo posee células con capacidad excitatoria distribuidas en su superficie corporal.



La hidra posee dos tipos de células nerviosas: receptores sensoriales sensibles a estímulos químicos y mecánicos, y otras asociadas a la red que transmitem el impulso nervioso a través de prolongaciones llamadas neuritas.

Pensar en ciencia.

Cuando los científicos se encuentran frente a un fenómeno que no pueden explicar (por ejemplo, un animal cuyo comportamiento no es muy conocido), revisan todos los datos existentes al respecto obtenidos por otros científicos y luego formulan una hipótesis posible sobre la resolución del problema en cuestión. Esta deberá ser comprobable mediante experimentos, de modo de llegar a una conclusión respecto de si es válida o no.

Si bien existen diferentes tipos celulares que cumplen funciones específicas, no poseen células nerviosas. Las células de la capa más externa, que están en contacto con el medio, pueden modificar su forma ante la presencia de ciertas sustancias químicas, lo que determina que los poros se cierran y no pueda ingresar el agua que contiene los nutrientes que le sirven como fuente de alimento. La excitación de una de estas células se puede transmitir a sus vecinas de forma muy lenta mediante mensajeros químicos. Podemos concluir que los poríferos no tienen un sistema nervioso organizado, solo poseen células aisladas que pueden responder a ciertos estímulos. Además del cierre de los poros, otras respuestas que se observan en las esponjas es la apertura y cierre del osculo, una abertura de tamaño mayor por la cual se elimina agua.

Los cnidarios son un poco más complejos que los poríferos. Estos seres vivos son acuáticos y presentan organización tisular, es decir que tienen tejidos (agrupaciones de células que tienen la misma forma y que cumplen la misma función). Dentro de este grupo se encuentran las hidras, las medusas, las anémonas y los corales. Poseen neuronas que están conectadas entre sí por medio de sus prolongaciones formando una red o plexo, que conforma un mecanismo de control nervioso difuso. Las neuronas son multipolares, todas sus terminales son similares y pueden liberar neurotransmisores, con lo que la transmisión nerviosa se puede realizar en todas direcciones. No existe un centro de control.

En la hidra existe una única red ubicada en la capa celular más externa, extendida por todo el cuerpo. Las sinapsis de estas primitivas neuronas son similares a las de los animales más complejos y les permiten mover sus tentáculos, flotar, deslizarse sobre su base y también dar vueltas sobre sí mismas. Se sabe también que las hidras poseen una alta sensibilidad para detectar pequeños movimientos en el agua: se han realizado experiencias colocando cerca de ellas una varilla de vidrio unida a un controlador mecánico que provoca corrientes de agua: las hidras literalmente se "doblan" para alcanzar con sus tentáculos la varilla.

Algunas medusas presentan una red doble, una parte permite movimientos lentos y otra está formada por neuronas bipolares que les dan la posibilidad de realizar movimientos más rápidos.

Aunque este tipo de organización del control nervioso es propio de animales poco desarrollados, el plexo se mantiene en los animales más complejos. La estrella de mar, un equinodermo con simetría radial en su etapa adulta, posee un plexo epidérmico que le permite mover sus brazos en el desplazamiento. También en los vertebrados se conservan plexos integrados en sistemas nerviosos mucho más complejos.

### Platelmintos y nematodos

Los platelmintos o gusanos planos son animales con simetría bilateral, como lo son todos los animales al menos en alguna fase de su desarrollo a partir de este escalamiento evolutivo. Son aplastados dorsoventralmente. Un ejemplo conocido es la *Taenia saginata*, un endoparásito de los seres humanos llamado vulgarmente "lombriz solitaria". También hay ejemplares de vida libre, como la planaria, que viven tanto en el agua como en la tierra.

En estos animales ya existe un nivel de organización en órganos, es decir que distintos tejidos se agrupan para formar estructuras que tienen una función determinada.

El control nervioso se encuentra centralizado y proviene de la evolución de las redes o plexos nerviosos difusos. Los cuerpos neuronales se agrupan en ganglios unidos por cordones nerviosos (agrupación de axones) que, como vimos antes, se disponen ventralmente.

En los platelmintos los cuerpos de las células nerviosas forman dos ganglios cerebrales, a partir de los cuales se originan dos cordones nerviosos que los recorren longitudinalmente y se conectan entre sí por medio de numerosas conexiones transversales. A este tipo especial de disposición de las células nerviosas se lo denomina *cordón nervioso en escalera*.

Las planarias poseen fotoreceptores llamados ocelos que les permiten distinguir no solo la presencia o ausencia de luz, sino también la dirección de la que provienen los rayos luminosos. Además, poseen químioreceptores que se ubican en sus orejuelas por medio de los cuales detectan diversos tipos de sustancias químicas.

Los nematodos, por su parte, son gusanos que tienen cuerpo cilíndrico afilado en ambas puntas. Viven en todo tipo de ambientes, y entre ellos hay parásitos y animales de vida libre. La estructura principal de su sistema nervioso es un anillo periesofágico, formado por fibras y ganglios, a partir del cual parten hacia adelante las fibras nerviosas que invaden las estructuras que captan estímulos del ambiente: papilas labiales, sensillas cefálicas y anfídios (químioreceptores), y hacia atrás los cordones nerviosos laterales, dorsales y ventrales. Estos cordones nerviosos pueden ser motores (llegan a las células musculares) o sensitivos, interrelacionados entre sí.

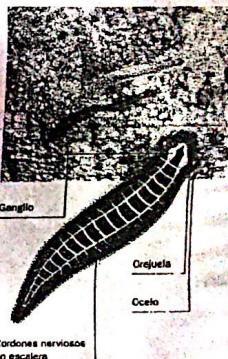
El *Ácaris lumbricoides*, por ejemplo, es un parásito del intestino de los seres humanos que presenta órganos poco desarrollados, carece de apéndices locomotores y, como vive "anclado" al intestino de los seres humanos, obtiene de allí la materia orgánica que necesita y no debe movilizarse en búsqueda de alimento. Posee órganos de los sentidos más simples que los de vida libre y el control nervioso es ejercido fundamentalmente por cordones ventrales y dorsales.

El *Ácaris lumbricoides* es un ejemplo de nematodo.

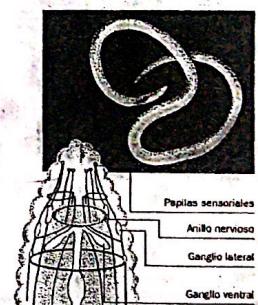
### Relacionar

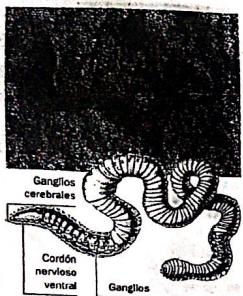
4. Teniendo en cuenta los grupos de seres vivos que estudiaste en las páginas 102 y 103, pensá qué estímulos pueden recibir del medio y cómo reaccionarán frente a ellos.
5. ¿Qué conceptos de los que aprendiste en los capítulos anteriores te sirvieron para resolver la pregunta anterior?

6. Considerando lo que vimos hasta ahora sobre la evolución del control nervioso, respondé:
  - ¿En qué sentido el plexo nervioso resulta una organización para un animal con simetría radial?
  - ¿Cómo creés que las estructuras nerviosas de tipo ganglionar bilateral pudieron evolucionar a partir del plexo nervioso difuso? Expícalo mediante esquemas.

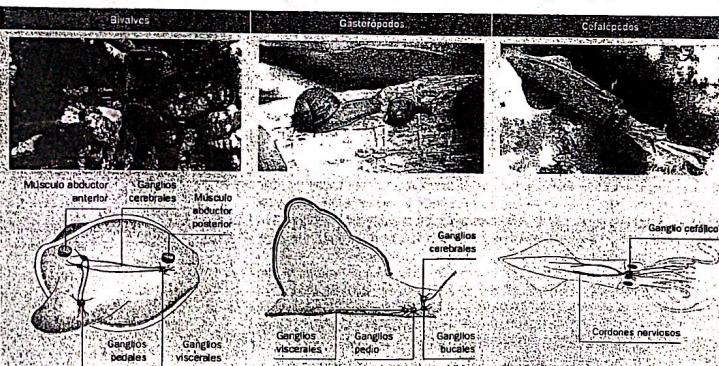


La planaria presenta estructuras de control nervioso bastante simples.





Cada segmento de un anélido está inervado por un par de ganglios unidos por fibras nerviosas y se conectan entre sí mediante fibras sensitivas y motoras que integran el cordón ventral.



Los moluscos bivalvos (por ejemplo, ostras y mejillones) tienen tres pares de ganglios: cerebrales, viscerales y pedales. Los moluscos de la familia Veneridae (o clara de las valvas) y pedíales (controlan el pie muscular que utilizan para fijarse a las rocas o enterrarse en la arena). Los tres están conectados por medio de largos cordones nerviosos. Cerca de los ganglios pedales poseen células nerviosas sensoriales que les permiten percibir estímulos táctiles.

### Anélidos y moluscos

Los anélidos son gusanos de cuerpo cilíndrico, dividido en segmentos transversales. Alcanzan el nivel de organización de sistemas de órganos. El ejemplar más conocido de este grupo es la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*). Habitán en pequeños túneles que construyen bajo la tierra y salen a la superficie durante la noche. Las lombrices, a pesar de que no tienen ojos ni oídos, son muy sensibles a la luz porque poseen fotoreceptores en su piel y mecanorreceptores con los que pueden percibir las vibraciones.

Ambos tipos de receptores están conectados a cordones nerviosos ubicados en la zona ventral, por debajo del tubo digestivo. Cada uno de los segmentos que forman su cuerpo posee un par de ganglios conectados a los del segmento siguiente por fibras del cordón nervioso ventral. Además de este sistema nervioso periférico, en la cabeza se encuentran dos agrupaciones mayores de neuronas que forman los ganglios cerebrodeos conectados al mismo cordón, a modo de sistema nervioso central. Formando parte del cordón nervioso ventral se encuentran uno o más axones de gran tamaño que les permiten una transmisión muy rápida del impulso nervioso, con lo que pueden realizar movimientos de huida casi instantáneos.

El grupo de los moluscos reúne animales de cuerpo blando que alcanzan el nivel de organización de sistemas de órganos. La mayor parte son marinos, pero también hay representantes que viven en agua dulce y en tierra firme. En este grupo podemos encontrar animales muy diversos, como los pulpos, los calamares y los mejillones, que viven en el mar, los caracoles de jardín y de agua dulce, y las babosas. En todos ellos seguimos encontrando un sistema nervioso ganglionar bilateral, aunque con algunas diferencias. Aquí te damos algunos ejemplos.

La mayoría de los gárcoles (gasterópodos) tienen cuatro pares de ganglios conectados por un cordón nervioso ventral que une los ganglios de los pies y las valvas. Cada ganglio controla diversas estructuras del organismo. Contienen tenáculos cefálicos de función principalmente táctil, ojos simples en algunos casos, insertos en los tentáculos, oestridos (órganos receptorios) en zonas especializadas de la piel y estatocitos (órganos del equilibrio).

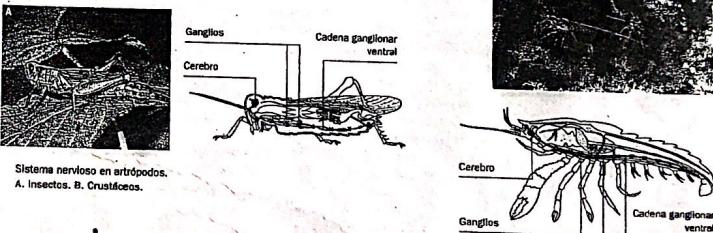
### Equinodermos y artrópodos

Los equinodermos son todos de vida marina: los animales más representativos de este grupo son las estrellas de mar y los erizos. Las estrellas de mar poseen un sistema nervioso radial, con un anillo nervioso alrededor del esófago (periesófago) del cual se desprenden nervios radiales que se localizan en cada uno de los brazos de la estrella. Con excepción de los ocelos que se ubican en las puntas de los brazos, las estrellas carecen de órganos sensoriales especializados. En cambio poseen células sensoriales epidérmicas, que según se cree participan en la recepción de estímulos luminosos, táctiles y químicos.

Los erizos de mar también cuentan con una red de fibras que parte de un anillo ubicado alrededor de su boca. Poseen unas estructuras muy particulares, los esferídos, mecanorreceptores que tendrían una función importante en el mantenimiento del equilibrio.

La mayor diversidad de organismos del reino Animalia pertenece al grupo de los artrópodos. Han podido conquistar todos los hábitats: terrestres, aeroterrástras y también acuáticos (tanto de agua dulce como de agua salada). Entre ellos se encuentran los crustáceos (cangrejos, camarones, langostinos, bichos balla), los insectos (abejas, avispas, mariposas) y los arácnidos (arañas). Los insectos constituyen la mayor parte de las especies conocidas de seres vivos y, junto con el resto de los representantes de los artrópodos, se encuentran en el nivel de organización de sistemas de órganos.

Si bien los artrópodos poseen un sistema nervioso semejante al de las lombrices, se diferencian de ellas porque los ganglios cerebrales son más desarrollados y se agrupan formando un cerebro dividido en tres regiones, que se sitúan en la región anterior del animal. Estas son: el protocerebro (que inerva los ojos), el deutocerebro (que está relacionado con las antenas) y el tritocerebro (que interviene en los movimientos de la boca). El cerebro se continua en la cadena ganglionar ventral, que controla las actividades de los segmentos corporales.



### Relaciona

7. Lee la siguiente información y respondé las preguntas.

Muchos insectos, como las cucarachas, son capaces de vivir y realizar actividades tales como correr o volar cuando se les extraña su cabeza (y por tanto, su cerebro). Por supuesto, no pueden comer, por lo que terminan sucumbiendo a la falta de nutrientes.

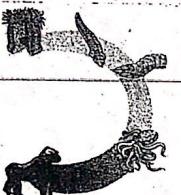
a) ¿Te parece que esta información puede ser verdadera? ¿Cómo la explicarías teniendo en cuenta la estructura del sistema nervioso de los insectos?

b) ¿En qué otros animales invertebrados cuyo sistema nervioso hemos estudiado hasta ahora crees que se podría observar algo similar?

### Investiga

8. En los equinodermos se observa la presencia de un complejo sistema llamado "pie ambulacral". ¿Cómo está formado? ¿Cuál es su función? ¿Cómo se relaciona la función que desempeña el pie ambulacral de los equinodermos con su sistema nervioso?

## El camino hacia lacefalización



**Centralización y encefalización.** A medida que los animales son más complejos, las células encargadas del control del organismo tienden a ocupar una ubicación central y céfala.

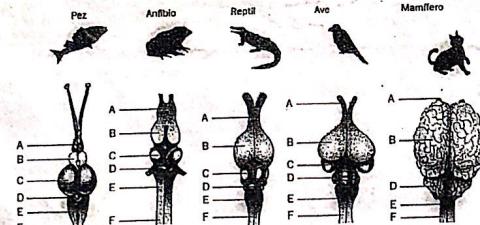
Como vimos, a medida que se complejizan, los animales adquieren simetría bilateral, se diferencia su extremo anterior y la locomoción toma una dirección preferencial hacia adelante. Esto implica que la zona delantera del animal es la primera en enfrentarse a los cambios en el ambiente y a la presencia de alimentos y peligros, por lo que sus órganos sensitivos tienden a agruparse en esa zona, al igual que las estructuras que reciben y procesan la información sensorial. A este proceso se lo llama **encefalización**. Las estructuras nerviosas, que ya mostraban una tendencia a la **centralización** (las neuronas que procesan la información del ambiente y producen respuestas acordes tienden a ubicarse en zonas centrales), ahora tienden a ubicarse en una verdadera cabeza. Los ganglios, en principio dispersos, tienden a unirse en estructuras cada vez mayores hasta dar lugar a la formación del **encéfalo**. El máximo grado de desarrollo se alcanza en los mamíferos, sobre todo en el ser humano, como viste en el capítulo 5.

En todos los vertebrados, encontramos un sistema nervioso dorsal y muy desarrollado. Durante el inicio de su desarrollo embrionario, la capa más externa de tejido de la región dorsal forma un **tubo neural** a partir del cual se originará el sistema nervioso. La porción anterior del tubo neural se ensancha y origina el **encéfalo**, mientras que la parte media y posterior mantiene su forma alargada y constituye la **mácula espinal**. En los vertebrados, tanto el encéfalo como la médula están protegidos por estructuras óseas, los huesos del cráneo y la columna vertebral, respectivamente.

En el encéfalo de los vertebrados se pueden distinguir varias regiones: el **prosencéfalo** (encéfalo anterior), el **mesencéfalo** (encéfalo medio) y el **rombencéfalo** (encéfalo posterior). En el prosencéfalo se encuentran los lóbulos olfatorios, el cerebro y el hipotálamo. Es la porción que experimenta mayores cambios de un vertebrado a otro. El cerebro va adquiriendo más importancia y en los hemisferios se diferencia una zona gris, formada por los cuerpos neuronales que tiende a ubicarse en la superficie en especial en aves y mamíferos y una zona blanca formada por axones mielínicos.

En el mesencéfalo, el tallo encefálico procesa la información visual y auditiva entre otras y en el rombencéfalo se encuentra el cerebelo, que regula el equilibrio y la coordinación motora fina, y el bulbo raquídeo que contiene centros de control involuntario como el cardíaco.

Los sistemas de ganglios y fibras nerviosas se mantienen en los vertebrados como componente fundamental del sistema nervioso periférico.



Estructuras que forman el encéfalo. A. Lóbulo olfatorio. B. Cerebro. C. Lóbulo óptico. D. Cerebelo. E. Bulbo raquídeo. F. Médula espinal.

### Recordá

9. Ordená los siguientes conceptos en orden de complejidad creciente. Luego, relacioná cada uno con el **phylum** al cual pertenece:  
a) Encefalización.  
b) Centralización.

### Relacioná

11. Para cada uno de los conceptos que definiste en la actividad anterior redactá un breve texto que indique en qué sentido representan una evolución o un cambio favorable en las especies afectadas.

## Una historia eléctrizante

**Serendipia** es un término que se utiliza en ciencia para referirse a descubrimientos que se han ocasionado de manera casual, hallazgos afortunados producidos cuando un científico buscaba otra cosa. Esto le sucedió a Luis Galvani, un médico, físico y fisiólogo italiano del siglo xvi. Sin que él lo pensara, sus investigaciones fueron los primeros pasos que permitieron descifrar, con el tiempo, el mecanismo por el cual se produce el impulso nervioso.

Veamos primero los antecedentes del caso. Hasta ese momento, casi todos los científicos mantenían la idea original de la época de los griegos, luego sustentada por el filósofo francés René Descartes, de que los nervios eran tubos huecos procedentes del cerebro por los que circulaban fluidos: el "espíritu animal". En 1786, el fisiólogo suizo Albrecht von Haller publicó los resultados de sus trabajos, según los cuales los músculos eran iritables (respondían a estímulos con una contracción), y fue el primero en proponer que los nervios estaban implicados en esa acción. A la vez, demostró que todos los nervios conducían al cerebro o a la médula espinal.

Alrededor de 1780, mientras disecaba una rana en su laboratorio, Galvani tocó sin querer con el bisturí un gancho de bronce que sujetaba la pata de este animal; inmediatamente se produjo una pequeña descarga eléctrica y, ante su sorpresa, los músculos de la pata de la rana se contrajeron. Galvani, en lugar de olvidar el incidente, repitió la acción y, en todas las ocasiones, obtuvo los mismos resultados: la pata se movía. Concluyó entonces que la electricidad estaba involucrada en la estimulación de los músculos, que provenía de ellos, y la llamó "electricidad animal", una fuerza vital que permitía el movimiento muscular.

10. ¿Cómo describirías la actitud de Galvani ante una situación inesperada durante una experiencia científica?

Galvani invitó a sus colegas a investigar el tema. El físico italiano Alessandro Volta así lo hizo y coincidió con los resultados pero no con las explicaciones de Galvani: para él la electricidad provenía del metal, y sus experiencias en ese sentido lo llevaron a construir la primera pila para producir energía eléctrica a partir de energía química.

Las dudas de Volta llevaron a Galvani a continuar con sus experimentos. Desarrolló varias teorías: que el impulso nervioso era un impulso eléctrico, que la electricidad biológica era similar a la que se observaba en la naturaleza (rayos, fricción) y que la conducción eléctrica la realizaban los nervios con control del cerebro.

En aquella época no se pudieron medir las diferencias de potencial generadas en los nervios, sin embargo los estudios de Galvani inauguraron una nueva ciencia: la Neurofisiología.

11. ¿Qué importancia crees que tiene el trabajo en colaboración, aún entre distintas disciplinas, para el avance de los conocimientos científicos?

En 1897, el físico alemán Karl Ferdinand Braun modificó el tubo de rayos catódicos para crear el osciloscopio, un dispositivo que permite revelar y representar señales eléctricas. Así se pudieron medir y registrar a comienzos del siglo xx los potenciales eléctricos de las fibras nerviosas motores y sensitivas y sus variaciones.

En la actualidad, para detectar la velocidad de la conducción nerviosa, se realiza una prueba de electrodiagnóstico que mide la velocidad y la actividad eléctrica de un nervio, lo que permite saber si ese nervio funciona normalmente.

12. ¿Te parece que existe relación entre el contexto histórico, los avances de la tecnológica y el estudio de las fibras nerviosas? ¿Crees que este conocimiento está "acabado" y no se puede aprender nada más al respecto?

13. ¿Crees que la actividad científica pura, sin aplicación evidente e inmediata, puede resultar útil para mejorar las condiciones de vida de la gente?

## Control nervioso en los vertebrados

Los cordados son los animales que presentan notocorda, una estructura embrionaria a partir de la que se originará el sistema nervioso. Entre sus miembros, los más representativos corresponden a los vertebrados: peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos. Son los animales que alcanzan mayor nivel de organización y poseen sistemas de órganos complejos.

### Peces

Los peces poseen un sistema nervioso bien desarrollado. El encéfalo tiene diferencias cuyo tamaño y complejidad varían en las diferentes especies. En la mayor parte de los peces, los lóbulos olfatorios están muy desarrollados, en especial en aquellos que buscan sus presas mediante este sentido, como los tiburones. El cerebro, en general pequeño, tiene una actividad relacionada fundamentalmente con el oficio.

En el cerebro medio se encuentran los lóbulos ópticos, muy desarrollados, en especial en especies que cazan utilizando la vista, como la trucha arcoíris. El cerebro es una estructura de gran importancia relativa dentro del encéfalo de los peces, en especial en los que nadan activamente. En el bulbo raquídeo de muchos peces se encuentran los somas de dos neuronas gigantes llamadas *células de Mauthner*, cuyos axones se extienden a lo largo de la médula espinal, coordinando los movimientos natatorios y en especial los de huida ante el peligro.

### Anfibios

La organización del sistema nervioso de los anfibios es muy parecida a la de los peces óseos, pero con algunas diferencias. El encéfalo es más desarrollado que en los peces, sobre todo a nivel del encéfalo anterior: el cerebro es pequeño mientras que los lóbulos olfatorios todavía tienen mucha importancia. El sistema fundamental del control del cuerpo es la parte superior del encéfalo medio, llamada *téctum*. Muchos anfibios presentan las dos células de Mauthner en el bulbo raquídeo.

El sistema nervioso periférico posee fibras nerviosas individuales que llegan a las extremidades y plexos nerviosos entre estas y la médula espinal. Los sistemas simpático y parasimpático (SNA) ya están bien desarrollados y diferenciados.

### Reptiles

El encéfalo es estrecho y alargado, más desarrollado que en los anfibios, y son notables los grandes lóbulos ópticos. Son el primer grupo de vida totalmente terrestre, por lo que su encéfalo ya ha sufrido modificaciones para adaptarse a ella. La visión, por ejemplo, adquiere gran importancia. La sustancia gris comienza a aparecer en la superficie de los hemisferios cerebrales.

En algunas especies, en la bóveda del encéfalo se encuentra el ojo parietal, que por su estructura sería el resto de un tercer ojo. Su función es posiblemente fotoreceptora y termoreceptora. En algunos, como la tuártara, este tercer ojo tiene cristalino y retina, y en otros se desarrolla menos.



### Aves

En las aves tiene mayor preponderancia el desarrollo del cerebro en el encéfalo anterior pero, al igual que en los grupos anteriores de vertebrados, su superficie es lisa. Se manifiesta en mucha mayor medida la tendencia de la sustancia gris a ubicarse externamente, en especial en la zona ventral del cerebro.

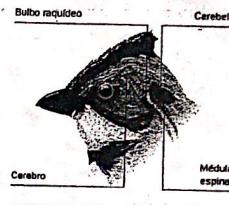
Los lóbulos olfatorios están reducidos. En cambio, los lóbulos ópticos y el cerebro están muy desarrollados. Esto se relaciona con que en las aves el sentido de la vista es el que adquiere mayor importancia tanto para la caza como para escapar de los depredadores y explorar el ambiente. Por su parte, el cerebelo resulta fundamental a la hora de coordinar los movimientos necesarios para el vuelo y mantener el equilibrio y la orientación. El tamaño relativo del cerebelo (con relación al peso total del individuo) es mayor en la mayoría de las aves que en muchos mamíferos.

Los hemisferios cerebrales controlan los patrones de comportamiento, las conductas de apareamiento y la construcción del nido.

### Mamíferos

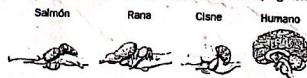
El encéfalo alcanza su máximo grado de desarrollo en los mamíferos. El cerebro es la porción que más se destaca. Se incrementa la tendencia de la materia gris a ubicarse externamente y forma la corteza cerebral, que cubre casi toda la superficie del cerebro. Allí se centralizan y coordinan las funciones motoras y sensitivas, y en los mamíferos superiores también las de asociación, comunicación y memoria. Aunque en algunos mamíferos la corteza es lisa, como en muchos roedores, en otros va sufriendo diferente grado de plegamiento, que alcanza su máxima expresión en los primates y en el ser humano. El plegamiento de la corteza permite aumentar su superficie de manera considerable, con lo cual se logra una mayor capacidad de procesamiento y almacenamiento de información. El volumen total del cerebro aumenta, aunque en realidad esto no es una buena medida de su capacidad. El tamaño relativo, la relación entre el tamaño del cuerpo y el del cerebro, es una medida mejor. Haciendo una comparación de esta relación, algunos peces muy evolucionados presentan un valor similar al de las aves y mamíferos. Por otro lado, también adquiere importancia el crecimiento de determinadas áreas del cerebro respecto de otras, en especial el lóbulo frontal, con lo cual se perfeccionan algunas funciones cerebrales, como por ejemplo la toma de decisiones, la planificación y la comunicación.

El cerebro también alcanza un tamaño considerable permitiendo la coordinación de movimientos complejos. Los lóbulos olfatorios y ópticos son mucho más pequeños y el segundo queda tapado por el cerebro.



Recordá

12. Observá los siguientes gráficos y respondé las preguntas.



- Ubicá las principales estructuras del encéfalo de cada animal.
- ¿Cuál es la diferencia fundamental que podés observar entre el encéfalo humano y los de los restantes animales?
- Ubicá en cada esquema la estructura que, por comparación de tamaños, te parece más importante.

te en cada encéfalo. Relacionalo con la forma de vida de cada grupo de animales representados.

Relacioná

13. Compará las estructuras nerviosas de invertebrados y vertebrados. ¿Crees que existe alguna relación entre la complejidad de su comportamiento y sus sistemas nerviosos? ¿Por qué? Justificá utilizando lo que te explicamos en este capítulo.

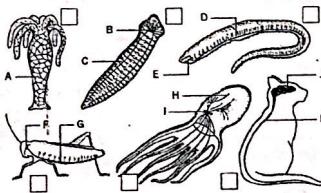
Investiga

14. ¿Qué mamífero posee el cerebro más pequeño? ¿Y cuál es el más grande? ¿Qué relación tendrá el tamaño absoluto y relativo con su nivel de sociabilidad y efectividad? Escribe un breve informe en tu carpeta.

## Actividades finales

### Recordá

15. Observá las imágenes y coloca las referencias que correspondan.



- a) Colocá un número junto a cada estructura de acuerdo con las equivalencias que te damos: sistema nervioso encefálico (1) – estructura nerviosa bilateral ganglionar (2) – estructura nerviosa difusa (3).  
 b) En tu carpeta asigne a cada letra uno de los conceptos de la siguiente lista: médula espinal – plexo nervioso – ganglio – ganglio cerebral – cerebro – cordón nervioso ganglionar – nervios.  
 c) En el esquema que representa el sistema nervioso central de un vertebrado completá en forma aproximada la disposición de las fibras nerviosas que inervan todas las estructuras del organismo.

### Resolvé

16. Encontrá una explicación para estas situaciones:

- a) Los investigadores observaron que algunas medusas presentan mayor número de prolongaciones nerviosas sobre los tejidos que tienen la capacidad de contraerse. ¿A qué se deberá esto?  
 b) Muchos nematodos poseen estructuras nerviosas simplificadas. ¿Qué relación tiene esto con su forma de vida?

17. Se realizó un experimento con una rana bloqueando su actividad cerebral por medio de un medicamento, de modo que solamente permaneció funcionando la médula espinal. Al aplicarle una serie de estímulos, se comprobó que el animal respondía de manera refleja. ¿Cuál o cuáles de las siguientes preguntas creés que se plantearon los científicos al hacer este experimento? Justificá tu respuesta.

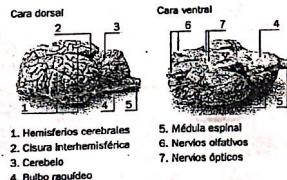
- a) ¿Cuál es el efecto de las drogas en el cerebro de la rana?

- b) ¿Qué tipo de reflejo produce una respuesta más rápida?  
 c) ¿Cuál es el efecto de los medicamentos en la médula espinal?

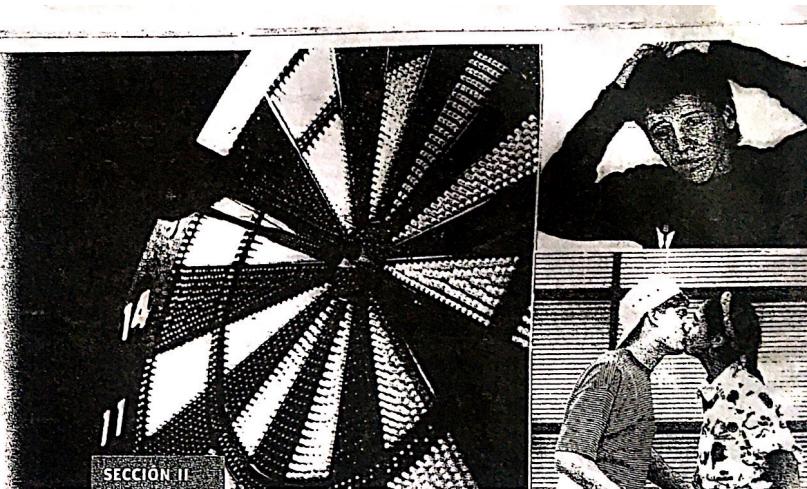
- d) ¿Qué papel cumple la médula espinal en la elaboración de las respuestas reflejas?  
 e) ¿Cuál es el reflejo que afecta en menor grado a la médula espinal?

### Experimentá

18. Reunite con tus compañeros y realicen esta disección de un encéfalo de cordero para reconocer y diferenciar las estructuras y órganos que estudiamos. Necesitarán un encéfalo (seso) de cordero previamente colocado en formol al 5% durante unas 24 horas o semicongelado, una bandejita, un bisturí o cuchillo filoso, una pinza de disección y guantes de látex.
- Coloquen el encéfalo sobre la bandeja como está dispuesto en el organismo completo. Reconozcan las regiones anterior, posterior, dorsal y ventral. Observando las fotografías, reconoczan sus estructuras externas.
  - Corten longitudinalmente siguiendo la cisura entre ambos hemisferios. Traten de reconocer sus estructuras. Recuerden que el cuerpo calloso es la estructura que une ambos hemisferios.
  - Corten transversalmente uno de los hemisferios por la mitad. Distingan la disposición de la sustancia gris y la sustancia blanca.



- a) Realicen un esquema del cerebro en posición dorsal, corte transversal y corte longitudinal.  
 b) Indiquen en cada esquema la ubicación de la corteza cerebral, las circunvoluciones y las estructuras que pudieron reconocer a partir de las fotos.  
 c) ¿Cómo distinguen a simple vista la parte anterior y posterior del encéfalo?



## capítulo



## Control endocrino en el ser humano

### Punto de partida

Cada vez que María y Lucas se miran al espejo, no se sienten a gusto con esos "molestanos" granitos que se concentran en sus pómulos y en su frente. ¿Cómo es posible que tengan que convivir con ellos si hasta hace pocos años ni siquiera sabían de su existencia? ¿Qué tendrán que hacer para que desaparezcan de sus vidas? Sus familiares y amigos les dieron muchos consejos, como suprimir la ingesta de chocolates y aumentar el consumo de frutas y verduras. Pero, a pesar de que siguieron al pie de la letra estas recomendaciones, los "rebelde intrusos" no desaparecen.

- A qué edad, aproximadamente, comienzan las chicas y los chicos a tener granitos?
- Te parece que la alimentación influirá en la aparición de los granitos?
- Si tuvieras el mismo problema que María y Lucas, ¿qué harías para solucionarlo?
- Algunos creen que si tienen granitos, entonces es acné. ¿Pensás que es lo mismo?
- Escuchaste alguna vez que los granitos están relacionados con las hormonas?

## Conoce

### Diana y las hormonas

¿Por qué los científicos habrían llamado diana a los tejidos donde las hormonas ejercen su función? ¿Será porque la hermana de uno de ellos se llamaba así, o porque es el nombre del topo militar que se utiliza para levantar a la tropa? En realidad, ninguna de estas explicaciones es correcta. La razón está en la analogía que, en ocasiones, se utiliza para explicar el mecanismo de acción del sistema endocrino. Muchas veces se compara el deporte de "tiro al blanco" con el mecanismo de funcionamiento del sistema endocrino. El hombre que sostiene el dardo sería análogo a la glándula, el dardo a la hormona, y el punto central del tablero (o diana) sería el órgano blanco. También recibe el nombre de diana la célula donde se dirige la acción de un medicamento. Cuántos significados para diana, ¿no?



En ocasiones, se compara el funcionamiento del sistema endocrino con el tiro al blanco.

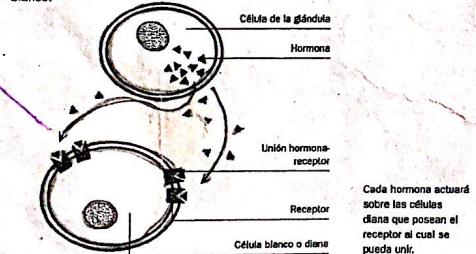
### Características del sistema endocrino

Es probable que luego de leer la página de apertura de este capítulo, te preguntes qué tienen que ver los granitos con el sistema endocrino. Aunque no lo creas, esta relación existe y es muy estrecha. A María y Lucas, los parientes y amigos les recomiendan llevar a cabo una dieta en la cual aumenten el consumo de frutas y verduras. Es sabido que ingerir alimentos de un alto tenor graso puede estimular la producción de sustancias oleosas en la piel y, como consecuencia de esto, favorecer la aparición de granitos. Sin embargo, aunque se limite el consumo de grasa, los granitos no desaparecen. Esto se debe a que la verdadera causa son las hormonas, en este caso, las que "aparecen" en la adolescencia, es decir, las hormonas sexuales (las cuales estudaremos más adelante).

Ahora bien, ¿qué son exactamente las hormonas y dónde se producen? Son moléculas complejas, cuya estructura química puede ser proteína o lipídica, y se producen en células que en conjunto forman órganos secretores llamados glándulas endocrinas. También secretan hormonas células endocrinas aisladas en el interior de tejidos de otros órganos.

Las hormonas son liberadas en pequeñas cantidades y transportadas por medio de la sangre hacia los órganos sobre los cuales van a ejercer su acción llamados órganos blancos. Te estarás preguntando cómo los reconocen. Ocurre que cada hormona tiene una estructura molecular que la caracteriza, la cual le permite "identificarse" y unirse a receptores específicos presentes en la membrana plasmática o en el interior de las células del órgano, llamadas células blanco o diana.

Las hormonas de estructura proteína se unen a receptores de membrana, es decir, ejercen su efecto sin entrar en la célula. En cambio, las de naturaleza lipídica (esteroideas) lo hacen a receptores que se encuentran en el interior de las células blanco.



Pero volvamos a los granitos que aparecen en el rostro de los adolescentes: ¿cómo intervienen las hormonas en su formación? La explicación es la siguiente: las glándulas sebáceas están ubicadas por debajo de la epidermis (capa más superficial de la piel), en la dermis más precisamente, conectadas con los folículos pilosos (donde se originan los pelos), y producen un sebo que ayuda a lubricar cada pelo y la piel circundante. En la adolescencia, aumenta la concentración de hormonas sexuales que estimulan estas glándulas; por lo tanto, estas fabrican mayor cantidad de sebo que lo normal, y el folículo piloso se tapa. De esta manera, quedan atrapados en el exceso de sebo células dérmicas muertas y bacterias y, como consecuencia de esto, el resultado es la formación de los terribles granitos, lo que puede derivar en el llamado acné vulgar o acné juvenil.

### Función de las hormonas

A además de las sexuales (responsables de los cambios corporales que ya habrás empezado a notar), nuestro cuerpo produce gran variedad de hormonas que controlan diversos procesos, como la regulación de la cantidad de agua que eliminamos en la orina. Las hormonas están involucradas en el control de:

- las reacciones metabólicas (transformaciones de materia acompañadas de variaciones de energía que se llevan a cabo en la interior de las células);
- las condiciones del medio interno (como su composición y volumen);
- el desarrollo y el crecimiento;
- los procesos reproductivos, como la gametogénesis (formación de los gametos, es decir, de células sexuales masculinas y femeninas), la gestación, el parto y la lactancia;

- el funcionamiento del sistema inmunológico;
- la homeostasis, que, como vimos en el capítulo 1, es el mantenimiento de un estado estable o de equilibrio en el cuerpo, que se obtiene por medio de diferentes funciones que realizan las células.

El sistema endocrino, junto con el sistema nervioso (que ya estudiaste en el capítulo 5), es el responsable de dos funciones generales: integrar las actividades de distintos órganos y mantener la homeostasis del organismo.

El rol que cumplen las hormonas es fundamental para que un organismo funcione correctamente, y sean constantes ciertas condiciones, como mantener la temperatura corporal sin variaciones o conservar la concentración de iones y de gases, el volumen de agua, etcétera.

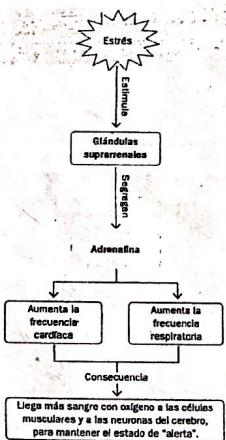
Las hormonas actúan como mensajeros químicos que transmiten su mensaje hacia las células diana, las cuales responden a estas señales hormonales modificando su funcionamiento.

Para que entiendas mejor cómo actúan los mensajeros químicos, y la relación que tienen con la homeostasis, veamos el siguiente ejemplo. Supón que vas a cruzar la calle y te sorprende la llegada de un auto que no habías visto. Entonces, ¿qué sucede? Además de asustarte, inmediatamente tu corazón empieza a latir a una velocidad mayor que la normal. Esto se debe a que sufiste una situación de estrés, y el cuerpo responde frente a ella. El estrés es un estímulo que desencadena la secreción de la hormona adrenalina por medio de la glándula suprarrenal (en la página 116 hay más información sobre esta glándula), que pone al organismo en "alerta" para responder ante una situación estresante. Cuando esta última desaparece, disminuye la concentración de adrenalina, y el estado de equilibrio retorna al organismo.



Ante una situación de estrés, como sorprenderse con un auto al cruzar la calle, la glándula suprarrenal segregó adrenalina.

#### Mecanismo de acción de la adrenalina



#### Recordá

1. Explicá con tus palabras:
  - a) La relación que existe entre los siguientes términos: glándula - hormona - célula diana.
  - b) El concepto de homeostasis.
  - c) Cómo se relaciona el estrés con las hormonas.

#### Relacioná

2. Teniendo en cuenta la información de esta página, elegí tres de las funciones de nuestro cuerpo que regulan las hormonas y relacionalas en un párrafo.

3. Pensá un ejemplo cotidiano que puedas utilizar para explicar la especificidad que se establece entre una hormona y el receptor de la célula diana.

4. Releé el capítulo 5 y elaborá en tu carpeta un cuadro comparativo entre el sistema nervioso y el sistema endocrino que contenga los siguientes puntos de comparación: tipo de señal, cómo se produce, cómo se transporta.

Sistema	Tipo de señal	¿Cómo se produce?	¿Cómo se transporta?
Nervioso			
Endocrino			

## Las glándulas endocrinas y su función

A estas alturas, te habrás dado cuenta de que el sistema endocrino es fundamental para que el cuerpo humano funcione en óptimas condiciones, es decir, para que mantenga la homeostasis. Este sistema está formado por glándulas que cumplen exclusivamente la función endocrina (glándula tiroides, paratiroides, etc.) y otros órganos que, además de otras funciones, desarrollan actividades endocrinas, como los ovarios, los testículos, el estómago, y últimas investigaciones han demostrado que el corazón, también.

En el esquema de esta página y en el de la siguiente están representados los componentes del sistema endocrino, y explicadas sus principales características. Cabe aclarar que, con excepción de los testículos, los ovarios y la placenta, el resto de los componentes del sistema endocrino están presentes tanto en las mujeres como en los varones.

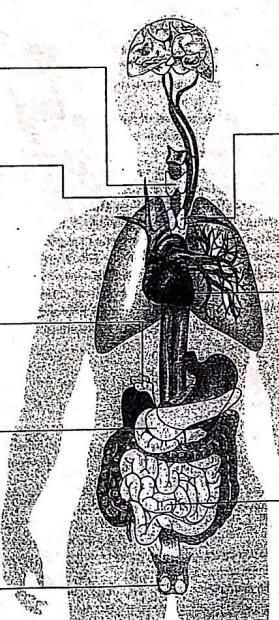
**Glándula tiroides.** Está ubicada sobre la parte anterior de la tráquea. Las hormonas que secreta son: la tiroxina ( $T_4$ ) y la triyodotironina ( $T_3$ ), las cuales se encargan de regular el metabolismo celular.

**Glándulas paratiroides.** Son cuatro glándulas pequeñas ubicadas a los lados de la glándula tiroides, en el cuello. Secretan paratiroxina (PTH), cuya función principal es regular la concentración de calcio (Ca) y fósforo (P) en el organismo.

**Glándula suprarrenal.** Se encuentra adosada al extremo superior de los riñones y se divide en dos partes: corteza y médula. La corteza secreta principalmente las hormonas aldosterona y cortisol; entre sus funciones más destacadas están las secretiones de sodio y fósforo en el organismo. En la médula se sintetizan la adrenalina y la noradrenalina, hormonas que preparan al organismo para enfrentar situaciones de estrés.

**Páncreas.** Como órgano endocrino, el páncreas permite mantener la glucemia sanguínea (glucosa en sangre) dentro de valores normales, y para esto produce dos hormonas: insulina y glucagón. Se ubica detrás del estómago y conecta con el duodeno.

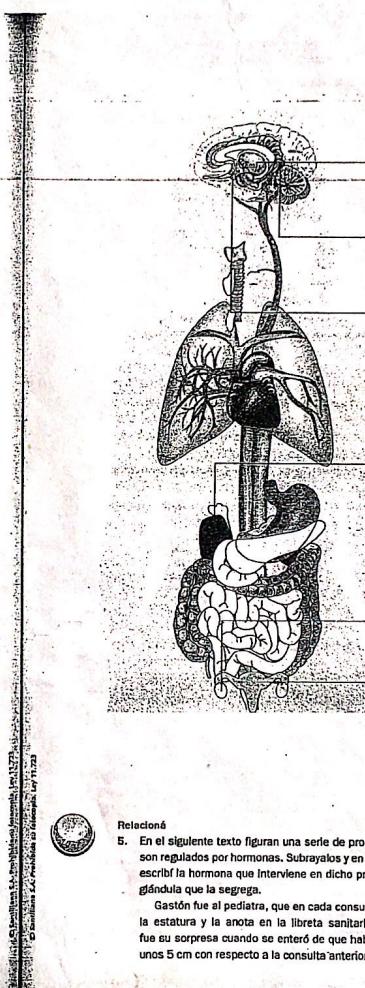
**Testículo.** Glándulas que se encuentran dentro del escroto y secretan la hormona testosterona, cuya concentración es mayor en el hombre y determina los caracteres sexuales secundarios masculinos. En los testículos también se producen los espermatozoides.



**Tiroides.** Órgano que se encuentra por detrás del estómago, entre los pulmones. Produce hormonas que estimulan la proliferación y maduración de los linfocitos T (un tipo especial de glóbulo blanco), encargados de la defensa del organismo.

**Corazón.** En las aurículas se produce una hormona llamada péptido natriurético auricular, que aumenta la excreción de sodio y agua en la orina, y dilata los vasos sanguíneos para reducir la presión arterial.

**Tracto gastrointestinal.** En el estómago y en el intestino delgado se secretan varias hormonas que regulan a las enzimas (un tipo especial de moléculas que intervienen en la degradación química de los alimentos). Un ejemplo es la hormona gastrina.



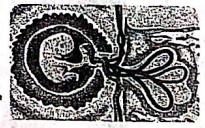
**Hipotálamo.** Estructura del sistema nervioso que funciona como órgano neuroendocrino fundamental. Puede considerarse como un "director" para el sistema endocrino. Junto con la glándula hipofisaria, regula una gran cantidad de funciones del cuerpo.

**Glándula hipofisaria.** Se encuentra ubicada en la base del encéfalo, cerca del hipotálamo. Su función es producir y secretar la hormona melanotropina, que está relacionada con los ritmos biológicos, la regulación del sueño y la disminución del estrés.

**Glándula pituitaria.** Se encuentra en la base del cerebro, por debajo del hipotálamo. Entre sus funciones se encuentra la de coordinar a las demás glándulas endocrinas, por eso se la denomina "glándula maestra", y regular el crecimiento corporal.

**Rilenes.** Órganos que liberan la hormona antidiuretina, que estimula la producción de glóbulos rojos (eritrocitos) en condiciones de hipoxia (menor cantidad de oxígeno en la sangre que lo normal).

**Ovarios.** Glándulas ubicadas en la cavidad pélvica que forman parte del sistema reproductor femenino. Sintetizan y secretan las hormonas sexuales femeninas estrógenos y progesterona, responsables del ciclo menstrual, de la gestación y del parto.



**Placenta.** Durante el embarazo, se desarrolla en el útero la placenta. Este órgano nutre al embrión y produce diferentes hormonas: estrógenos, progesterona, entre otras. Lactancia (sustancia presente en la leche durante la gestación y que constituye la base de las pruebas de embarazo), estrógenos, progesterona, y somatotropina coriónica humana.

### Relación

5. En el siguiente texto figuran una serie de procesos que son regulados por hormonas. Subrayalos y en tu carpeta escribe la hormona que interviene en dicho proceso y la glándula que la segregó.

Gastón fue al pediatra, que en cada consulta le mide la estatura y la anota en libreta sanitaria. Grande fue su sorpresa cuando se enteró de que había crecido unos 5 cm con respecto a la consulta anterior. Para fes-

tejar, se tomó un submarino y comió torta de chocolate, y después se fue a jugar al fútbol. Cuando volvió a su casa, lo interceptaron unos perros que comenzaron a ladrar y la dieron un gran susto; su corazón empezó a latir fuertemente.

### Investigá

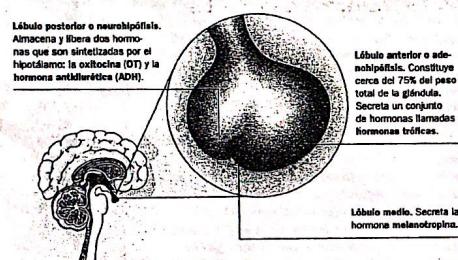
6. ¿Por qué es tan importante incorporar yodo con la dieta alimenticia?

## Hipófisis: la glándula "maestra"

De todas las glándulas del sistema endocrino, la hipófisis o pituitaria cumple un rol fundamental en la coordinación entre los sistemas nervioso y endocrino, debido a la comunicación que establece con el hipotálamo y con el resto de las glándulas endocrinas. Es imprescindible para la regulación de los procesos fisiológicos, ya que sus hormonas controlan la secreción de otras glándulas endocrinas.

A la vez, el hipotálamo controla la mayoría de los órganos del cuerpo a través de sus conexiones –como ya vimos en el capítulo 5– con el sistema nervioso autónomo y debido a su influencia sobre las hormonas que produce la hipófisis (más adelante verás con detalle cómo se lleva a cabo esta regulación).

La hipófisis es una pequeña glándula del tamaño de una arveja, ubicada en la base del encéfalo. En ella se pueden distinguir tres partes o lóbulos: uno anterior, uno posterior y uno intermedio, muy pequeño, que conecta a los otros dos.



En el siguiente cuadro figuran las hormonas que secretan la adenohipófisis, el lóbulo medio y la neurohipófisis, y la función que cumple cada una de ellas.

Lóbulo de la hipófisis	Hormona	Función
Adenohipófisis	Somatotrofina (GH)	Promueve el crecimiento de los huesos y de todos los tejidos del cuerpo.
	Trototrofina (TSH)	Regula la producción y secreción de hormonas tiroideas.
	Hormona adrenocorticotrófica (ACTH)	Regula la secreción de hormonas de la corteza suprarrenal.
	Prolactina (LTH)	En las mujeres estimula la producción de leche durante el embarazo y la lactancia.
	Hormona foliculo estimulante (FSH)	En las mujeres estimula la formación de los folículos ováricos donde se encuentran los óvulos. En el hombre estimula la formación de espermatozoides.
	Hormona luteinizante (LH)	Estimula la ovulación en la mujer y la síntesis de hormonas sexuales.
Neurohipófisis	Oxitocina	Estimula las contracciones del útero en el momento del parto y facilita la eyeción de leche de las glándulas mamarias durante la lactancia.
	Hormona antidiurética (ADH)	Promueve la reabsorción de agua en los túbulos renales, por lo que se reduce la excreción de orina.
Lóbulo medio	Melanotropina	Estimula la síntesis de melanina, pigmento de la piel que se produce en las células llamadas melanocitos.

## Tipos de glándulas

Hasta ahora, estudiaste la función que cumplen las glándulas endocrinas. Pero ¿existe otro tipo de glándulas? ¿Cómo están formadas? Veamos. Las glándulas son estructuras que están constituidas por células que tienen la función de sintetizar y secretar (liberar) sustancias. Las glándulas endocrinas, como ya estudiaste, sintetizan y liberan hormonas a la sangre. Pero este no es el único tipo de glándulas que existe. En nuestro organismo, también hay glándulas de secreción mixta y glándulas exocrinas. Las primeras forman parte del sistema endocrino, mientras las segundas, no.

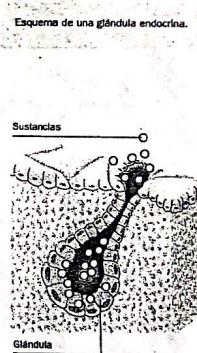
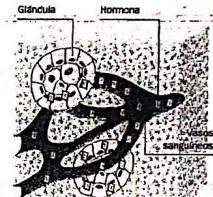
### Glándulas del sistema endocrino

Las glándulas endocrinas son estructuras muy vascularizadas –es decir, irrigadas por una gran red de capilares sanguíneos–, de paredes delgadas y porosas. Las células de estas glándulas segregan sus productos directamente en la sangre. El mecanismo es el siguiente: las hormonas, como secreciones internas, son liberadas en el espacio intersticial (entre células) y se difunden hacia el interior de algún vaso sanguíneo, el cual las transporta por la sangre hacia las células diana. A diferencia de las secreciones exocrinas, las hormonas nunca pasan a través de un conducto. Como ya sabes, son ejemplos de glándulas endocrinas: la tiroides, la hipófisis y las suprarrenales.

Las glándulas de secreción mixta cumplen una doble función: endocrina (al liberar hormonas a la sangre) y exocrina (al liberar diferentes sustancias –o células– al exterior del organismo o al interior de otros órganos). El páncreas, por ejemplo, es una glándula de secreción mixta porque produce y libera jugo pancreatico en el interior del intestino delgado (función exocrina), y además sintetiza y libera las hormonas insulina y glucagón al torrente sanguíneo (función endocrina).

### Glándulas exocrinas

Este grupo de glándulas no sintetizan hormonas, sino diferentes sustancias que son secretadas por medio de conductos que se dirigen hacia la superficie del cuerpo, como las glándulas sudoríparas. También se incluyen en este grupo las glándulas sebáceas, salivares, lacrimales y las mamarias. Otro ejemplo de glándulas exocrinas son las glándulas vestibulares en las mujeres. Se trata de dos glándulas diminutas, situadas a ambos lados del orificio vaginal, cuyas secreciones actúan como lubricante de los órganos genitales externos. Análogamente, en los varones, existen las glándulas bulbouretrales, son dos glándulas ubicadas por debajo de la próstata, que segregan un líquido que lubrifica la uretra antes del paso del semen.



Esquema de una glándula exocrina.

### Recordá

7. Indicá V (verdadero) o F (falso) al lado de cada una de las afirmaciones y escribe de manera correcta las proposiciones que sean falsas.
- Las hormonas son segregadas por las glándulas exocrinas.
  - Las hormonas, que sintetizan los órganos blancos, son segregadas a la sangre.
  - La oxitocina y la hormona antidiurética son sintetizadas por la neurohipófisis.
  - La tiroides regula la glucemia.
  - Las glándulas mamarias son un ejemplo de glándula de secreción mixta.
8. ¿Por qué motivo están tan vascularizadas las glándulas endocrinas?
9. Como ya estudiaste, las hormonas pueden ser lipídicas o proteicas. ¿Qué relación encontrás entre la estructura química de las hormonas y el desarrollo del retículo endoplasmático rugoso o el retículo endoplasmático liso que puede haber en las células que las sintetizan?
10. Teniendo en cuenta lo que estudiaste sobre las glándulas y las hormonas, ¿te parece que los ovarios y los testículos pueden ser considerados como glándulas de secreción mixta? Justificá tu respuesta.

Por lo general, la observación es el punto de partida de toda investigación. Supone la utilización de los sentidos y requiere saber identificar lo que es relevante, teniendo en cuenta el problema que se investiga.

## Las hormonas en la adolescencia

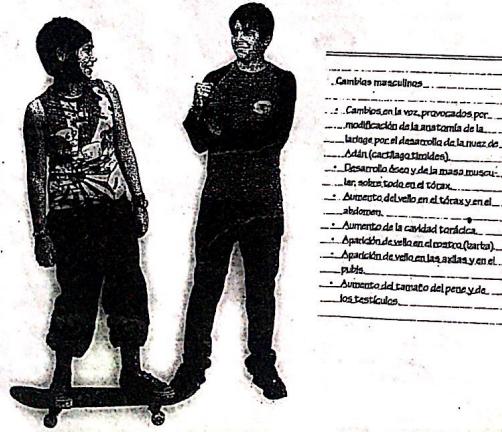
En la pubertad (primera etapa de la adolescencia), las hormonas cumplen un papel primordial. Las nuevas manifestaciones físicas que se observan en el cuerpo de las chicas y de los chicos son producto de las hormonas secretadas por las glándulas sexuales: los ovarios en las mujeres y los testículos en los varones. Los estrógenos y la progesterona son las hormonas sexuales femeninas, y la testosterona es la hormona sexual masculina.

Tanto en las mujeres como en los varones, estas hormonas provocan una serie de cambios corporales a través de los cuales se manifiestan los caracteres sexuales secundarios. Al pie de esta página se muestran los cambios observables, femeninos y masculinos.

Las hormonas sexuales comienzan a producirse aproximadamente entre los 10 y 16 años, y además de intervenir en la aparición de los caracteres sexuales secundarios de las chicas y de los chicos, posibilitan el inicio del período fértil de la vida.

Los estrógenos y la progesterona provocan la madurez sexual en las chicas, es decir que "preparan" el cuerpo para la procreación y el embarazo. En esta etapa comienzan a formarse los óvulos, que son las células sexuales femeninas (gámetos femeninos). En los varones, la testosterona es la encargada de estimular los testículos para que produzcan espermatozoides, que son las células sexuales masculinas (gámetos masculinos).

La liberación de espermatozoides comienza en la adolescencia y se mantiene durante toda la vida del varón. En las mujeres, en cambio, esto no es así; la liberación de óvulos es periódica, y se produce de manera cíclica, en lo que se denomina ciclo menstrual. Este ciclo, que también se inicia en la adolescencia, no dura toda la vida de la mujer, sino que culmina en una etapa llamada menopausia, que normalmente se produce entre los 45 y 50 años.



Desde la primera menstruación –llamada menarca– hasta la menopausia, cada mes el ovario libera un óvulo (o al menos uno), y el útero se prepara para recibir eventualmente al embrión en el caso de que el óvulo sea fecundado. Veámos con más detalle cómo se llevan a cabo ambos procesos, la ovulación y las modificaciones del útero.

Todos los meses ocurre el mismo ciclo: por acción de la hormona folículo estimulante (FSH), comienzan a desarrollarse folículos en el ovario; los cuales segregan estrógenos, estimulando así el crecimiento del endometrio (tejido que recubre las paredes internas del útero). Una sola de los folículos completa su maduración y produce un óvulo.

Arededor del día 14, el folículo libera el óvulo (ovulación). Cuando esto sucede, por acción de la hormona luteinizante (LH) el folículo roto se transforma en el cuerpo lúteo o amarillo, y comienza a secretar estrógeno y gran cantidad de progesterona. Esta hormona prepara al útero engrosando el endometrio para la posible implantación del óvulo fertilizado. Este tejido es una especie de "colchón" formado por una gran cantidad de células y de vasos sanguíneos que, en el caso de que haya fecundación, nutrirán y albergarán al cigoto hasta que culmine su desarrollo.

Por el contrario, si la fecundación no se lleva a cabo, el cuerpo lúteo degenera, se interrumpe la secreción de estrógeno y de progesterona, lo que determina que deje de crecer el endometrio; entonces, este tejido se desprende y se elimina al exterior como un sangrado cada vez. Esto es lo que se denomina menstruación.

El ciclo menstrual, por lo general, dura entre 28 y 30 días, que se cuentan desde el inicio de la primera menstruación hasta el primer día de la menstruación del mes siguiente. Al iniciarse un nuevo ciclo, aumenta otra vez la producción de las hormonas folículo estimulante (FSH) y de la hormona luteinizante (LH).

### La regulación del ciclo menstrual

Seguramente habrás escuchado que se puede optar por distintos métodos para "cuidarse" y evitar embarazos no deseados. De hecho, en la actualidad, está ampliamente aceptado que las personas, sea por el motivo que fuere, tienen derecho a controlar la natalidad o, lo que es lo mismo, decidir cuándo tener hijos. Los métodos para tal fin variarán de acuerdo con los estilos de vida, las creencias, las diferentes circunstancias y el desarrollo científico del momento.

Uno de los métodos anticonceptivos usados se basa en el control hormonal en las mujeres. Así, el ciclo menstrual puede ser alterado incorporando compuestos elaborados con hormonas sintéticas, similares a las que produce naturalmente la mujer. Estas sustancias, denominadas anticonceptivos hormonales, varían el funcionamiento normal de los ovarios e inhiben la ovulación, y así, un posible embarazo. Algunos de estos compuestos están elaborados con estrógenos y otros con progesterona, pero la mayoría contiene una mezcla de ambas hormonas.

Es importante igualmente tener en cuenta que estas sustancias no evitan el contagio de infecciones de transmisión sexual, y que deben ser recomendadas por un especialista después de un examen médico, ya que en muchas mujeres su consumo puede estar contraindicado.

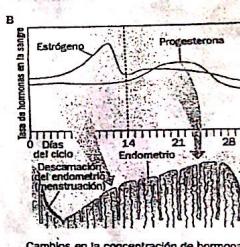
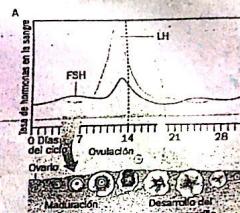
### Resolvé

11. Completá el siguiente esquema indicando cuál es el estímulo, dónde se procesa y cuál es la respuesta a ese estímulo en el ciclo menstrual basándose en la acción de las hormonas.

Señal → Procesamiento → Respuesta

### Investiga

12. ¿A quiénes se denominó "castrati"? ¿Qué relación tiene este término con los temas que estudiaste hasta ahora?



Cambios en la concentración de hormonas FSH, LH, estrógeno y progesterona durante el ciclo menstrual. La variación de estas hormonas está relacionada con cambios que se producen: A. En el folículo ovárico dentro del ovario y B. En el endometrio en el interior del útero.

## Conoce

### La enfermedad "dulce"

Cuando una persona tiene diabetes, en la mayoría de los casos, padece una enfermedad conocida en el ámbito científico como diabetes mellitus. ¿De dónde viene esta denominación? Estas palabras tienen raíces en el griego y el latín.

En griego, *diabētos* significa "ender o pasar a través" y se refiere a la facilidad con que el líquido que ingiere un paciente diabético sale al exterior como orina, es decir que no solo bebe mucho sino que también orina copiosamente.

En latín, *mellitus* deriva de miel, es exactamente: "duce como la miel" y se refiere, precisamente, a que la orina de un paciente diabético suele contener azúcar y tener un gusto dulce como la miel. Este hallazgo fue descubierto por los médicos recién a fines del siglo XIX.



El médico canadiense Frederick Banting obtuvo el premio Nobel de Medicina en 1923 por su descubrimiento de la insulina.

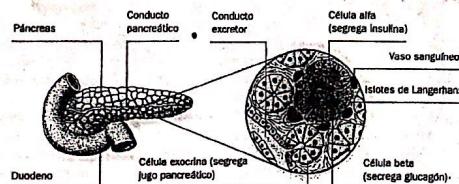
## El páncreas y la regulación de la glucemia

Como ya te contamos, el páncreas es una glándula de secreción mixta; pero, en esta ocasión, vamos a centrar nuestra atención en la función endocrina de este órgano, es decir, en la función que cumplen las hormonas que el páncreas produce: insulina y glucagón.

Descubrir la función endocrina del páncreas fue un arduo y largo camino. Hasta el momento, los primeros registros que se conocen sobre la función pancreática datan de un papiro encontrado en Egipto en el 1500 a. C., donde se encuentra descrito un "extraño mal en el cual los enfermos adelgazan, tienen hambre continuamente, orinan en abundancia y se sienten atormentados por una enorme sed". Diez siglos después, en la India, también se encontraron escritos sobre "una enfermedad muy rara, propia de personas obesas que comen muchos dulces y arroz, y cuya característica más significativa es que su orina tiene un sabor dulce", por lo que la llamaron "orina de miel". Hoy sabemos que ambos tipos de descripciones hacen referencia a dos tipos diferentes de diabetes: la diabetes insípida (que estudiaremos más adelante) y la diabetes mellitus.

Cientos de años después se implementó la técnica de diseccionar animales para estudiar sus órganos. Así fue que un grupo de médicos disecó un mono cuya orina tenía "sabor dulce", y encontró que su páncreas estaba seriamente dañado. Y, como era de esperar, ante esta observación surgió el interrogante de qué relación existe entre un mal funcionamiento del páncreas y la orina dulce. Fue entonces que, a fines del siglo XIX, dos médicos alemanes, Josef von Mering y Oskar Minkowski, se interesaron sobre el tema y comenzaron sus investigaciones, pero en esta ocasión, empleando perros. Para averiguar cuál era esta relación, extirparon el páncreas de un perro, y los resultados observados en el animal fueron hinchazón, mucha sed, un nivel alto de glucosa en sangre (hiperglucemia) y una elevada liberación de orina dulce. Entonces, llegaron a la conclusión de que la ausencia de páncreas provocaba estos síntomas en el animal.

Pero ¿cómo es "exactamente" que el páncreas está involucrado en la regulación de la concentración de la glucosa sanguínea (glucemia)? La respuesta a esta pregunta llegó en el siglo XX, de la mano del médico canadiense Frederick G. Banting, quien inyectó a un perro sin páncreas una "sustancia" que había logrado extraer de ese mismo órgano. Al recibir esta sustancia, el animal disminuyó su glucemia en el lapso de dos horas: habían descubierto la insulina. Este perro fue el primer animal que pudo vivir sin páncreas durante varias semanas recibiendo extracto pancreático. Por el descubrimiento de la insulina, Frederick G. Banting recibió el premio Nobel en 1923. Pero ¿cómo actúa realmente la insulina? Para averiguarlo, seguí leyendo...



Esquema del páncreas y corte del tejido pancreático, en donde se distinguen zonas llamadas isletos de Langerhans formados por células productoras de hormonas.

El páncreas es un órgano fundamental para los seres vivos ya que regula la glucemia, es decir, la cantidad de glucosa que hay en la sangre. La glucemia normal en una persona en ayunas es de 76-110 mg/dL.

Veamos con más detallamiento la relación que existe entre el páncreas, la insulina y la glucosa. En primer lugar, es importante saber que la glucosa es un carbohidrato fundamental que las células usan como fuente de energía, por lo cual debe ingresar en ellas y no acumularse en la sangre. Si esto llega a ocurrir, trae aparejados serios problemas de salud. Ahora bien, ¿cómo hace la glucosa para ingresar en las células? En este punto, la insulina juega un papel fundamental porque:

- aumenta la permeabilidad de las células diana a la glucosa, lo que determina una disminución de la glucosa sanguínea. Por este motivo se considera a la insulina como una hormona hipoglucemianta;
- facilita la conversión de glucosa en glucógeno (molécula que almacena energía química) en el hígado.

La liberación de insulina se estimula por un exceso de glucosa en sangre y por hormonas gastrintestinales como la gastrina que son segregadas cuando llegan los alimentos al estómago.

Pero el páncreas también secreta otra hormona que está implicada en la regulación de la glucemia: el glucagón. Esta hormona, al revés que la insulina, es hiperglucemianta debido a que promueve la liberación de glucosa a la sangre por degradación del glucógeno hepático, es decir, aumenta la concentración de glucosa en la sangre.

La acción antagonista de la insulina y el glucagón permite mantener el nivel de glucosa sanguínea constante en el organismo, es decir, ambas hormonas están involucradas en el equilibrio homeostático de la glucosa. Cuando la concentración de la glucosa en la sangre es baja (hipoglucemia), el páncreas libera glucagón y, como consecuencia, aumenta la glucemia.

Si el organismo llega a una situación de hiperglucemia, inmediatamente se secreta insulina, lo que incrementa la captación de glucosa por las células diana y la formación de glucógeno en el hígado, y desciende así el nivel de glucosa en la sangre.

Cuando este mecanismo de regulación de la glucemia, en el cual está involucrada la insulina, no funciona, se produce la diabetes mellitus. Esta enfermedad se presenta de dos formas distintas. En la diabetes tipo 1 se sintetiza menos insulina, mientras en la diabetes tipo 2 el problema es la incapacidad de los receptores de las células diana para captar la hormona.

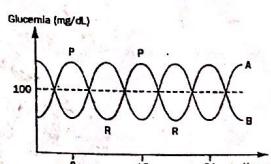
En ambas tipos de diabetes, el exceso de glucosa es excretada con la orina (glucosuria), que con el tiempo termina dañando los riñones y trayendo complicaciones con el sentido de la vista, entre otras graves consecuencias.

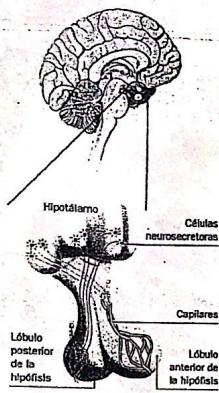
Por suerte, es una enfermedad perfectamente controlable, si el paciente se cuida con las comidas y sigue las indicaciones médicas.

### Resolvé

13. El siguiente gráfico muestra la variación de la glucemia en una persona durante un día. Analízalo y responde las preguntas.

- a) ¿Qué hormonas están representando las curvas A y B?
- b) ¿A qué momentos del día corresponden los puntos P y R, después de una comida o entre comidas? Fundamenta tu respuesta.
- c) ¿Dónde hay mayor concentración de glucógeno hepático, en P o en R? Justifica tu respuesta.





## Eje hipotalámico hipofisario: el control neuroendocrino

Como estudiaste en el capítulo 5, el sistema nervioso integra y controla todas las funciones corporales y, como acabás de ver en este capítulo, el sistema endocrino también colabora con esta tarea. Ahora bien, el sistema nervioso funciona de manera rápida y su acción perdura poco en el tiempo. Por ejemplo, cuando tu mano, sin querer, toma contacto con un objeto caliente, inmediatamente lo soltás. Por el contrario, la función de coordinación del sistema endocrino se lleva a cabo, en general, de manera más lenta, sus efectos tardan más tiempo en manifestarse (horas o días) y su acción es duradera. Pensa: ¿acaso te acostás como un niño y te levantas a la mañana siguiente como un adolescente? ¡Claro que no! Los cambios que observás en tu cuerpo durante esta etapa de tu vida son graduales y progresivos hasta que alcanzas la madurez.

A pesar de las diferencias que existen entre estos sistemas, ambos trabajan de manera coordinada, permitiendo, por ejemplo, que simultáneamente puedas realizar varias actividades, como escuchar música, mantener la glucemia, respirar, digerir un alimento y oler tu perfume preferido. Esto es posible debido al mecanismo de regulación que ejercen simultáneamente el sistema nervioso y el sistema endocrino, llamado control neuroendocrino, especialmente a través del hipotálamo y la hipófisis. Estas glándulas se encuentran por debajo del cerebro, a muy pocos milímetros de distancia una de otra.

Al recibir informaciones traídas por nervios provenientes del cuerpo y de otras partes del encéfalo, el hipotálamo secreta hormonas denominadas neurohormonas que estimulan o inhiben a la hipófisis para que esta, a su vez, libere otras hormonas.

Para que entiendas mejor la relación funcional que existe entre el hipotálamo y la hipófisis, leé el siguiente ejemplo.

Si por algún motivo las células disminuyen su metabolismo, este estímulo es captado por los receptores presentes en el hipotálamo. Este órgano recibe la información del medio y secreta la hormona liberadora de tiroxina (TRH), que es captada por receptores específicos presentes en la hipófisis.

Como consecuencia de la unión de esta neurohormona (TRH) con el receptor, la hipófisis libera la hormona que estimula la tiroide (TSH). Esta, a su vez, se une con los receptores específicos presentes en la glándula tiroidea, lo que determina la secreción de tiroxina, que se unirá a los receptores específicos presentes en la membrana plasmática de las células y estas, como consecuencia, aumentarán su actividad metabólica. ¿De qué manera? La tiroxina favorece la oxidación de biomoléculas y, como consecuencia de esto, las células obtienen energía. Al aumentar el metabolismo, el hipotálamo deja de segregar TRH.

En la página siguiente, aprenderás cómo se llama este mecanismo de regulación hormonal y cuál es la importancia de su función.

Otro ejemplo de integración neuroendocrina es la regulación de la temperatura corporal ante la disminución de la temperatura en el ambiente. El hipotálamo registra esa información a través de receptores nerviosos de la piel, y en respuesta pone en marcha un mecanismo para re establecer la temperatura y así la homeostasis. Intervienen el sistema nervioso autónomo y de relación (o somático), y glándulas como la tiroide. Los capilares sanguíneos de la piel se contraen para evitar la pérdida de calor y también los músculos. A la vez, la tiroide incrementa la producción de tiroxina, y esta la actividad metabólica liberando energía. Todas estas acciones contribuyen a llevar la temperatura nuevamente cerca de los 37 °C.

El hipotálamo es una estructura del sistema nervioso localizada en la base del cerebro. Sus células producen neurohormonas que actúan sobre la hipófisis y estimulan la producción de sus hormonas.

### Retroalimentación o feedback

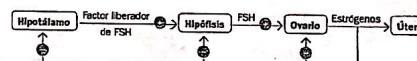
Como ya estudiaste, la coordinación hormonal implica:

- la secreción de hormonas, por medio de las glándulas endocrinas, al torrente sanguíneo;
- el transporte de estas hormonas por intermedio de la sangre;
- la llegada de las hormonas a los tejidos blanco o diana, que modificarán su actividad como producto de la acción hormonal.

Si bien estas tres características de la función hormonal son sumamente importantes, todavía quedan por responder algunos interrogantes, por ejemplo, ¿cómo se regula la secreción de hormonas? Esto se lleva a cabo por un mecanismo que actúa con mucha exactitud, de manera milimétricamente regulada y, en el caso de que esto no ocurra, sobrevenen los desequilibrios hormonales. En la mayoría de los casos, la secreción hormonal está regulada por otras hormonas mediante un mecanismo llamado retroalimentación o feedback. ¿En qué consiste este mecanismo de regulación? Para entenderlo, veámos los siguientes ejemplos.

La TSH, como ya estudiaste, es una hormona hipofisaria que estimula la secreción de tiroxina por la glándula tiroidea. Ahora bien, ¿es indefinida la secreción de TSH? No, ya que altos niveles de tiroxina en la sangre inhiben la producción de TSH por la hipófisis.

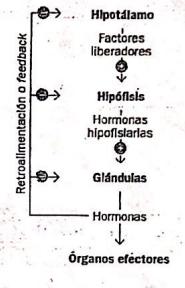
La hipófisis también segregá la hormona folículo estimulante (FSH) del folículo. Esta hormona, a su vez, estimula al ovario para que libere estrógenos y estos actúen sobre los órganos blanco, como el útero. El aumento de la concentración de estrógenos en la sangre inhibe que la propia glándula (el ovario) siga liberando esta hormona. Pero eso no es todo: los estrógenos también inhiben la producción y liberación de la FSH por parte de la hipófisis. Además, actúan sobre el hipotálamo y dejan de segregarse el factor liberador de FSH. A esto se lo llama retroalimentación negativa. Cuando los niveles de estrógenos disminuyen, se interrumpe el feedback: el hipotálamo estimula nuevamente a la hipófisis y las hormonas hipofisarias al ovario para que se reicle la producción de estrógenos.



Pero la producción de hormonas también puede ser regulada por otras sustancias que no son hormonas, como por ejemplo la glucosa o el sodio. Ya estudiaste la regulación de la glucemia que hacen la insulina y el glucagón. En el caso del sodio, si disminuye este mineral en el organismo, interviene la hormona segregada por la glándula suprarrenal, la aldosterona, que reabsorbe el sodio a nivel del riñón para que no se pierda con la orina e ingrese en las células. Si el nivel de sodio aumenta en el organismo, disminuye la producción de aldosterona y el sodio se excreta con la orina, lo que evita la retención de agua y una posible suba de la presión arterial.

### Recordá

18. Subraya las oraciones que son falsas y escríbelas de manera correcta en tu carpeta.
- El organismo se encuentra bajo un control neuroendocrino.
  - El estrés no altera la homeostasis.
  - La secreción de una hormona se regula por sí misma.
  - La actividad endocrina depende del tipo de célula y de dónde actúa.
  - No existe conexión fisiológica entre la hipófisis y el resto de las glándulas.



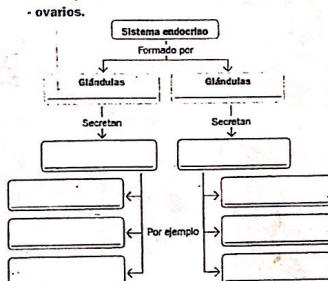
La retroalimentación negativa es el caso más difundido y se da cuando al aumentar los niveles de una hormona por encima de un determinado valor, la propia hormona inhibe su secreción.

## Actividades finales

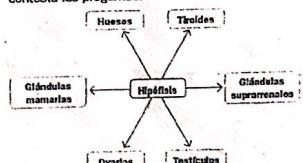
### Recordar

19. Elegí de la lista los términos que correspondan y completa el diagrama.

endocrinas - hormonas - hipófisis - hormonas y otras sustancias (o células) - páncreas - testículos - suprarrenales - mixtas - estómago - tiroides



20. Observá el siguiente esquema del sistema endocrino y esribí sobre las flechas el nombre o la sigla de la hormona que secreta la hipófisis en cada caso. Luego contestá las preguntas.



- a) ¿Por qué se denomina a la hipófisis glándula maestra?
  - b) ¿Dónde se halla ubicada esta glándula?
  - c) ¿Cómo llegan las hormonas producidas por la glándula hipófisis hasta las células diana en las cuales actúan?
  - d) ¿Qué sucedería si la glándula hipófisis segregara menor cantidad de hormona fólico estimulante (FSH)? ¿Y si segregara menor cantidad de hormona luteinizante (LH)?

### Relacioná

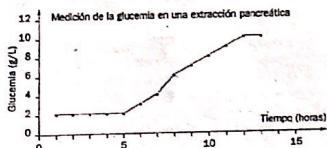
21. Observá las fotografías e indicá qué tipo de glándulas intervienen en el desarrollo de un embarazo y en la producción de sudor. Enumerá todas las sustancias que producen estas glándulas y cuál es su función.



### Resolve

22. El siguiente gráfico muestra la concentración de glucosa en la sangre de un perro al que se le extrajo el páncreas. De acuerdo con la información que brinda el gráfico, contesta las preguntas.

  - Explíca la forma de la curva.
  - ¿Qué efecto tiene la extracción del páncreas sobre la glucemia?
  - ¿Es posible restablecer la glucemia normal en este animal? Si lo es, ¿de qué manera se puede lograr?



### Investigations

23. Los corticoides, como el cortisol y la cortisona, son hormonas que el organismo elabora en las glándulas suprarrenales. Se producen en dosis muy pequeñas e intervienen en los procesos inflamatorios del organismo, atenuándolos.

  - ¿Cuál es la importancia de usar corticoides en un proceso asmático?
  - ¿A qué se deben los riesgos de su uso indiscriminado?

TANÍTÁS

## Control hormonal en los animales y las plantas

### Punto de partida

Agus llegó de la escuela más temprano que de costumbre. Tenía mucha hambre, y quería comer algo fresco. Fue directo a buscar una manzana pero, al morderla, notó que estaba pasada. Tomó otra y recordó que también estaba en mal estado. Entonces, le vino a la mente la frase "una manzana podrida pude todo el cajón". Pensó que con frecuencia observábamos hechos de la naturaleza que, por ser cotidianos, no nos llaman la atención. Sin embargo, sería bueno entender por qué suceden. ¿Qué desencadenaba la maduración de los frutos? O... ¿Por qué se une una manzana más "vieja" en contacto con otra menos madura, esta última acelera su maduración? ¡Uf! ¿Cuántas preguntas! Agus se acordó de que su mamá también había comprado bananas y, por suerte, estaban en buen estado.

- a) ¿En qué contexto se suele mencionar la frase "una manzana podrida pudre todo el cajón"?
  - b) ¿Te parece que una fruta se pudre solo por acción de microorganismos? Relacionalo con el título del capítulo.
  - c) ¿Sabés qué es lo que desencadena la maduración de los frutos? ¿Serán en todos frutos el mismo proceso?
  - d) ¿Qué tendrá en común la caída de las hojas con la maduración de los frutos? ¿Estarán involucradas las mismas sustancias tanto en un caso como en el otro?
  - e) ¿Qué argumento utilizarías para explicar que algunas plantas pierden todas sus hojas en otoño y esto no sucede en otra estación del año?

## Las hormonas vegetales

Ya sabes que las plantas, para crecer y desarrollarse, requieren condiciones adecuadas de luz, temperatura, agua y nutrientes. Pero además cuentan con sustancias que regulan y coordinan las funciones del organismo. ¿Sabes cuáles son esas sustancias? ¡Adivinal! Son hormonas.

Al igual que en los animales, las **hormonas vegetales** o fitohormonas son producidas en tejidos ubicados en determinadas zonas de la planta, y migran hacia otros donde ejercen sus efectos. Se sintetizan en cantidades muy pequeñas y son transportadas hacia lugares distantes de la planta por vasos pero, en este caso, por los vasos de conducción vegetales llamados **xilema** y **floema**.

Una de las diferencias de las fitohormonas con respecto a las hormonas animales, es que las primeras se producen en células especiales que no constituyen glándulas. Otra diferencia es que un mismo proceso puede estar regulado simultáneamente por varias fitohormonas que interactúan entre sí. En ocasiones propician y en otras inhiben determinados procesos fisiológicos. Por lo tanto, en este "juego" de estimulación e inhibición radica la clave de la regulación y coordinación de la fisiología vegetal.

Ya vimos en el capítulo 2 que frente a estímulos externos como la luz, el agua o la fuerza de gravedad, las plantas responden con movimientos de crecimiento en la misma dirección del estímulo. Estos movimientos reciben el nombre de **trófismos** y en este capítulo veremos que están vinculados con la distribución de las hormonas en la planta y con su función reguladora.

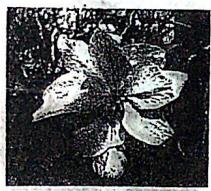
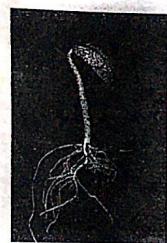
### Fitohormonas y ciclo vital

Como todo ser vivo, las plantas cumplen un **ciclo vital** en el cual se distinguen varias etapas importantes. La primera consiste en la etapa germinativa de la semilla, que da origen a una plántula con sus primeras hojas. Le sigue una etapa vegetativa que se caracteriza por el crecimiento y la diferenciación en tallo, raíces y hojas. Más adelante llega la etapa reproductiva, en la cual algunas plantas producen flores, que tras ser fecundadas dan comienzo a la formación de un fruto que contiene semillas. Y finalmente, se reinicia el ciclo. En todas estas etapas participan fitohormonas.

Se conocen cinco grupos de fitohormonas, que son las responsables del control de la división celular, del crecimiento y de la diferenciación de las células que componen los diversos tejidos vegetales:

- auxinas;
- gibberelinas;
- citoquinas;
- etileno;
- ácido abscísico.

Además de regular el crecimiento y el desarrollo, las fitohormonas controlan la caída de las hojas, la floración, la maduración de los frutos y la germinación. Por ejemplo, para que una semilla germine, son necesarios tanto factores externos (componentes abióticos) como mecanismos de regulación internos, llevados a cabo por las hormonas vegetales. Algunas semillas no requieren condiciones especiales para la germinación y ni bien llegan al suelo empiezan a producir gibberelinas, hormonas encargadas de inducir la germinación. Pero otras, en cambio, si no disponen de la cantidad de agua y la temperatura requeridas, sintetizan el ácido abscísico, una hormona que hace que la semilla permanezca en un período de mínima actividad metabólica (dormición). De este modo, recién cuando las condiciones del medio son las adecuadas, se reinicia el proceso. Hay síntesis de gibberelinas (y también de auxinas), y la planta comienza a crecer: emerge la raíz y luego el tallo.



A. Las fitohormonas intervienen en todas las etapas que componen el ciclo vital de las plantas: A. Etapa germinativa; B. Etapa vegetativa; C y D. Etapa reproductiva.

### El descubrimiento de las primeras fitohormonas

Las hormonas vegetales, como ya te contamos, coordinan una gran variedad de funciones, pero asociar qué esas funciones son producto de la acción de las fitohormonas llevó muchos años de investigación.

Existen ciertos comportamientos vegetales que llamaban la atención de los científicos, como la elongación de los tallos en dirección a la luz, y no solo eso, sino que además, si se cambiaba la dirección en que se propagaban los rayos luminosos, los brotes también cambiaban el sentido de crecimiento y se orientaban hacia la luz.

Frente a esta observación, la pregunta fue inmediata: ¿Qué es lo que regula el crecimiento y la curvatura de los tallos en dirección a la fuente lumínosa? Luego de varias investigaciones, se llegó a la conclusión de que en la regulación de este comportamiento denominado fototropismo intervienen las auxinas, las primeras sustancias que fueron identificadas como fitohormonas.

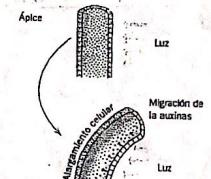
### Las auxinas

Las auxinas controlan los movimientos que realizan las plantas frente a estímulos como la luz (fototropismo) o la gravedad (gravitropismo) y que implican un crecimiento del vegetal a favor o en contra del estímulo. Como estudiaste en el capítulo 2, si el crecimiento es en el sentido del estímulo, se clasifica el tropismo como positivo; si el crecimiento se efectúa en contra del estímulo, el tropismo se considera negativo. Por lo tanto, podemos deducir que, en una planta, el tallo crece en dirección a la luz, por lo que tiene fototropismo positivo, y las raíces lo hacen en dirección al centro de la Tierra, por lo que el gravitropismo es positivo.

Ahora bien, ¿cómo regulan las auxinas estos comportamientos? Hoy sabemos que en el ápice o extremo del tallo las auxinas se desplazan de la cara iluminada hacia la no iluminada, y eso provoca que las células de ese lado se alarguen más que en la cara iluminada. Este hecho provoca que el tallo se doble en dirección a la fuente de luz.



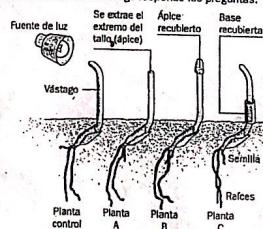
Los tallos de las plantas tienen fototropismo positivo, mientras que las raíces presentan fototropismo negativo.



Representación del doblamiento del tallo como consecuencia del desplazamiento de las auxinas hacia el lado no iluminado, lo que provoca un mayor alargamiento celular que en el lado opuesto.

### Relación

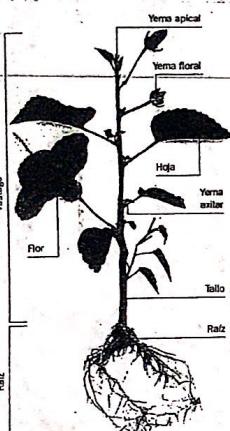
1. Observa el siguiente esquema donde se muestran cuatro ejemplos de una planta. Representa la experiencia realizada por Charles Darwin y su hijo Francis, en el año 1880, para estudiar el comportamiento que tienen las plantas frente a la luz. Luego responde las preguntas.



2. ¿Cómo se denomina el comportamiento que tienen las plantas frente a la luz?
3. ¿Cuál habrá sido la duda o curiosidad que funcionó como el punto de partida de esta investigación?
4. ¿Cuál fue la variable estudiada en esta experiencia?
5. Redacta la hipótesis que fue sometida a prueba.
6. ¿Qué sucede cuando se les corta el ápice a las plantas (planta A)? ¿Y cuando se lo tapa con un papel opaco (planta B)?
7. ¿Varía el comportamiento de las plantas frente a la luz si se cubre su base con un papel opaco (planta C)?
8. ¿A qué conclusión habrán llegado Darwin y su hijo con esta experiencia?

2. Enumera las semejanzas y las diferencias que encontrás entre la regulación y la coordinación que llevan a cabo las fitohormonas con respecto a las hormonas en el ser humano.

## Funciones de las fitohormonas



Principales partes de una planta con flores.

A continuación veremos las principales funciones de las auxinas y de las restantes fitohormonas.

### La función de las auxinas

En la página anterior quedó una pregunta por resolver: ¿cómo regulan las auxinas los tropismos? Para que entiendas la respuesta, es importante que recuerdes las partes que componen a una planta.

Las principales partes de las plantas integran dos regiones: el vástago y la raíz. El primero está constituido por las hojas y los tallos, órganos en los cuales se realiza la fotosíntesis, se transportan sustancias y también se producen hormonas. Por su parte, la raíz fija la planta a la tierra (sustrato), transporta el agua y las sales, produce hormonas, y almacena sustancias de reserva.

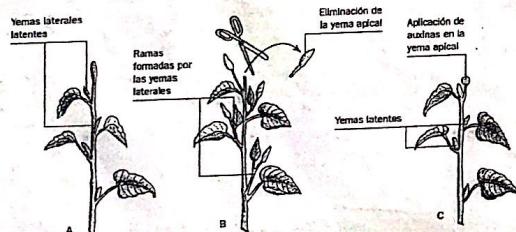
Las auxinas se producen en la yema apical de las plantas, ubicada en las puntas de los tallos, y donde se encuentran los tejidos de crecimiento o meristemas, responsables de que la planta crezca en longitud. También se producen auxinas en los meristemas localizados en las hojas jóvenes, en los frutos y en las semillas.

Uno de los efectos principales de las auxinas es causar el alargamiento de células generadas a partir de los meristemas, lo que promueve el crecimiento de raíces y tallos. Para entender cómo es el mecanismo, nos centraremos por un momento en el tejido meristemático de la yema apical, donde las células se reproducen de manera muy activa. Allí, la elevada concentración de auxinas determina que las células recién formadas se alarguen, produciendo el crecimiento de los tallos.

El efecto de las auxinas depende de su concentración en la planta. En concentraciones adecuadas, estas hormonas provocan el crecimiento máximo de las células; sin embargo, en concentraciones excesivas, inhiben el alargamiento celular.

Las raíces reciben las auxinas del ápice del tallo y requieren cantidades mínimas para crecer. En cambio, los tallos necesitan cantidades mayores. Por eso, concentraciones que son óptimas para el crecimiento de las raíces son insuficientes para tener efectos en el tallo. Por otro lado, a veces las concentraciones son suficientes para que crezca el tallo pero tienen un efecto inhibitor para las raíces.

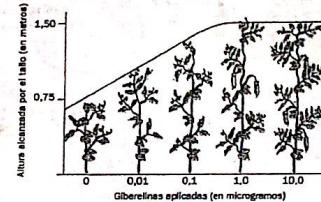
Se ha comprobado que las auxinas sintetizadas en los ápices inhiben el desarrollo de las yemas laterales; este fenómeno se llama dominancia apical. Si se retira la extremidad de una rama, el efecto inhibitor de la yema apical se cancela y las yemas laterales en las axilas de las hojas entran en desarrollo y producen ramas laterales. Si se elimina la yema apical pero se aplican auxinas en la región cortada, el desarrollo de las yemas laterales continuará inhibido, lo que demuestra que estas hormonas son las responsables de la inhibición.



### La función de las gibberelinas y citocininas

Como ya te contamos, las gibberelinas y las citocininas son otro grupo de fitohormonas que llevan a cabo funciones muy variadas en la célula. Las gibberelinas están presentes tanto en las semillas como en los frutos y, en menor cantidad, en las raíces, donde tienen un efecto poco significativo. Su acción más notoria es en los tallos. Estas fitohormonas estimulan la elongación de los tallos y también provocan el crecimiento de las hojas; promoviendo tanto el alargamiento de las células como su división.

En el siguiente gráfico podrás observar el efecto que producen diferentes concentraciones de gibberelinas en los tallos de una planta enana de arveja (*Plum sativum*). (En la sección "Ciencia sin fin" vas a encontrar información sobre cómo se descubrió esta fitohormona). —



Otra función de las citocininas es retrasar el envejecimiento de la planta: si se pone esta fitohormona en el agua de los floreros, los ramos de flores duran mucho más tiempo.

Las gibberelinas también intervienen en la germinación de la semilla. Veamos por qué. Cuando se prepara un germinador, el agua funciona como estímulo para que el embrión comience a sintetizar gibberelinas que difunden hacia otros tejidos de la semilla. En respuesta a este aumento de concentración de hormonas, un tipo especial de proteínas, las enzimas, estimulan la degradación de moléculas orgánicas almacenadas en la semilla, donde se hallan las reservas alimenticias que nutrirán al embrión durante su crecimiento.

Pero las gibberelinas no son las únicas fitohormonas que intervienen en la germinación. Por mucho tiempo, una de las grandes incógnitas en el estudio de este proceso fue saber cuáles son las hormonas que intervienen en la formación de los órganos vegetales y, una vez más, la respuesta a este interrogante llegó con la investigación realizada en el laboratorio. Los científicos descubrieron que si a un cultivo de células de la planta de tabaco se le agregan citocininas, empiezan a diferenciarse en tallos y raíces que comienzan a crecer. Otra conclusión a lo que llegaron fue que las citocininas, además de fomentar la diferenciación celular, promueven la multiplicación de las células de los tejidos y "trabajan de manera coordinada" con las auxinas. ¿Cómo es esto? Veamos...

Algunas fitohormonas participan en la dominancia apical pero tienen efectos antagonistas: las auxinas descienden por el tallo e inhiben el desarrollo de las yemas laterales, mientras que las citocininas provenientes de las raíces estimulan a las yemas para que se desarrollen. Cuando se elimina la yema apical (como viste en el esquema de la página anterior), la acción de las auxinas cesa y las citocininas provocan el desarrollo de las yemas laterales.

### Relacioná

3. ¿Cómo se relaciona la técnica de "poda" utilizada en jardinería con las auxinas?

### Investiga

4. Busca información para completar la siguiente frase: Algunas plantas son enanas porque...

## Conoce

### Moléculas que no son noticia

Seguramente la definición que encuentres en un diccionario del término difusión no tendrá mucho que ver con la biología ni con el etileno. Por lo general, se utiliza este concepto en el medio periodístico, en alusión a cómo se transmiten las noticias; por eso a los medios de comunicación masiva también se los conoce como "medios de difusión". Podemos además utilizar este término para explicar cómo la luz se propaga en todas direcciones. Pero si nos remitimos especialmente a las moléculas, se interpreta a la difusión como un mecanismo de transporte pasivo en el cual las moléculas se desplazan desde un lugar de mayor concentración hacia un lugar de menor concentración sin gasto de energía. Entonces, ¿las moléculas se difunden como las noticias? ¿O las noticias como las moléculas...? ¡Habrá que investigarlo!



El amaroramiento de algunos frutos es consecuencia del exceso de etileno.

Cicatriz en la zona de abscisión luego de la caída de la hoja.



Algunas plantas pierden sus hojas en otoño, y otras lo hacen regularmente. En ambos casos actúa el etileno debilitando las paredes de las células que forman la base del pecíolo de las hojas hasta que caen.

### La función del etileno y del ácido abscísico

¿Te acordás de la lectura de apertura? Allí se hacía mención a la siguiente frase: "una manzana podrida pudre todo el cajón". Ahora llegó el momento de que veamos cuál es el fundamento científico de esta observación. Como podrás deducir a partir de las páginas que ya leiste en este capítulo, la respuesta está en las hormonas vegetales.

La fitohormona responsable de la maduración de los frutos es el etileno. Esta sustancia química es muy particular porque es volátil, es decir, es una sustancia gaseosa que se distribuye por todas las partes de la planta, aparentemente por difusión. Cuando una manzana llega a su punto máximo de maduración, comienza a liberar etileno, y como esta hormona es volátil, se difunde por el aire. Entonces, cuando toma contacto con otras manzanas del cajón, acelera su proceso de maduración y esto hace que se pudran todas.

El etileno, junto con las auxinas, también participa en la abscisión de las hojas, es decir, su caída. En algunas plantas, la disminución de la temperatura provoca un descenso de la concentración de auxina de sus hojas y, a la vez, el aumento de la síntesis de etileno.

Veamos... La pérdida de las hojas en otoño se produce en un punto de ruptura denominado "zona de abscisión", que se encuentra en la base del pecíolo (cabo que une la hoja a la rama del árbol). En esa época del año, disminuye la concentración de auxinas en las células de la base, las cuales reaccionan más fácilmente el etileno, y esta fitohormona desencadena una serie de procesos bioquímicos en estas células, que culmina con la caída de las hojas.

A diferencia de las otras fitohormonas que estudiaste, el ácido abscísico es una hormona que funciona como inhibidora del crecimiento vegetal. Los científicos han comprobado que las hojas, la raíz y el tallo producen este ácido, que luego es transportado al resto de la planta por medio del floema. La concentración en semillas y frutos es elevada, pero aun no se sabe si esta hormona es sintetizada en estos órganos, o si se sintetiza en otro lado y es transportada hacia ellos.

El ácido abscísico recibió este nombre porque en un primer momento se pensó que era el responsable de la caída de las hojas en otoño, pero hoy se sabe que esto no es así, y como ya estudiaste, el responsable final de la caída de las hojas en otoño es el etileno.

Esta fitohormona es la principal responsable de que las plantas no crezcan en invierno y de las respuestas que efectúan en condiciones adversas. Por ejemplo, cuando la provisión de agua disminuye, la concentración de ácido abscísico aumenta mucho en las hojas, y esto determina que las hojas cierran los estomas, por lo tanto, las plantas pierden menor cantidad de agua por transpiración. Otro efecto del ácido abscísico es causar el letargo (latencia) en las semillas, lo que impide su germinación prematura.

### Fitohormonas sin fronteras

Uno de los primeros indicios de la existencia de sustancias reguladoras del crecimiento en plantas surgió con los experimentos desarrollados por Charles Darwin y su hijo, en 1881. Ellos observaron que el tallo de las plantas jóvenes o plántulas tiende a curvarse en dirección a la luz, y que esto ocurre siempre que mantienen el ápice.

Años más tarde, más precisamente en 1926, el fisiólogo holandés Fritz Went, intrigado sobre cuál era la causa que determinaba el fotopismo positivo de las plántulas, pudo comprobar que dicho comportamiento estaba relacionado con una sustancia contenida en el ápice de los tallos, a la que denominó auxina, una fitohormona.

El hallazgo de la auxina fue el puntapié inicial para nuevos estudios. Ese mismo año, del otro lado del planeta, más precisamente en Japón, el científico Eiichi Kurosu estudiaba la bakanae, una curiosa enfermedad que sufren las plantas de arroz, también conocida como "enfermedad enoquecedora de las plántulas". Las plantas enfermas estaban infectadas con un hongo que les provoca los siguientes síntomas: crecimiento excesivo, pérdida del color verde, y además dejaban de tener firmeza y, por lo tanto, se quebraban con facilidad.

Luego de sus investigaciones, Kurosu descubrió que lo que en realidad causaba estos síntomas en las plantas era una sustancia química producida por el hongo *Gibberella fujikuroi*, a la que entonces denominó gibberelina.

El primer paso estaba dado: se había descubierto la sustancia responsable del crecimiento desproporcionado de las plantas de arroz. Corría el año 1935 cuando otro científico japonés, Teijiro Yabuta, preparó medios de cultivo con este hongo, y logró aislar la gibberelina. Este hallazgo solo fue el punto de partida para nuevas investigaciones que intentaron resolver nuevos interrogantes: ¿las plantas que no están infectadas por este hongo también fabrican gibberelina? Y de ser así, ¿influye dicha sustancia en su crecimiento?

○ ¿Te parece que el lugar geográfico, la sociedad y la época histórica en la que viven los científicos influyen en sus investigaciones? De ser así, ¿cuál es de estos tres aspectos creés que influyó, notoriamente, en el descubrimiento de la gibberelina?

La respuesta para el resto de los interrogantes se hizo esperar casi veinte años. Llegó, precisamente, en 1956, cuando por medio de diversos métodos fisiocoquímicos se logró extraer gibberelina de diferentes especies de plantas.

Una vez extraída esta sustancia, los científicos comenzaron a inyectarla a diversos tipos de plantas sanas, como las de arveja (*Psium sativum*) o las de maíz (*Zea maz*), y esperaron un tiempo para observar su efecto. El resultado fue asombroso: sus tallos se elongaron de manera inusual. El experimento había sido todo un éxito: la gibberelina es una hormona que aumenta la longitud de los tallos.

Las experiencias continuaron y, con el tiempo, se siguieron identificando diferentes variedades de esta hormona, las cuales se denominaron con el siguiente código: A<sub>x</sub>, donde x es un número que representa el orden en el que ha sido descubierta.

Posteriormente, los científicos llegaron a la conclusión de que las gibberelinas no solo intervienen en la elongación de los tallos, sino que además controlan algunos sucesos de la germinación de las semillas y su aplicación en ciertas plantas estimula la floración. En la actualidad, estas fitohormonas se utilizan con fines comerciales; algunos productores, por ejemplo, rocían las plantaciones de la uva sin semilla para aumentar el tamaño de este fruto.

○ ¿Te habría gustado ser discípulo de Eiichi Kurosu? ¿Por qué?

○ ¿Crees que podrías haber aportado algunas sugerencias en sus investigaciones? ¿Cuáles podrían haber sido?



## Control hormonal en los invertebrados

Ya estudiaste que las hormonas cumplen un papel fundamental en la regulación y coordinación de las funciones que se llevan a cabo en las plantas y en los seres humanos, pero ¿qué sucede en el resto de los animales? ¿También tienen hormonas? Como te imaginarás, la respuesta es afirmativa. Estas sustancias químicas están presentes tanto en invertebrados como en vertebrados; e intervienen no solo en la regulación del medio interno de los animales y de sus funciones vitales, sino también en el desarrollo y crecimiento y en el comportamiento durante el cortejo y en el apareamiento.

Empecemos por los invertebrados. En muchos de ellos, las crías pasan por una serie de transformaciones en su cuerpo hasta que alcanzan el estado adulto. Este proceso es conocido como **metamorfosis** y está muy influenciado por las hormonas. En estos animales, las hormonas son segregadas por células nerviosas, llamadas **células neurosecretoras**, y por este motivo se denominan **neurohormonas**.

Tanto en los anélidos como en los artrópodos y en los moluscos, las células neurosecretoras se encuentran distribuidas por todo el sistema nervioso y liberan sus productos directamente a los líquidos corporales.

En anélidos como la lombriz de tierra existen **ganglios cerebrales** que producen neurohormonas que regulan los procesos de regeneración y crecimiento. En moluscos cefalópodos (pulpos) hay **glándulas ópticas**, situadas a ambos lados de los ojos, que segregan neurohormonas responsables del crecimiento del animal y del desarrollo de las gónadas. Dentro de los artrópodos, crustáceos como los cangrejos segregan neurohormonas que regulan los cambios de pigmentación del cuerpo y la muda, proceso por el cual el animal cambia su esqueleto externo, y del cual hablaremos más adelante.

### Hormonas en el desarrollo de los insectos

Los insectos son el grupo de invertebrados en los que más se han estudiado las hormonas con el fin de analizar sus procesos de metamorfosis y muda. Hoy se sabe que ambos procesos son regulados por neurohormonas.

En insectos como mariposas, polillas y moscas, la metamorfosis consta de una serie de etapas que van desde la eclosión del huevo, pasando por un estadio larval, otro de pupa, hasta llegar a la etapa adulta. Veamos con más profundidad cómo se lleva a cabo este proceso estudiando la metamorfosis de una mariposa.

Ya en 1920, los científicos sospechaban que la metamorfosis de estos insectos estaba bajo un control neuroendocrino al observar que si se les quitaban los ganglios cerebrales a las larvas de la mariposa (orugas), no "pupaban", es decir, no llegaban a la etapa siguiente de pupa (crisálida).

Se descubrió también que las mariposas y otros insectos secretan hormonas que son transportadas por la hemolinfa (líquido del sistema circulatorio de los artrópodos análogo a la sangre de los vertebrados) y que controlan la metamorfosis. Durante este proceso, las hormonas estimulan el aumento de tamaño y la división de las células, lo que determina que el insecto salga del huevo en forma de larva, con un aspecto y hábitos muy diferentes de los que tendrá en estadio adulto. Luego de la fase larval, se forma una pupa, es decir, el animal alcanza un nuevo estadio en su desarrollo en el cual no se mueve ni se alimenta: vive a expensas de las reservas de alimento que acumuló. Sin embargo, dentro de la pupa se produce la gran transformación: tras la muerte de los tejidos larvarios se forman los tejidos adultos. Cuando termina esta transformación, sale un individuo adulto totalmente diferente de la larva, en este caso alado y sexualmente maduro.

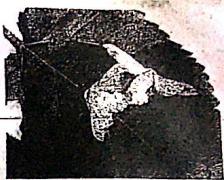
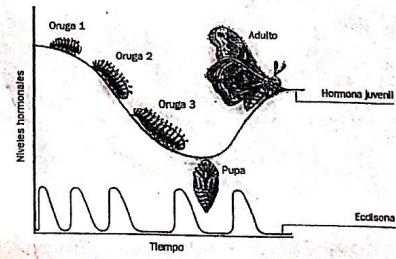
Ahora bien, ¿cuáles son las hormonas que regulan la metamorfosis de la mariposa? En realidad, este proceso se lleva a cabo por la interacción qué se establece entre varias hormonas. Una de ellas, llamada **neotonina u hormona juvenil**, promueve la formación de estructuras larvarias e inhibe la formación de órganos sexuales (este es el motivo por el cual los insectos no se pueden reproducir en la etapa larvaria). Por otro lado, en el protocerebro (uno de los lóbulos del cerebro de los artrópodos) se sintetiza la hormona **ecdisotropina**, que **promueve la síntesis y la secreción de ecdisona**, hormona que estimula la formación de la pupa, la muda y los caracteres que tendrá el insecto en su etapa adulta.

Como acabás de leer, por acción de las hormonas los insectos mudan. Pero ¿qué significa esto? Veamos. La mariposa es un insecto y, como el resto de los insectos y de los artrópodos (grupo en el que se encuentran además las arañas, los escarabajos, los congresos, etc.), tiene **exoesqueleto**. Se trata de un esqueleto que se encuentra por fuera de estos animales y que cubre todos sus órganos. Si bien el exoesqueleto protege a estos animales del medio, es un factor que limita su crecimiento. Entonces, ¿cómo crecen? Una vez más, la respuesta está en la función que cumplen las hormonas. Durante la etapa del crecimiento, la hormona ecdisona provoca la muda o ecdisis, es decir, "la pérdida" de manera temporal de su exoesqueleto, el animal crece y luego se regenera el esqueleto perdido.

El estímulo que provoca la muda es la "presión" que ejercen los tejidos que están creciendo sobre el exoesqueleto; este estímulo es percibido por receptores presentes en el protocerebro, y las células neurosecretoras liberan a la hemolinfa una hormona que estimula la síntesis y la liberación de ecdisona y de hormona juvenil, que desencadenan en la pérdida del exoesqueleto o muda.

Como te anticipamos en la página anterior, las hormonas también intervienen en el comportamiento de cortejo y apareamiento. Las hormonas llamadas **feromonas** son sustancias químicas volátiles que participan en la comunicación de los seres vivos de la misma especie. Cuando un individuo, por medio de receptores específicos, percibe la presencia de una feromonas, pondrá en práctica un cambio –que puede ser fisiológico o de comportamiento–, como por ejemplo distinguir a los miembros de su propia especie, seguir un rastro de alimento o marcar territorio.

Las feromonas más estudiadas son las que producen los insectos en la época de cortejo para atraer a los individuos del sexo contrario pero de su misma especie. En una investigación, se colocó a una hembra de himenóptero (grupo al cual pertenecen las avispas y las abejas) en una jaula que se ubicó en el medio de un campo. Esta dulce hembra liberó la suficiente cantidad de feromonas para atraer a miles de machos. El primer estudio sobre la relación que existe entre las feromonas y la atracción sexual se realizó en la hembra *Bombyx mori*, la polilla del gusano de seda.



Las células del abdomen de esta polilla producen una feromonas llamada borbótilo que, cuando es liberada al ambiente, es percibida por las antenas de los machos y ese es un estímulo para la fecundación.

La hormona juvenil está presente en una elevada concentración al inicio de la vida larvaria, y llega a un mínimo en el período de pupa. La ecdisona está presente en todos los estadios promoviendo la muda y el crecimiento.

## Control hormonal en los vertebrados

Los vertebrados –entre los cuales nos incluimos– son animales más complejos que los invertebrados. Esto se debe a que, además de poseer una columna vertebral, tienen sistemas de órganos mucho más desarrollados. Su sistema endocrino, por ejemplo, está formado por glándulas cuya forma, función y mecanismo de regulación y coordinación hormonal son muy semejantes a los de los seres humanos.

### Hormonas en mamíferos y aves

Comencemos por estudiar un mecanismo de regulación hormonal que seguramente te resultará familiar. Es posible que vos, alguno de tus parientes o de tus amigos tenga una perra y esta, en algún momento del año, esté en "celo". Durante este período, que dura solo unos pocos días, las perras eliminan pequeñas gotitas de sangre. Ahora bien, ¿qué significa que una perra esté en celo? Este período, que en realidad se llama ciclo estral o estro, es el momento en el cual la perra está fisiológicamente apta para recibir al macho. El celo está regulado por estrógenos y es durante este período que su concentración aumenta, lo cual indica que está en su momento fértil y puede ser fecundada.

Los perros, al igual que nosotros y que todos los mamíferos, tienen glándulas como el páncreas, que también secreta la hormona Insulina, la cual regula la glucemia (recuérdalas las experiencias de investigación sobre la diabetes que viste en el capítulo 7). La lactancia es otro ejemplo de regulación hormonal que se produce en los mamíferos. La oxitocina es la hormona que provoca la contracción de las células que forman parte de la glándula mamaria y permiten la eyeción de leche.

Pero en los mamíferos y en las aves hay otras hormonas que también existen en los seres humanos, como por ejemplo la testosterona. ¿Y qué función cumplirá? Vamos a averiguarlo.

La testosterona, como ya estudiaste en el capítulo 7, es una hormona sexual que está presente en los varones y que, además de intervenir en la formación de las células sexuales masculinas (espermatozoides), promueve la aparición de los caracteres sexuales secundarios en los varones durante la adolescencia. En el resto de los vertebrados, también interviene en la formación de células sexuales y otorga los rasgos característicos de los machos de diferentes especies.

Por ejemplo, el color de las plumas de muchas aves macho, la cresta y los espesores del gallo, o la melena del león son producto de la acción de la testosterona. Al respecto, las primeras experiencias que se hicieron para interpretar el rol de los testículos fueron realizadas con gallos, en el año 1849. En aquel entonces, todavía no se conocía la testosterona, pero se llegó a la conclusión de que el testículo fabricaba "algo" que se liberaba a la sangre y que era el responsable del crecimiento de la cresta del gallo. Y que ese "algo" no estaba presente en las gallinas. Veamos cómo se llevó a cabo esta experiencia.

Se trabajó con un grupo de sels gallos que fueron divididos en dos grupos de tres integrantes cada uno. Al primer grupo se le extirpó los testículos, al segundo grupo también se los extirpó pero se los reimplantaron en otra zona del cuerpo. Los ejemplares del grupo castrado presentaron las siguientes características: no desarrollaron su cresta ni su plumaje, perdieron su agresividad y carecían del impulso sexual característico del gallo maduro. Por el contrario, las aves del grupo reimplantado se desarrollaron normalmente. Esta experiencia fue fundamental porque demostró que las sustancias (en este caso, la testosterona) producidas en lugares específicos del cuerpo (en este caso, los testículos) podían ser transportadas a través de la sangre y, además, ejercer efectos en otros tejidos del cuerpo.

La prolactina es la hormona que estimula la producción de leche en los mamíferos.



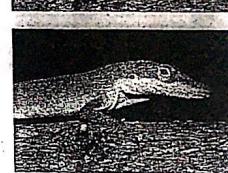
La cresta en los gallos y la melena del león crecen por acción de la hormona testosterona.

### Hormonas en reptiles, anfibios y peces

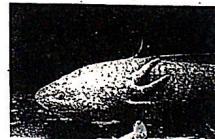
Otro ejemplo de regulación hormonal que se puede encontrar en algunos animales como los reptiles es el cambio de la coloración de su piel. Estos animales poseen una hormona llamada **hormona estimulante de los melanocitos (MSH)**, que actúa sobre los melanocitos (células de la piel de los reptiles) y estimula la síntesis de melanina, sustancia química que le da coloración a la piel. Esta hormona es secretada en respuesta a los cambios del ambiente: en pocos minutos modifica la distribución de melanina en el interior de los melanocitos. En presencia de MSH, la piel se oscurece porque la melanina se distribuye uniformemente. En su ausencia, los granulos de pigmento se concentran en el centro de la célula y la piel se vuelve clara.

Un caso muy particular de regulación hormonal es el del ajolote (*Ambystoma mexicanum*). Este anfibio es originario de los lagos de México, en los que no se encuentra yodo. La falta de este elemento hace que estos animales no puedan completar su metamorfosis y continúen en estado larvario toda su vida. Por eso también se lo denomina larva neotónica. Lo que sucede es que al no haber yodo, la glándula tiroidea no sintetiza **tiroxina** (recordá que esta hormona es una molécula que tiene yodo en su composición) y por lo tanto, al no haber tiroxina, no puede alcanzar nunca el estado adulto de salamandra. Entonces, ¿cómo se reproduce? El ajolote se caracteriza porque puede reproducirse en estado larval, de otra forma, la especie se extinguiría.

¿Y qué ocurre en los peces? También tienen regulación hormonal. Una de las glándulas más estudiadas es la hipófisis debido a que la secreción de las **hormonas gonadotróficas** influye en la ovulación y en el desove. A la vez, estas sustancias son utilizadas para inducir la reproducción de los peces en cautiverio.



El lagarto *Anolis carolinensis* cambia rápidamente de color, según la melanina está concentrada en los melanocitos (verde) o dispersa (castaño).



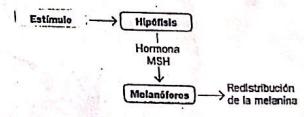
La falta de yodo impide al ajolote llegar al estado adulto, y permanece en estado larval toda su vida. Sin embargo, sus órganos sexuales maduran y puede reproducirse.

### Relacioná

5. Redactá una frase en la que se vinculen de manera correcta los siguientes pares de términos:
- Tiroxina / yodo.
  - Testículos / testosterona.
  - Hormona estimulante de los melanocitos / melanina.

6. En el desplazamiento de los salmones, durante su travesía desde el río hacia el mar, se ha observado que se produce un aumento del tamaño de la glándula tiroidea. ¿A qué cause se puede atribuir?

7. ¿En cuál de las páginas del libro incluirías el siguiente esquema de manera que se entienda mejor lo que está explicado en ese texto?



- a) ¿Cuál es el tema que pretende acompañar?  
 b) Sobre la base de este esquema, redactá una descripción del tema o proceso.

## Actividades finales

Recordá

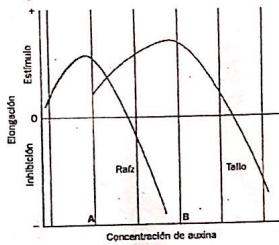
8. La palabra tropismo proviene del griego tropos, vuelta;

-ismo, actividad, proceso. Teniendo en cuenta la etimología de este término, ¿por qué los investigadores la habrán utilizado para designar el comportamiento que tienen los vegetales frente a diversos estímulos?

9. ¿Qué diferencias encontrás entre el bombicol y el etileno?

Relacioná

10. El siguiente gráfico muestra el efecto de diferentes concentraciones de la fitohormona auxina sobre el alargamiento de las células del tallo y de la raíz.



Teniendo en cuenta la siguiente consigna contestá:

I. La concentración A de auxina:

- Estimula fuertemente el crecimiento de la raíz, pero casi no produce efecto en el tallo.
- Estimula fuertemente el crecimiento de la raíz y del tallo.
- Inhibe el crecimiento de la raíz y estimula el del tallo.
- Inhibe el crecimiento de la raíz y estimula el del tallo.

II. La concentración B de auxina:

- Estimula fuertemente el crecimiento de la raíz, pero casi no produce efecto en el tallo.
- Estimula fuertemente el crecimiento de la raíz y del tallo.
- Inhibe el crecimiento de la raíz y estimula el del tallo.
- Inhibe el crecimiento de la raíz y estimula el del tallo.

Resolvé

11. Los lenguados son peces que cambian su coloración.



- ¿Qué mecanismo permite ese cambio y qué función supones que cumple?
- ¿Qué otras funciones puede tener el cambio de coloración en los animales? Menciona un ejemplo.

12. Los científicos han comprobado que si se corta la yema terminal de una planta, comienzan a crecer las yemas laterales. Esto hace que las plantas no aumenten mucho su altura y crezcan a lo ancho, como a veces los agricultores hacen con los gomeros. Teniendo en cuenta lo que aprendiste sobre las fitohormonas, ¿qué explicación encontrás para este hecho?

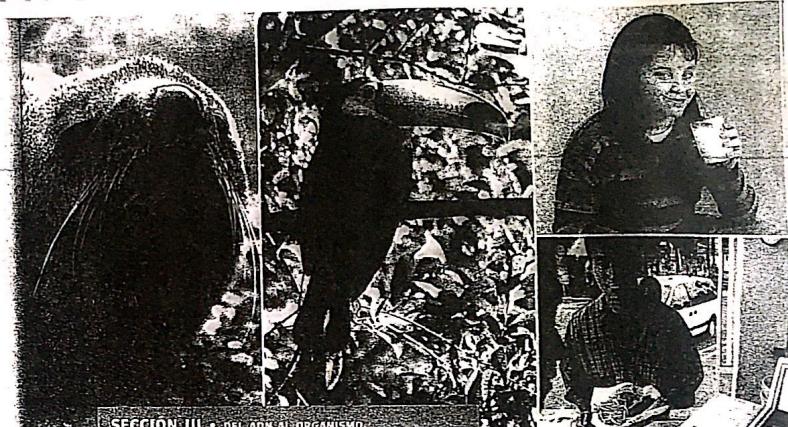
13. Se está estudiando la utilización de la hormona juvenil sintética en el control de una plaga de insectos. ¿De qué manera se te ocurre que serviría para estos fines?

Investigá

14. En una dieta equilibrada deben estar presentes distintos nutrientes, por eso debemos ingerir, entre otras cosas, frutas de estación. El problema es que si no se consumen rápido, al poco tiempo se descomponen. Además de mantenerlas a baja temperatura, habitualmente aconsejan no dejar ciertas frutas en bolsas cerradas. ¿Cuál puede ser el argumento que sostienen quienes afirman que no es conveniente dejarlas guardadas en bolsas?

Experimentá

15. Colocá en una fuente de cocina una banana bien madura a cada uno de sus lados, un tomate verde. Sacá una foto al inicio de la experiencia, y luego, una cada dos días durante una semana. Llevá un registro escrito de los cambios que vas observando. ¿Qué resultado esperás obtener y por qué?



SECCION III • DEL ADN AL ORGANISMO

## capítulo 9

# Las proteínas

### Punto de partida

Fede tiene catorce años. Su mamá ha decidido consultar al médico porque lo ve muy delgado, débil y con poca energía. El médico le explica que el problema se debe, probablemente, a su alimentación. Fede es un adolescente y vive un período de crecimiento acelerado y de gran actividad. Si su alimentación es deficiente en proteínas, el organismo toma esas nutrientes de sus reservas; esto genera los síntomas que observa la mamá: disminución en su masa muscular, pérdida de peso, desgano y debilidad. El médico le ha indicado una dieta que incluya mayor cantidad de proteínas y menos grasas y dulces. La mamá de Fede está más tranquila; en un mes volverán a una nueva visita médica de control.

- ¿Cómo relacionás las imágenes de esta página con el título del capítulo?
- ¿Cuáles son los alimentos que aportan mayor cantidad de proteínas?
- ¿En qué partes del cuerpo supones que existen "reservas" de proteínas?
- ¿Cómo creés que la alimentación se relaciona con la salud?
- ¿Por qué creés que es importante controlar lo que comemos?
- Para vos, ¿todas las personas necesitan consumir la misma cantidad de los mismos nutrientes?

## Las proteínas en los seres vivos

Como vimos en la página anterior, las proteínas son muy importantes en nuestro desarrollo y también en el de todos los seres vivos, ya que constituyen algunos de los nutrientes imprescindibles para el crecimiento y el funcionamiento del organismo. Muchas de estas proteínas son componentes fundamentales de los alimentos que consumimos y otras son producidas por nuestro propio cuerpo. Las proteínas están formadas por largas cadenas de compuestos orgánicos denominados aminoácidos. En la mayoría de los procesos interviene al menos alguna de la gran diversidad de proteínas que existen, y en esto se basa su gran importancia biológica.

En los capítulos anteriores estudiaste cómo responden los seres vivos ante los estímulos del ambiente, y también que muchas de esas respuestas están mediadas por hormonas. ¿Cómo se relaciona esto con las proteínas? Ocurre que la mayoría de las hormonas que regulan la actividad fisiológica y metabólica de las células son proteínas, como es el caso de la insulina, que regula el metabolismo de la glucosa en el organismo. Pero las hormonas no son las únicas proteínas que existen: hay una gran variedad de estas macromoléculas que difieren tanto en su estructura como en su función biológica.

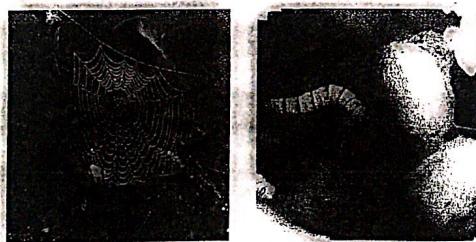
Si repasamos las páginas de este libro, podremos reconocer qué hemos mencionado y estudiado muchas proteínas relacionadas con diferentes procesos biológicos. Por ejemplo, la membrana plasmática de las células está formada por distintos tipos de proteínas (proteínas de membrana), como las que permiten el pasaje de diferentes sustancias o las que actúan como receptores específicos recibiendo las señales de otras moléculas.

Seguramente también habrás visto champús y productos cosméticos que dicen contener queratina. Esta proteína, presente en el pelo, la piel, las uñas, las plumas y las escamas de los seres vivos, otorga resistencia y protección.

La contracción muscular, indispensable para el movimiento de muchos seres vivos, requiere de la acción coordinada de dos proteínas: la actina y la miosina.

Los glóbulos rojos, uno de los componentes celulares de la sangre, están compuestos por la hemoglobina, que es la proteína encargada de transportar el oxígeno y el dióxido de carbono a través de la corriente sanguínea. También son proteínas las sustancias que intervienen en la formación del coágulo —la "cascara"— que protege a nuestro organismo de una posible hemorragia cuando sufrimos alguna herida.

Estos son solo algunos ejemplos de la gran cantidad de proteínas que existen. En este capítulo vamos a profundizar sobre el importante rol biológico de las proteínas y su relación con las características fenotípicas; también vamos a conocer su estructura, sus propiedades y cómo se fabrican.



La queratina es el principal constituyente del cabello.

La fibrofina es una proteína que confiere estructura y resistencia a las telas de araña y a la seda que forma los capullos de los gusanos de seda.

### La diversidad y las proteínas

El color del pelo, de los ojos o de la piel, la forma y el tamaño del cuerpo, son cualidades físicas observables en un ser humano. También existen características internas, más difíciles de evidenciar, como los procesos biológicos y químicos que ocurren en nuestro interior. A este conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas de un organismo se lo denomina fenotipo, que resulta de la expresión de ciertas "instrucciones" guardadas en los genes, el código genético. El fenotipo también recibe la influencia del ambiente.

Las "instrucciones" contenidas en el genotipo —o conjunto de genes— determinan las secuencias de aminoácidos que formarán las proteínas, mecanismo que estudiaremos en profundidad en el próximo capítulo.

Las proteínas son, entonces, la expresión del genotipo de cada individuo y, por lo tanto, cumplen un rol fundamental en la determinación del fenotipo.

El material genético de las células tiene mecanismos de control que evitan los errores en la transmisión de la información, aunque a veces pueden fallar.

Es importante entender que una falla en la traducción del código genético puede generar una alteración en la secuencia de aminoácidos y, por lo tanto, llegar a provocar una variación en la proteína formada. Esto afectará el fenotipo del organismo y puede provocar enfermedades. Veámos algunos ejemplos.

1. La insulina, como ya estudiaste, es una hormona proteica que regula la cantidad de glucosa en la sangre. En algunos individuos, las células del páncreas no producen esta hormona, lo hacen en cantidad insuficiente o la producen en forma defectuosa. Al disminuir la cantidad de insulina, como vimos en el capítulo 7, la glucosa no puede ingresar en las células y su exceso se acumula en la sangre produciendo hiperglucemia. Esta condición alterada genera una enfermedad denominada diabetes.

2. La hemoglobina es una proteína de la sangre que transporta oxígeno hacia los tejidos. En las personas que sufren una enfermedad hereditaria denominada talasemia, su síntesis se ve afectada, lo cual genera una hemoglobina anormal y una estructura deformada de los glóbulos rojos. De este modo la hemoglobina no puede realizar su función de transporte.

3. Otras veces, la proteína directamente no se fabrica debido a un gen defectuoso, como ocurre en la fenilcetonuria. Se trata de una enfermedad hereditaria que se produce por la falta de una enzima (un tipo de proteína) muy importante para asimilar las proteínas que consumimos. Al nacer nos realizan un estudio de sangre para determinar si tenemos esta alteración genética.

Cabe aclarar, muchos seres vivos presentan proteínas con igual función pero que no son exactamente iguales. Entonces, individuos con fenotipos visibles diferentes pueden fabricar proteínas similares. Esto permite por ejemplo tratar enfermedades.

En el caso de pacientes diabéticos, estos pueden ser tratados con insulina, debido a que la insulina porcina es casi idéntica a la humana y produce el mismo efecto sobre la glucemia. Como veremos más adelante, en la actualidad se produce insulina humana a través de procesos que aplican técnicas de ingeniería genética.

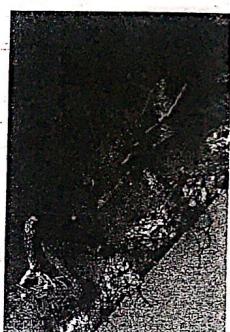
### Recordá

1. ¿Por qué es tan importante el rol de las proteínas en los seres vivos? Menciona algunos ejemplos.

2. ¿A qué se denomina "fenotipo"?

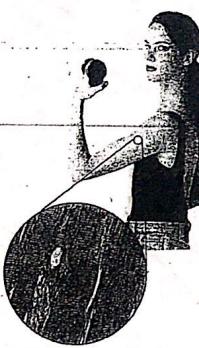
### Investigá

3. Elegí dos especies animales, y compáralas. Luego, redacta un párrafo explicando las diferencias halladas.



La diferente información genética que poseen los individuos en la naturaleza genera variaciones en sus caracteres fenotípicos relacionados, en su mayoría, con las proteínas formadas por cada organismo.

## Clasificación de las proteínas según su función



En la Imagen ampliada se observa un tejido muscular estriado. Cada una de sus fibras está formada por hileras alternadas de microfilamentos de miosina y de actina.

Miles de proteínas diferentes, con estructuras y funciones muy diversas, están contenidas dentro de cada una de las células de los seres vivos. Para poder estudiarlas y comprender su funcionalidad, ha sido necesario agruparlos según ciertas características. Es así que las proteínas pueden clasificarse, por ejemplo, por el tipo de función que cumplen o por su estructura.

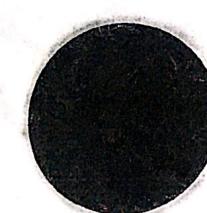
Vamos a comenzar ordenando o clasificando a las proteínas por las funciones principales que cumplen en el organismo.

**Función estructural.** Existe una inmensa variedad de proteínas que confieren fuerza y protección tanto a células como a tejidos. La mayoría de ellas actúan como filamentos que forman los tejidos de sostén y protección, como es el caso de la piel, el tejido conectivo y el cabello. Estas proteínas otorgan resistencia y elasticidad. Los tendones y cartílagos están formados por colágeno, la elastina forma parte de los ligamentos, mientras que la queratina –como vimos– compone el pelo, las uñas, la piel, las plumas y las escamas. Todas ellas son proteínas estructurales. La fibrofina de la seda y de las telarañas es otro ejemplo de una proteína estructural.

**Función contráctil (o de movimiento).** Ciertas proteínas facilitan que la célula, o algunos de sus componentes, se mueva o cambie de forma. Por ejemplo, el citoesqueleto celular está formado por integrinas y tubulinas, proteínas contractiles que permiten el movimiento de la célula. A este mismo grupo pertenecen la flagelina y la dinina, componentes de los flagelos y las cílias celulares. La contracción muscular, esencial para el movimiento de muchos seres vivos, requiere de la acción coordinada de dos proteínas: la miosina y la actina.

**Función de transporte.** El transporte de sustancias dentro del organismo es llevado a cabo por algunas proteínas. Un ejemplo son aquellas que constituyen la membrana celular y que facilitan el pasaje de moléculas específicas a través de ella. Por otro lado, la hemoglobina y la mioglobina cumplen una función similar de transporte de oxígeno y dióxido de carbono pero en diferentes sistemas; la primera es un componente esencial de los glóbulos rojos y la segunda actúa en los músculos. En el plasma sanguíneo también nos encontramos con las lipoproteínas, encargadas del transporte de los lípidos desde el hígado hacia los otros órganos.

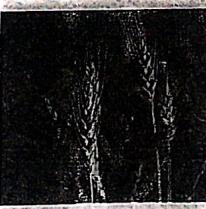
**Función de reserva y nutrición.** Algunas proteínas tienen una importante función nutritiva, ya que constituyen la reserva de aminoácidos que alimenta al embrión durante su desarrollo. Las proteínas del endosperma de las semillas son un ejemplo. La caseína y la lactoalbúmina, en la leche, y la ovalbúmina de la clara del huevo también pertenecen a este grupo.



Los glóbulos rojos de la sangre contienen hemoglobina, una proteína que transporta oxígeno hacia los tejidos.



La ovalbúmina es la principal proteína de la clara de huevo, fuente proteica de los seres humanos.



Los granos de trigo contienen las proteínas del gluten.

**Función enzimática.** Ciertas proteínas, como las catalasas, las peroxidasa y los citocromos, tienen la capacidad de acelerar la velocidad de las reacciones químicas que se producen en la célula, y se denominan enzimas.

Por ejemplo, la pepsina y la lipasa son enzimas que funcionan "rompiendo" los nutrientes en porciones más pequeñas para que puedan ser absorbidos por el intestino. La primera actúa sobre las proteínas y la segunda, sobre las grasas. En la página siguiente estudiaremos la acción de las enzimas con mayor detalle.

**Función hormonal.** Como ya vimos, las hormonas son sustancias que se encargan de regular la actividad metabólica y fisiológica de las células. Muchas de ellas son proteínas y actúan como mensajeros químicos ejerciendo determinadas acciones en órganos específicos. Por ejemplo, la insulina y el glucagón regulan el metabolismo de la glucosa en el organismo. La ocitocina, que es una hormona sintetizada por el hipotálamo, estimula las contracciones del útero durante el parto y también la secreción de leche de la glándula mamaria. La tiroxina, una hormona producida por la tiroides, y la hormona de crecimiento son también hormonas de naturaleza proteica.

**Función inmunitaria (o de defensa).** Las proteínas de este grupo tienen una función muy especial: colaborar en la defensa del organismo ante una agresión de agentes extraños. Las más importantes son las inmunoglobulinas, proteínas que constituyen los anticuerpos y son producidas por los glóbulos blancos.

Los anticuerpos del sistema inmune pueden reconocer el ingreso de agentes nocivos en el organismo, como bacterias o virus, neutralizarlos y hasta eliminarlos. Dentro de este grupo también se incluyen las tres proteínas que intervienen en el proceso de coagulación de la sangre: la fibrina, la trombina y el fibrinógeno.

**Función homeostática.** Algunas proteínas regulan los cambios de pH de la sangre y de las células, y ayudan de este modo a mantenerlo constante. Además, controlan el nivel de agua en el plasma de la sangre.



La trichinina es una proteína generada por el organismo humano y el de otros mamíferos para inhibir la inflamación provocada por la picadura de las avispas.



Glóbulos blancos visto al microscopio electrónico de barrido (MEB). Son los responsables de la síntesis de proteínas de defensa del organismo.

### Recordá

- Explícalo la importancia de la hemoglobina como proteína de transporte. ¿Cuál es su relación con la mioglobina?
- ¿Cuáles son las proteínas con función inmunitaria más importantes? ¿Por qué?

### Investigá

- ¿Cuáles son las principales proteínas de reserva que incorporamos en nuestra dieta alimenticia? Clasifícalas según su origen vegetal o animal.

- Busca información sobre otras proteínas y construye un cuadro en el que figure su función y ubicación en distintos seres vivos. A modo de ejemplo, te mostramos:

Proteína	Función	Ubicación
Queratina	Estructural	Piel de ave

## Conecta

### Las enzimas

#### Fermentos

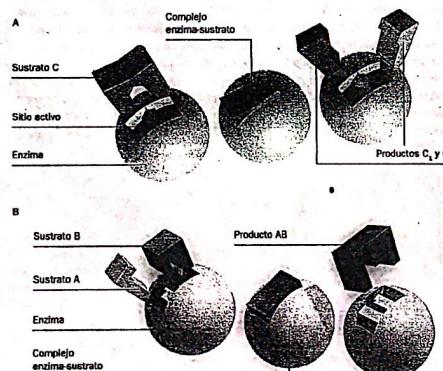
Desde el antiguo Egipto existen evidencias del uso de levaduras en los procesos de fermentación para la fabricación del pan y de la cerveza. En el siglo XIX Pasteur concluyó que la fermentación era catalizada o acelerada por un componente de las levaduras al que llamó "fermento". En 1878 el fisiólogo Wilhelm Kühne (1837-1900) utilizó el término enzima, derivado del griego *enzymos*, que significa "en levadura", para describir a los componentes responsables de la fermentación. Años más tarde, se descubrió que las enzimas no solo estaban en las levaduras sino además en todas las células vivas y en extractos de ellas. Eduard Buchner comenzó a denominarlas teniendo en cuenta la reacción que catalizan y agregando a sujeto "asa" al nombre del sustrato de la reacción (por ejemplo la enzima lactasa degrada lactosa). Las enzimas se caracterizan porque aceleran las reacciones químicas sin sufrir alteraciones.

Hasta ahora hemos visto que hay un grupo de proteínas, las enzimas, que actúan como catalizadores gracias a su capacidad de acelerar la velocidad de varios procesos químicos y biológicos. Muchas son utilizadas en la industria alimenticia y en la fabricación de productos de limpieza, como ciertos jabones en polvo que prometen quitar todas las manchas por "acción enzimática". Pero, ante todo, las enzimas tienen una función fundamental en los seres vivos, ya que participan en infinidad de reacciones bioquímicas e intervienen en el metabolismo permitiendo que el organismo funcione correctamente.

Las enzimas son proteínas con una estructura característica que determina su acción biológica específica. Ya analizaremos más adelante cómo se relaciona la estructura de una proteína con su función, pero ahora nos interesa entender el mecanismo de acción de las enzimas.

Para ejercer su acción, la enzima primero reconoce una determinada sustancia, llamada **sustrato**, luego se une a él y, finalmente, provoca una **aceleración** en la reacción. ¿Qué es el sustrato? Es una molécula o ion sobre el cual la enzima actúa de modo específico. Para que esto pueda ocurrir, existe un receptor ubicado en un lugar de la enzima denominado **sitio activo**, que reconoce al sustrato. De este modo, el sitio activo de la enzima y el sustrato "encajan" perfectamente como piezas de rompecabezas. El resultado es un **complejo enzima-sustrato** que actúa acelerando la reacción hasta que todo el sustrato se convierte en producto y finaliza el proceso. Por fin, el producto se libera del sitio activo de la enzima y esta se recupera para intervenir en una nueva reacción química.

Las enzimas pueden actuar en distintos tipos de reacciones: de degradación o de síntesis, pero cada enzima es específica para cada sustrato y para cada reacción. Por ejemplo, las amilasas salivales, pancreáticas e intestinales son enzimas que catalizan específicamente la ruptura de la molécula de almidón en moléculas de glucosa (es decir que participan en una reacción de degradación), pero no tienen la capacidad de intervenir en otra reacción química diferente.



Mecanismo de acción de las enzimas en una reacción. A. Degradación: un sustrato se rompe en dos productos. B. Síntesis: dos sustratos se unen formando un nuevo producto. En ambos casos, la enzima se recupera.

#### Las enzimas del hígado

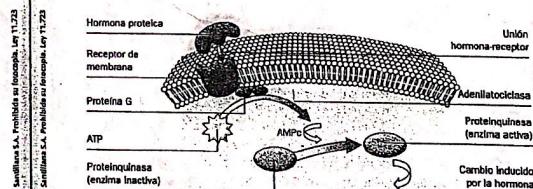
En el capítulo 7 estudiaste la acción de la insulina y del glucagón en el control endocrino del organismo. Pero estas hormonas, para cumplir su función, requieren de enzimas presentes en el hígado y en el músculo esquelético. Ya estudiamos el mecanismo de acción enzimático; ahora analicemos más profundamente la función de estas dos hormonas.

Hagamos memoria. El glucógeno es una macromolécula de reserva formada por muchas unidades de glucosa, que se utiliza como reserva energética en los animales. La insulina y el glucagón son dos hormonas proteicas producidas en el páncreas que actúan fundamentalmente en el hígado. La insulina estimula la síntesis de glucógeno, mientras que el glucagón favorece la ruptura de esta molécula en monómeros de glucosa. Ante un aumento de la glucemia, la insulina estimula las células del hígado o hepatocitos a captar moléculas de glucosa y sintetizar glucógeno. Este proceso de síntesis, denominado glucogenogénesis, requiere de la acción de la enzima **glucógeno sintetasa**.

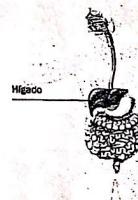
La acción inversa está a cargo del glucagón. Al disminuir la glucemia, esta hormona impulsa la degradación del glucógeno en moléculas de glucosa que serán aprovechadas por otros órganos y tejidos. En este proceso de degradación, denominado **glucogenolisis**, actúa la enzima **glucógeno fosforilasa**.

La insulina y el glucagón son hormonas proteicas que actúan como mensajeros químicos sobre un órgano blanco, aquél que tiene los receptores específicos para reconocerlos. Pero ¿qué sucede dentro de las células blancas? Exploraremos este sorprendente y complejo proceso biológico.

1. Las hormonas proteicas, como la insulina y el glucagón, son hidrosolubles y, por lo tanto, necesitan unirse a receptores específicos en la membrana celular para poder ingresar en el interior de las células del órgano blanco. A este tipo de hormonas se las denomina "primer mensajero".
2. La unión de la hormona con el receptor activa a otra proteína, la **proteína G**, que traduce la señal e induce la activación de la enzima **adenilatociclasa**, que se encuentra asociada al receptor del lado interno de la membrana.
3. La adenilatociclasa cataliza la obtención de **AMP cíclico (AMPc)** a partir de la degradación de ATP. El AMPc es un "segundo mensajero", ya que funciona como señal dentro de la célula.
4. La difusión de los segundos mensajeros en el interior de la célula es inmediata y propaga la señal. El AMPc activa a la enzima **proteína quinasa**, la cual inicia una cascada de reacciones químicas que culmina en la respuesta específica de la célula blanco. Por ejemplo, la degradación o la síntesis de glucógeno para restablecer el nivel de glucosa en sangre y normalizar así la glucemia en el organismo.

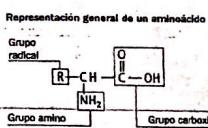


La representación gráfica es un tipo de modelo muy usado que permite entender en forma simplificada las reacciones que ocurren a nivel celular, y otros fenómenos de la naturaleza.



En las células del hígado ocurren importantes reacciones metabólicas como la glucogenogénesis y la glucogenolisis.

Este esquema representa el funcionamiento de una hormona proteica. Una vez que la proteína quinasa se activa, provoca una cascada de reacciones en la que intervienen muchas y diferentes enzimas. La respuesta genera cambios en el metabolismo celular.



## Los aminoácidos y las proteínas

Como vimos al comienzo de este capítulo, las proteínas son macromoléculas formadas por cadenas de aminoácidos, como los vagones de un larguísimo tren. Claramente a este tipo de compuestos se los denomina polímeros, ya que están formados por la repetición de unidades similares, o monómeros, unidos entre sí como una cadena. Entonces, las proteínas son polímeros formados por una cadena de aminoácidos, que serían sus monómeros.

### Los aminoácidos

Los aminoácidos son compuestos orgánicos integrados fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, aunque en algunos casos pueden contener también fósforo y azufre. Presentan una fórmula química general: un átomo de carbono (C) unido a un grupo carboxilo (COOH), a un grupo amino (NH<sub>2</sub>), a un hidrógeno (H) y a un grupo radical (R). El grupo amino y el carboxilo unidos a un único átomo de carbono están siempre presentes, pero el grupo radical cambia. Existen cientos de estructuras R, por lo que se conocen más de 150 aminoácidos diferentes. Sin embargo, solo veinte de ellos se combinan para formar todas las proteínas de cualquier ser vivo.

La mayor parte de los aminoácidos son sintetizados por el organismo, pero existen algunos que solo pueden obtenerse a partir de la alimentación y se los denomina aminoácidos esenciales. No todas las especies requieren los mismos aminoácidos esenciales, por ejemplo, el ser humano puede sintetizar doce de los veinte aminoácidos requeridos y los ocho restantes los debe incorporar a partir de las proteínas de los alimentos que ingiere.



Aminoácidos esenciales	Abreviaturas	Aminoácidos no esenciales	Abreviaturas
Isoleucina	Ile	Alanina	Ala
Leucina	Leu	Arginina	Arg
Lisina	Lys	Asparagina	Asn
Metionina	Met	Ácido aspártico	Asp
Fenilalanina	Phe	Ácido glutámico	Glu
Triptófano	Trp	Cisteína	Cys
Tirosina	Tyr	Glutamina	Gln
Válina	Val	Glicina	Gly
		Histidina	His
		Serina	Ser
		Tirosina	Tyr

Representación de la proteína ribonucleasa que muestra el ordenamiento o secuencia de los aminoácidos que la componen.

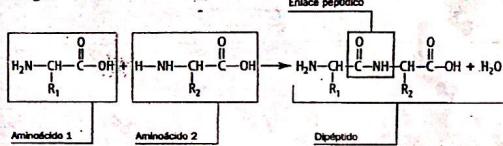
El grupo radical confiere a cada aminoácido distintas propiedades que hacen a la identidad de cada uno.

Los aminoácidos que tienen un grupo R polar son hidrofilicos, es decir que se disuelven bien en agua. En cambio, si el grupo R es no polar y muy voluminoso, los aminoácidos no son solubles en agua, como la valina, la alanina y la leucina. Algunos aminoácidos contienen átomos de azufre en su grupo R, como la cisteína, y otros poseen átomos de nitrógeno o de oxígeno. El ácido glutámico tiene un grupo R cargado negativamente que le otorga acidez, mientras que el de la histidina tiene una carga positiva que le confiere el carácter básico o alcalino.

Por otra parte, los aminoácidos como la tirosina y el triptófano poseen un grupo R aromático, es decir que en lugar de una cadena lineal de átomos de carbono presentan un anillo carbonado con dobles enlaces.

### De aminoácidos a proteínas

Algunos de estos aminoácidos se combinan para formar las proteínas, pero ¿de qué manera lo hacen? Los aminoácidos se unen entre sí a través del llamado enlace peptídico formado entre el grupo amino (NH<sub>2</sub>) de un aminoácido y el grupo carboxilo (COOH) del siguiente. Si te fijas en este esquema de la formación del enlace peptídico, vas a poder entenderlo. Aquí se destacan los átomos que intervienen. Los productos de la unión de estos aminoácidos son un dipéptido y una molécula de agua.



De este modo forman cadenas de aminoácidos llamadas péptidos. Si solo contiene dos aminoácidos unidos, constituye un dipéptido; si tiene un número pequeño de aminoácidos, se denomina oligopéptido; con más de veinte es un polipéptido. Cuando supera los cincuenta aminoácidos ya se considera una proteína.

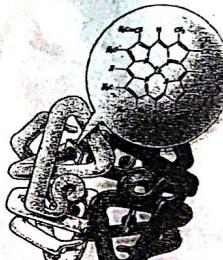
Químicamente, los polipéptidos pueden variar:

- Pueden contar con algunos o todos los aminoácidos;

- Pueden tener representado cualquier número de aminoácidos.

Pero lo más trascendente tiene que ver con el orden en que se van adicionando. Esto es, los aminoácidos se unen en diferente orden según la proteína de la que se trate. Esta combinación se denomina secuencia de aminoácidos y va a determinar la identidad de la proteína, su conformación en el espacio y su función.

Algunas proteínas poseen también otro grupo químico no proteico denominado grupo prostético, que le otorga a la proteína propiedades especiales, y generalmente cumplen funciones biológicas muy importantes. Según la naturaleza de este grupo químico, las proteínas pueden clasificarse en lipoproteínas (contienen lípidos), glicoproteínas (contienen carbohidratos), metaloproteínas o cromoproteínas (contienen un metal), fosfoproteínas (contienen fósforo), etcétera.



La hemoglobina es una hemoproteína, ya que contiene el grupo prostético "hemo", que lleva hierro. Esta proteína le confiere a la sangre su color rojo característico.

### Recordá

8. Dibuja en tu carpeta la fórmula química general de un aminoácido y menciona los grupos que la forman.

9. ¿Cuál de los grupos que mencionaste es distinto para cada aminoácido y por qué es tan importante?

10. ¿A qué se denominan aminoácidos esenciales?

### Relacioná

11. ¿Cómo se relacionan los siguientes conceptos: aminoácido, péptido, oligopéptido, polipéptido y proteína?

### Resolvé

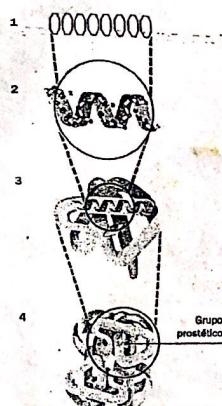
12. Si los siguientes péptidos están formados por los mismos aminoácidos, ¿por qué presentarán diferentes propiedades y funciones?

Glu-Ala-Val-Ser-Leu-Ala-Lys-Cys  
Ala-Glu-Val-Ser-Ala-Leu-Lys-Cys

### Investigá

13. Buscá información sobre aquellos alimentos que son fuente de aminoácidos esenciales y analizá cuáles incluirás en tu dieta diaria. Redactá un informe de la investigación y expóñelo ante la clase.

## La estructura de las proteínas



Niveles de estructura de una proteína.  
 1. Primaria. 2. Secundaria.  
 3. Terciaria. 4. Cuaternaria.

Los aminoácidos que integran las proteínas no se encuentran en el espacio formando una cadena larga y estirada, sino que adoptan diferentes conformaciones que van a depender de las características de los aminoácidos que las constituyen.

Una vez formado, el polipéptido comienza a plegarse hasta adquirir su conformación espacial definitiva. Recién en ese momento se dice que es una proteína. Gracias a esta estructura tridimensional, la proteína podrá interaccionar con otras moléculas y cumplir con su función específica.

Pensemos: ¿cómo un polipéptido lineal alcanza esa estructura tridimensional?

La estructura de una proteína pasa por cuatro niveles de organización consecutivos: estructura primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. Vamos a conocer las características de cada una.

1. **Estructura primaria:** corresponde a la secuencia lineal de aminoácidos que forman una proteína y, como veremos más adelante, está determinada genéticamente. Este nivel indica no solo qué aminoácidos integran la cadena sino también en qué orden se encuentran enlaces. Esta secuencia determina las propiedades y la estructura tridimensional que adoptará la proteína. Un cambio en la estructura primaria podría alterar las propiedades de la proteína y hasta provocar que no cumpla su función biológica específica.

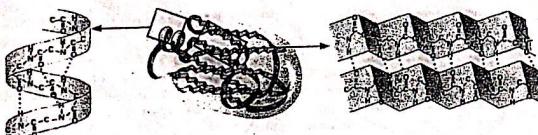
2. **Estructura secundaria:** surge como resultado de las interacciones que se producen entre los aminoácidos de la cadena. Se forman cadenas polipeptídicas, unidas por enlaces químicos, que se plegan hasta lograr una conformación espacial de mayor estabilidad. De este modo pueden presentar dos posibles estructuras secundarias: la  $\alpha$ -hélice y la  $\beta$ -hoja plegada.

3. **Estructura terciaria:** corresponde a una conformación tridimensional más compleja. Se forma por el plegamiento de las estructuras secundarias debido a la interacción de los grupos R de aquellos aminoácidos que están integrando las cadenas. Muchas proteínas adoptan una forma globular, mientras que otras son fibrosas. La mayor parte de las funciones biológicas está a cargo de proteínas con estructura terciaria.

4. **Estructura cuaternaria:** al combinar varias cadenas polipeptídicas de estructura terciaria, se forma un complejo proteico con estructura cuaternaria. Pueden estar formadas por varias cadenas polipeptídicas o subunidades, por eso son multiformes, y su denominación dependerá de la cantidad de cadenas que la formen.

En resumen, podemos decir que para que una proteína tenga una función, necesita adoptar alguna estructura tridimensional (secundaria, terciaria o cuaternaria). La estructura primaria por sí sola no otorga funcionalidad, pero le da identidad a la proteína y es esencial para que ocurra el plegamiento.

Esquemas de estructuras secundarias.



La  $\alpha$ -hélice es una estructura secundaria proteica que se forma cuando la cadena primaria se enrolla sobre sí misma como un tirabuzón.

En la  $\beta$ -hélice, las cadenas adoptan una conformación en zigzag, plegadas como un acordeón.

### Clasificación de las proteínas según su estructura

Al principio del capítulo aclaramos que las proteínas podían clasificarse por su función y su estructura. Vamos a ver de qué se trata. Teniendo en cuenta la estructura terciaria, es posible clasificarlas en fibrosas y globulares.

• **Proteínas fibrosas:** forman filamentos muy extensos y generalmente están conformadas por un único tipo de estructura secundaria. La elevada proporción de aminoácidos no polares, tanto en el interior como en la superficie de estas proteínas, le confiere una gran insolubilidad en agua. En su mayoría cumplen funciones estructurales muy importantes, como la queratina, la fibrofina, el colágeno y la elastina.

• **Proteínas globulares:** presentan un plegamiento esférico de las cadenas polipeptídicas. Como pueden estar conformadas por más de una estructura secundaria, son mucho más complejas que las fibrosas. Son proteínas solubles en agua debido a que los aminoácidos polares (hidrofílicos) forman la superficie y los no polares (hidrofóbicos) se encuentran en el interior de la molécula. Existen formas muy variadas para este tipo de estructura terciaria: de silla, de barril, de sándwich o de haces de hélices, todas relacionadas con la función específica de la proteína. Algunos ejemplos son la mioglobina, la ribonucleasa, la lisozima y el citocromo.



Proteína fibrosa (colágeno).

### Clasificación de las proteínas según su composición química

Las proteínas también pueden clasificarse según su composición química. Hay proteínas simples compuestas solo por aminoácidos, como el colágeno y las proteínas conjugadas. Estas no solo contienen aminoácidos sino que además presentan grupos prostéticos, indispensables para cumplir su función. La hemoglobina es un ejemplo de proteína conjugada. Como ya vimos, presenta un grupo "hemo" que contiene hierro. Este grupo le permite captar los gases (oxígeno, dióxido de carbono y monóxido de carbono) para transportarlos por la corriente sanguínea.

Todos los pigmentos respiratorios son cromoproteínas, es decir, son proteínas conjugadas que poseen como grupo prostético una sustancia coloreada debido a la presencia de metales. Así, la hemoglobina al unirse con oxígeno se torna color rojo, mientras que la hemocianina, pigmento respiratorio de crustáceos y moluscos, contiene cobre que, al combinarse con el oxígeno, se torna color verde azulado.

Repasemos y analicemos la información. El colágeno es una proteína de función estructural, fibrosa y simple en su composición química. Por otro lado, la hemoglobina es una proteína de transporte, es un tetramero según su estructura cuaternaria y según su composición química es conjugada. Entonces, ¿tendrán algo que ver la estructura y la composición química de una proteína con la función que esta cumple? Pensalo con tranquilidad que lo retomamos un poco más adelante.



Proteína globular (mioglobina).

#### Recordá

14. Ordená los niveles estructurales de las proteínas, del más simple al más complejo.

15. ¿A qué se debe la formación de cada uno de los niveles de estructura de las proteínas?

#### Relacioná

16. Completa la siguiente tabla y compará las características de las proteínas fibrosas y globulares.

	Forma	Tipo de estructura secundaria	Solubilidad en agua
Fibrosas			
Globulares			

#### Investiga

17. Buscá información sobre las características, propiedades y funciones de dos proteínas conjugadas. Luego, confeccioná una ficha para cada una.



## Relación entre la estructura y la función de las proteínas

Resumamos: las proteínas presentan diferentes niveles de estructuras, desde la secuencia de aminoácidos hasta la estructura terciaria o cuaternaria que determina su función. En la clasificación estructural de las proteínas nos encontramos con varios grupos con características muy diferentes, tanto en el modo de plegamiento como en su forma en el espacio. También presentan una composición química particular y hasta la conjugación con grupos especiales. Por último, cada proteína se agrupa según el tipo de función que realiza. En páginas anteriores nos preguntábamos si la estructura y la composición química de una proteína tendrían alguna relación con su función específica.

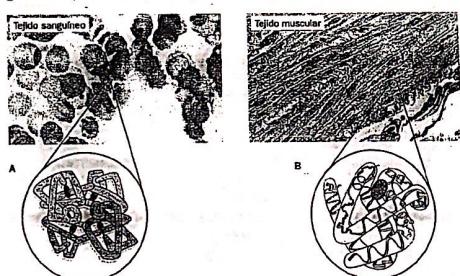
Ya estamos en condiciones de afirmar que la función de una proteína está definida y depende de la composición química, de la secuencia de aminoácidos y de la estructura tridimensional que adopta en el espacio.

Según su composición química, las proteínas simples pueden cumplir sus funciones por sí mismas, como es el caso del colágeno y la insulina, mientras que algunas proteínas solo pueden funcionar si se conjugan con grupos prostéticos determinados. Por ejemplo, el grupo "hemo", con el cual están conjugados la hemoglobina, la mioglobina y el citocromo, presenta un átomo de hierro que se encarga de interaccionar con gases como oxígeno y dióxido de carbono. Sin este grupo prostético, estas proteínas no podrían desempeñar su función de transporte.

Teniendo en cuenta la estructura terciaria, las proteínas fibrosas cumplen funciones estructurales proporcionando resistencia y elasticidad a células y tejidos. Por ejemplo, el colágeno y la elastina. En cambio, las proteínas globulares suelen tener como función el transporte de otras moléculas y la regulación de muchas funciones celulares. En este caso, cada proteína globular presenta una conformación característica que dependerá de la función biológica que realiza. Las enzimas, los anticuerpos y las hormonas son proteínas globulares con funciones muy diferentes.

Otra forma de evidenciar la relación entre estructura y función es analizar las proteínas oligoméricas, ¿te acordás?, aquellas que tienen estructura cuaternaria. En este caso, las subunidades que componen estas proteínas presentan una estructura terciaria semejante a la de otras proteínas que son globulares, y así cumplen funciones similares. Por ejemplo, la estructura terciaria de las subunidades de la hemoglobina es prácticamente igual a la estructura terciaria de la mioglobina, una proteína globular. La primera transporta oxígeno en la sangre y la segunda en el músculo.

Estructuras terciarias:  
A. Hemoglobina;  
B. Mioglobina. Ambas estructuras son casi idénticas en estas proteínas, que cumplen la misma función pero en tejidos diferentes.



Todas las enzimas son proteínas globulares. Si su estructura se ve afectada por las condiciones del medio como cambios de temperatura y pH, dejan de ser activas, es decir, dejan de tener función.

## Síntesis de proteínas

No quedan dudas de que las proteínas intervienen en todo los procesos celulares y que son indispensables para la subsistencia y el desarrollo de los seres vivos. Hemos demostrado hasta aquí la importancia de la estructura y la composición química de las proteínas en la determinación de su funcionalidad. Pensemos ahora cómo será el proceso de la fabricación o síntesis de proteínas.

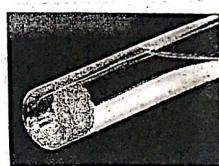
Sabemos que muchas proteínas las incorporamos al ingerir los alimentos, pero ¿podemos utilizarlas directamente como llegan a nuestro organismo?

La respuesta es claramente "no", debido a que nuestro sistema digestivo degrada todos los alimentos que ingerimos, y con ellos, las proteínas. De este modo llegan a la sangre las unidades o monómeros que formaban esas proteínas, es decir, los aminoácidos. Las células de nuestro organismo captan los aminoácidos libres y los recombinan para formar sus propias proteínas. Así es que cada organismo "fabrica" o sintetiza las proteínas que necesita para su funcionamiento.

Ahora, ¿cómo sabe la célula qué proteína debe formar con la gran "sopa" de aminoácidos que tiene? ¿De dónde saca la "receta" para fabricar cada una de las proteínas? ¿Cómo hace para enlazar los aminoácidos en el orden correcto? Son demasiadas preguntas con una única e indiscutible respuesta: el ADN. El ácido desoxirribonucleico o ADN constituye el material genético presente en cada célula y cuenta con toda la información necesaria para producir todas y cada una de las proteínas que el organismo requiere. Recordá que son las proteínas que se expresan las que influyen en el fenotipo de cada organismo.

En el próximo capítulo veremos con más profundidad las características del ADN, cómo se transmite y de qué modo se utiliza la información contenida en los genes. Por ahora, tengamos en cuenta que las "instrucciones" para la formación o síntesis de las proteínas propias de un organismo encuentran en el código genético de cada ser vivo (su ADN), y que las células utilizan moléculas especializadas para traducir esa información y para recombinar los aminoácidos que han sido fabricados por el propio organismo o incorporados con la alimentación.

Estas "instrucciones genéticas" son muy precisas y el proceso de traducción es prácticamente exacto, incluso existe todo un sistema de reparación de los posibles errores que surjan durante la lectura del código genético. Es por eso que, por ejemplo, todas las moléculas de la proteína insulina que se formen son idénticas. Del mismo modo, una falla en el código genético puede producir proteínas defectuosas, tal como ya vimos que ocurre con la hemoglobina en algunas personas.



En el tubo de ensayo se observa ADN humano (tratado de una manera especial), que contiene la información necesaria para sintetizar las proteínas.



Los organismos de dos especies "emparentadas" suelen tener muchas proteínas en común. Sin embargo, hay proteínas específicas que sintetizan cada uno y que los caracterizan.

Recordá

18. ¿De dónde obtienen las células los aminoácidos para sintetizar las proteínas?

19. ¿Dónde se encuentran las instrucciones para la síntesis de proteínas?

Relacioná

20. Relacioná los siguientes conceptos en un párrafo de no más de cinco renglones: ADN, aminoácidos, código genético, proteínas, célula, síntesis, alimentos.

## Actividades finales

### Recordá

21. Explicá brevemente por qué es tan importante el rol que cumplen las proteínas en los seres vivos.

22. Definí con tus palabras los siguientes conceptos:

- a) Polímeros
- b) Aminoácidos
- c) Proteínas
- d) Catalizador
- e) Enzimas
- f) Sustrato

23. Completá el siguiente párrafo.

Las proteínas son macromoléculas formadas por \_\_\_\_\_, que son las unidades o monómeros de este \_\_\_\_\_. Los aminoácidos son compuestos \_\_\_\_\_ formados por un carbono unido a un grupo \_\_\_\_\_, a un grupo \_\_\_\_\_ y a un grupo \_\_\_\_\_.

El grupo \_\_\_\_\_ es el que determina la identidad y las propiedades del aminoácido. Solo \_\_\_\_\_ de ellos se combinan para formar las proteínas de los seres vivos.

24. ¿Qué es la secuencia de aminoácidos de una proteína y qué determina?

### Relacioná

25. Uni con flechas cada una de las siguientes proteínas con su función característica. Luego, mencioná la estructura de cada una de ellas y relacionala con la función que cumplen.

- Hemoglobina
- Insulina
- Immunoglobulina
- Colágeno
- Miosina
- Fibrinógeno
- Contracción y movilidad
- Coagulación
- Transporte
- Hormonal
- Defensa del organismo
- Fuerza y protección

### Experimentá

26. Reúntate con tu grupo y realicen la siguiente experiencia, en la que van a fabricar "plástico" con las proteínas de la leche. Van a precisar los siguientes materiales: 500 ml de leche entera, 20 ml de vinagre blanco, un recipiente para calentar, un recipiente plástico, un mechero u horquilla, fósforos, un embudo y un papel de filtro de café o un colador de malla muy fina.

1. Coloquen los 500 ml de leche en el recipiente metálico y calienten la leche a fuego lento, hasta que esté a punto de hervir.

2. En ese momento, uno de tus compañeros agregará los 20 ml del vinagre sobre la leche. Registren sus observaciones.

3. Dejen enfilar bien la mezcla y procedan a colarla sobre el recipiente de plástico hasta escurrir bien todo el líquido.

4. El residuo o "coágulo" que quedó sobre el colador es nuestro "plástico de leche". Una vez que esté seco, prueben modelarlo con las manos como si fuera plastilina.

Nota: el producto obtenido no es comestible. a) ¿Qué sustancia tiene la leche que coagula en ciertas condiciones?

b) ¿Qué le ocurrió a la proteína de la leche? ¿A qué agentes externos la expusimos?

27. Te proponemos que realices con tu grupo la siguiente experiencia: cocinar un huevo sin utilizar el fuego. Van a necesitar: un huevo, dos recipientes, un batidor de mano o tenedor, 20 ml de alcohol medicinal, un embudo y un papel de filtro de café o un colador de malla muy fina.

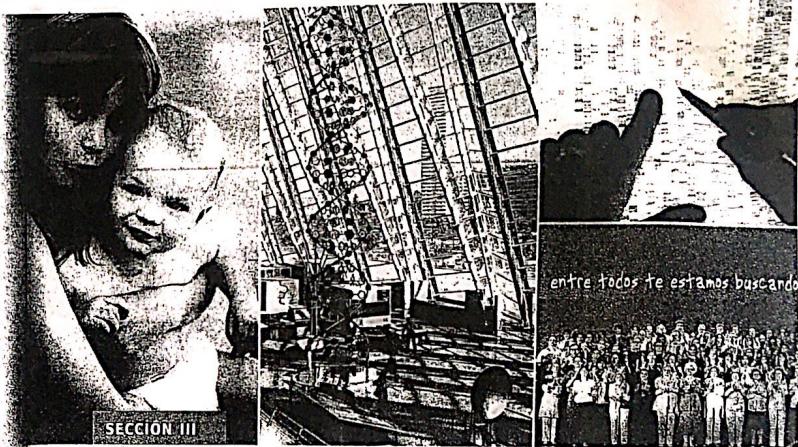
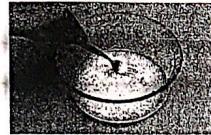
1. Uno de tus compañeros debe batir el huevo en uno de los recipientes con ayuda del batidor o el tenedor.

2. Luego se le agrega el alcohol y se agita suavemente con movimientos circulares hasta observar que el huevo comienza a cuajar.

3. Con la ayuda de uno de tus compañeros, colá la mezcla hasta que escurra bien. Y ya tenés el huevo cocinado.

Nota: el producto obtenido no es comestible. a) ¿Cuál es la proteína que tiene el huevo y qué le ocurrió?

b) ¿A qué agente externo la expusimos? c) ¿Qué pasaría si le agregaran limón o sal de mesa? ¿Y si calientan o agitan el huevo? Diseñen un experimento para comprobarlo.



## SECCIÓN III



## El ADN

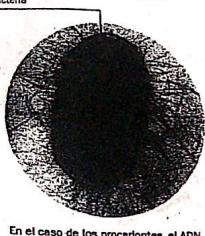
### Punto de partida

De grande, Elena se enteró de que Leonor es su abuela materna. Así como Elena, hay cientos de jóvenes adultos en nuestro país que viven la misma situación. Se trata de personas que de niños fueron secuestrados o nacieron durante el cautiverio de sus madres durante la última dictadura militar. La mayoría de ellos -como ocurrió con Elena- fueron entregados a personas conectadas con los secuestradores, se les cambió el nombre y se les privó de su identidad. En 1977, muchas abuelas se reunieron para buscar a sus nietos desaparecidos y formaron la Asociación Abuelas de Plaza de Mayo. Para recuperarlos necesitaban un método seguro que probara la identidad de sus nietos, y así visitaron universidades y se co-

nectaron con científicos de todo el mundo. Fue el puntapié inicial para el desarrollo de métodos de identificación genética mediante el análisis del ADN. Este logro científico permitió devolverles la identidad a cientos de nietos.

- ¿Cuál es la información tan importante que contiene la molécula de ADN?
- Por qué el estudio de ADN sirvió para asegurar que esos chicos eran los nietos de las abuelas que los buscaban?
- Menciona otras situaciones en las que se utilizan los estudios genéticos.
- Investigá qué es y cómo funciona el Banco Nacional de Datos Genéticos.

## El ADN: biblioteca de genes

**Bacteria**  
  
En el caso de los procariontes, el ADN se encuentra "suelto" en el citoplasma formando un único cromosoma circular cerrado en el momento de la división celular.

Los seres vivos –como vimos en el capítulo anterior– sintetizan sus proteínas a partir de las "instrucciones" presentes en los genes. Las células poseen "herramientas", moléculas con funciones específicas, para traducir este código genético y formar las proteínas que el organismo necesita. En este capítulo estudiaremos las características de la molécula de ADN y cómo se almacena, se administra y se interpreta la información genética de todos los seres vivos.

El ácido desoxirribonucleico (ADN) es una biomolécula con un rol muy importante: contiene toda la información que un ser vivo necesita para funcionar y, además, la transmite de generación en generación. Pero ¿dónde se localiza y cómo se dispone en nuestro cuerpo? Como viste en años anteriores, el ADN se encuentra dentro de las células, tanto en los organismos procariontes como en los eucariontes.

Todos los organismos eucariontes, como las plantas o los animales, contienen al ADN dentro del núcleo celular. En el momento de la división celular este ADN se organiza formando cromosomas. Ahora bien, no todas las especies tienen la misma cantidad de cromosomas: por ejemplo, la mosca de la fruta tiene solo 8; la papa, 48; y el ser humano, 46. El número de cromosomas entonces es característico de cada especie, y en ellos se encuentra toda la información genética para que un ser vivo pueda sintetizar sus proteínas específicas.

No quedan dudas sobre la importancia del ADN como banco de información genética de los seres vivos, pero ¿cómo es que esta biomolécula está relacionada con la herencia y la transmisión genética entre generaciones de una misma especie? En las páginas siguientes vamos a profundizar más sobre este tema, pero primero sigamos hablando de los cromosomas. Los seres humanos, por ejemplo, tenemos 46 cromosomas ordenados en 23 pares: 22 de ellos se denominan autósómicos y 1 sexual. Cada individuo hereda 23 cromosomas del padre y 23 de la madre, y así se forman los 46 cromosomas que poseen la información genética completa, transmitida desde los progenitores.

El mapa genético de cada individuo es una combinación de la información recibida de sus padres y puede estudiarse mediante el cariotipo, que es la imagen de la dotación completa de cromosomas de cada especie.

Para obtener el cariotipo, se toman los glóbulos blancos de una muestra de sangre, y se someten a un tratamiento específico que permite visualizar los cromosomas en la etapa de metafase de la división celular. El material se tinte, se fija y se fotografía. Las imágenes obtenidas de los cromosomas se recortan, se identifican por el tamaño y por el patrón de bandas que presentan, y se ordenan de a pares.

De este modo, el cariotipo es una herramienta que permite analizar el tamaño, el número y la forma de los cromosomas para detectar alteraciones y enfermedades genéticas. Por ejemplo, el síndrome de Down es una trisomía del par 21: una anomalía en el número de cromosomas de ese par (tres en vez de dos).

Los cromosomas que se observan en el cariotipo tienen forma y tamaño variables. Vistos al microscopio aparece un punto de construcción denominado centrómero, que divide el cromosoma en dos brazos. Al inicio de la división celular, los cromosomas aparecen replicados, y cada réplica recibe el nombre de cromátida.

### Genes, código genético y genoma

Ya sabemos que el ADN se organiza en cromosomas, que los cromosomas se disponen de a pares y que en ellos se encuentra la información genética. Ahora veamos cómo está ordenada esa información y aclararemos algunos términos.

El ácido desoxirribonucleico –como veremos– está formado por unidades llamadas nucleótidos (de cuatro tipos distintos) dispuestos en un orden específico. Señalemos ahora que diferencias hay entre el código genético, el gen y el genoma.

El cariotipo humano muestra 46 cromosomas agrupados en 23 pares. En la Imagen se observa el cariotipo de un varón, ya que el par 23 presenta los cromosomas X e Y; si fuera mujer, el par de cromosomas sexuales sería XX.

El código genético es el "lenguaje" en que se expresa el ADN, es decir, la "clave" para leer la secuencia de nucleótidos del ADN y expresarlos en aminoácidos de una proteína. Este código tiene estrictas reglas que se respetan durante su traducción y que veremos más adelante.

Por otra parte, un gen es una porción de ADN, una secuencia ordenada de nucleótidos que contiene la información necesaria para la síntesis de una proteína. Además, el gen es la unidad de almacenamiento y transmisión de la información genética de un individuo. En los cromosomas hay miles o cientos de genes, y cada gen ocupa una posición establecida denominada locus.

El conjunto de los genes de todos los cromosomas de un individuo o de una especie, es decir, el total de su información genética, se conoce como genoma.

Para entenderlo mejor, imaginemos que nuestro genoma es una enorme biblioteca con 46 estantes, los cromosomas. Cada estante, formado por una única molécula de ADN, contiene muchos libros con información para fabricar algo útil. Los libros serían los genes y la información contenida en ellos está escrita en un lenguaje particular: el código genético.

### Proyecto Genoma Humano

El Proyecto Genoma Humano comenzó oficialmente el 1.º de octubre de 1990 con dos tareas fundamentales: ordenar las piezas del genoma humano y descubrir cuáles son los genes que determinan una función en el organismo. El ADN analizado procedió de pequeñas muestras de sangre o de tejido obtenidas de personas diferentes.

En 2003 se logró describir totalmente el genoma humano, lo que abrió la posibilidad de impresionantes beneficios para nuestra especie. A partir de ese momento, se concidió que nuestro genoma contiene cerca de 23.000 genes, muchos menos de los que en un principio se esperaba hallar. Teniendo en cuenta que, por ejemplo, la mosca de la fruta tiene unos 14.000 genes y el trigo 100.000, quedó claro algo que ya se sospechaba: que no existe una relación directa entre la cantidad de genes y la complejidad de un organismo.

También se pudo comprobar que cada gen está implicado en la síntesis de más de una proteína. Y que muchos genes presentan secuencias de ADN no codificantes, es decir, que no tienen información para sintetizar proteínas.

A su vez, esta investigación reveló un dato crucial: que los seres humanos somos genéticamente muy semejantes, compartimos el 99,9% del genoma y solo nos diferenciamos en el 0,01%, por lo cual no existe base genética para el concepto de "raza".



### Recordá

1. ¿Qué es el ADN y cuál es su importancia para los seres vivos?
2. ¿En qué lugar dentro de las células eucariotas se localiza el ADN?

### Relacioná

3. Definí los siguientes términos: gen, genoma y código genético. Luego, relacionalos en un párrafo.

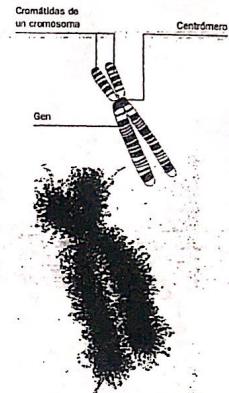
### Resolvé

4. Indicá si las siguientes afirmaciones son verdaderas (V) o falsas (F). Escríb correctamente las opciones falsas.

- a) El locus es la posición que ocupa cada gen en el cromosoma.
- b) Todas las especies de seres vivos tienen la misma cantidad de cromosomas.
- c) Los seres humanos tenemos 23 cromosomas autosómicos.
- d) El cariotipo es una imagen de todos los cromosomas de un individuo, ordenados para su estudio.

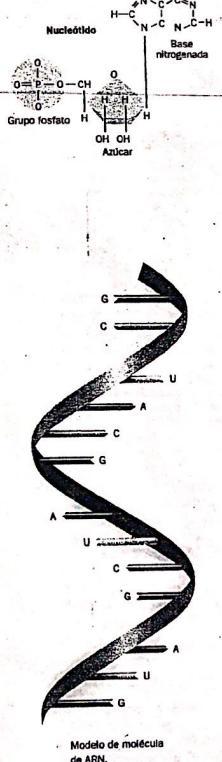
### Investigá

5. Buscá información sobre el Proyecto Genoma Humano. Confeccioná un informe que incluya los países que participaron y los descubrimientos hechos desde el año 2000 hasta la actualidad.



Cada cromosoma tiene genes con una ubicación específica (locus) y con información para sintetizar al menos una proteína.

## Los ácidos nucleicos



El ADN pertenece a un grupo de moléculas denominadas **ácidos nucleicos**. Los científicos asignaron ese nombre a un tipo de sustancias aisladas del núcleo de las células estudiadas y que poseían carácter ácido. Más tarde descubrieron que correspondían a macromoléculas con importantes funciones biológicas.

Se comprobó que el ADN y otro ácido nucleico, el ARN (ácido ribonucleico), intervienen en la transmisión de las características hereditarias de una generación a otra, y "dirigen" la síntesis de proteínas específicas que permiten que las células funcionen correctamente.

Los dos ácidos se sintetizan en el núcleo y están formados por cadenas de cientos o miles de pequeñas unidades llamadas nucleótidos y ordenadas en secuencias específicas.

Los nucleótidos son compuestos orgánicos formados básicamente por tres componentes:

- un azúcar de cinco átomos de carbono, o pentosa;
- una base nitrogenada, puede ser adenina (A), guanina (G), citosina (C), timina (T) o uracilo (U);
- un grupo fosfato: compuesto por fósforo y oxígeno.

Los nucleótidos son los monómeros de los ácidos nucleicos, pero para formar el polímero deben unirse entre sí. Esta unión se produce entre el grupo fosfato de un nucleótido y el azúcar del siguiente, mediante un enlace denominado **enlace fosfodiéster**.

Tanto el ADN como el ARN son polímeros formados por combinaciones de cuatro nucleótidos específicos, sin embargo presentan diferencias tanto en sus componentes como en su estructura y función biológica.

El ADN (ácido desoxirribonucleico) está formado por nucleótidos que tienen como azúcar una desoxirribosa, mientras que el ARN (ácido ribonucleico) está formado por ribosa.

• Ambos ácidos nucleicos comparten los nucleótidos formados por las siguientes bases nitrogenadas: la adenina (A), la guanina (G) y la citosina (C). Sin embargo, hay un cuarto nucleótido que posee una base nitrogenada específica de cada ácido nucleico: la timina (T) para el ADN y el uracilo (U) para el ARN.

Sobre la estructura, en principio, podemos decir que cada molécula de ADN está formada por dos largas cadenas o hebras de nucleótidos, mientras que el ARN presenta sólo una.

Como ya mencionamos, el ADN "dirige" la síntesis de proteínas. Ahora bien, ¿cómo se relaciona el ADN con las proteínas? Aunque este tema lo veremos en profundidad más adelante, recordé que la estructura primaria de las proteínas está dada por su secuencia de aminoácidos. Y es la secuencia de nucleótidos en el ADN la que determina el orden de los aminoácidos en una proteína, es decir, codifica la información genética para sintetizarla.

	ADN	ARN
• Ácidos	Desoxirribonucleicos	Ribonucleicos
• Base nitrogenada	Timina	Uracilo
• Estructura	Cadena doble	Cadena simple

Diferencias entre el ADN y el ARN.

## La estructura del ADN

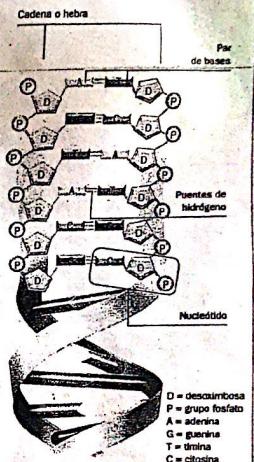
Tanto la estructura del ADN como su conformación en el espacio son muy particulares y están relacionadas con su función en los seres vivos. Cada molécula de ADN está constituida por dos largas cadenas de nucleótidos ubicadas en forma paralela. Estas dos cadenas de ADN se entrecruzan y se enroscan formando en el espacio una conformación de **doble hélice**, como si fuera una escalera caracol. La estructura de la molécula de ADN como "doble hélice" fue postulada por primera vez en el año 1953 por los científicos James Watson y Francis Crick, lo que permitió comprender muchas de las funciones biológicas de esta molécula.

Los nucleótidos de cada una de las dos cadenas se encuentran asociados en forma específica con los de la otra cadena a través de sus bases nitrogenadas. Las bases nitrogenadas se ubican orientadas hacia el interior y enfrentadas entre sí por parejas, como formando los escalones de la escalera caracol.

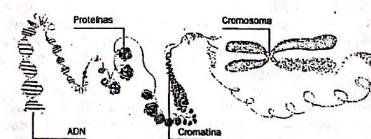
La conexión entre los nucleótidos de ambas cadenas no es casual sino que se produce de un modo muy específico. Existe una afinidad química entre algunas de las bases nitrogenadas de los nucleótidos, entonces estas bases "afines" se unen a través de enlaces débiles denominados "puentes de hidrógeno". Aquellas bases nitrogenadas que tienen la capacidad de unirse entre sí se llaman **bases complementarias**.

Como mencionamos anteriormente, esta larguísima doble cadena de ADN se localiza en el núcleo de nuestras células, y cabe dentro de este espacio tan reducido adoptando una organización más empaquetada: la **cromatina**, que luego, durante la división celular, se compacta aún más y forma los cromosomas. La organización del ADN en cromosomas está presente en todos los organismos eucariotas y comprende una serie de grados de condensación del material genético muy particular.

Para llegar a formar los cromosomas, las largas hebras de ADN se unen primero a unas proteínas específicas llamadas **histonas**, como si fuera un collar de cuentas. Ocho histonas forman un núcleo que, rodeado por las hebras de ADN, constituye el **nucleosoma**, primer nivel de condensación del ADN. Estos nucleosomas se compactan en **cromatina** que pasa por distintos niveles de condensación hasta formar los cromosomas. De este modo, cada cromosoma está compuesto por una única molécula de ADN asociada a proteínas.



El esquema representa la estructura que el ADN adquiere en el espacio: la "doble hélice".



Bases complementarias en el ADN	
Adenina	Timina
Citosina	Uracilo
Guanina	Adenina
Timina	Citosina

El ADN en las células eucariotas se encuentra enrollado en el interior del núcleo asociado con proteínas formando cromatina. Cuando comienza la división celular (mitosis), la cromatina se condensa y compacta, y adopta la forma de los cromosomas.

Recordá

6. ¿Cuáles son las unidades monoméricas de los ácidos nucleicos?

7. Indicá las diferencias y similitudes entre los ácidos nucleicos ARN y ADN.

Relacioná

8. ¿Cuáles son las unidades monoméricas de los ácidos nucleicos?

## Transmisión genética: replicación del ADN

Al principio de este capítulo destacamos las dos importantes funciones del ADN: su rol como "banco" de información genética de un ser vivo, que es transmitida a través de las distintas generaciones, y la utilización de esa información para la fabricación de las proteínas necesarias para el funcionamiento del organismo.

Más adelante veremos lo referente a la síntesis de proteínas. Ahora nos ocuparemos de entender el mecanismo por el cual la información genética se conserva y se transmite.

Para que un ser vivo crezca y se desarrolle, es necesario que sus células también crezcan y se multipliquen, es decir que deben aumentar su tamaño y su cantidad. Teniendo en cuenta que todas las células se forman a partir de otras células ya existentes, entonces ¿cómo logran multiplicarse?

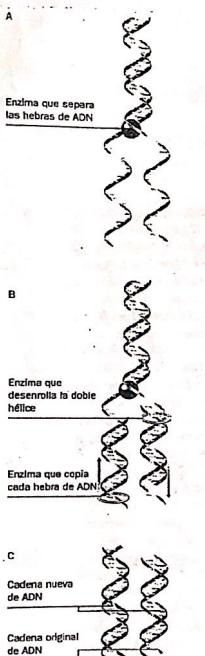
El aumento del número de células de un organismo pluricelular se produce mediante un proceso denominado "división celular", que consta de cuatro etapas fundamentales.

1. Crecimiento: la célula que va a dividirse, en general, aumenta su tamaño.
2. Replicación o autoduplicación del ADN: cuando una célula se multiplica y produce células hijas, debe transmitirles también la información genética contenida en su ácido desoxirribonucleico. Por eso, cuando una célula se divide, debe hacer previamente una copia lo más exacta y precisa posible de su ADN.
3. Separación del ADN: una vez que el ADN se duplica, las dos copias se separan para dividirse en cada una de las células hijas que se formarán.
4. Separación de las células hijas: al final del proceso las dos células hijas, cada una con una copia del ADN original, se separan y forman unidades independientes. Entonces, para transmitir y conservar la información genética de una generación a la siguiente, el ADN debe duplicarse. Veamos ahora cómo es el mecanismo de autoduplicación o replicación del ADN.

Como la molécula de ADN consta de dos hebras complementarias enrolladas en una "doble hélice", para poder autoduplicarse es necesario que estas hebras o cadenas de ADN se separen previamente. En este proceso actúan algunas enzimas específicas como las **helicasas**, que rompen los puentes de hidrógeno que existen entre las bases nitrogenadas, y las **topoisomerasas**, que hacen girar la molécula durante la replicación; entre otras enzimas. Al ser complementarias, cada una de las dos cadenas actúa como un molde para fabricar la otra cadena. Cabe aclarar que durante la replicación, una de las cadenas molde es copiada en un sentido, y la otra, en otro.

Una vez que las dos hebras están separadas, actúan sobre ellas una enzima específica: la **ADN polimerasa**. Esta enzima reconoce la hebra de ADN y cataliza la unión de los nucleótidos a cada una de las cadenas de ADN molde. Esta unión se produce mediante el "apareamiento" de bases nitrogenadas complementarias. Es decir que cada base nitrogenada se aparea o se une con su base complementaria a través de enlaces puente de hidrógeno (ver tabla de la página 167). Los nucleótidos, adicionados por la enzima, forman nuevas hebras de ADN complementarias a los moldes. Cada cadena producida se combina con su cadena "molde" complementaria y forma nuevamente la doble hélice de ADN.

Inicialmente la célula tenía una sola molécula de ADN, y al final del proceso de autoduplicación posee dos moléculas de ADN, una para cada una de las dos células hijas que se formarán. Se dice que la replicación del ADN es semiconservativa porque cada molécula formada está constituida por una hebra "vieja" y una "nueva". De este modo, las células aumentan su número, se multiplican, pero conservan su información genética.



Modelo de replicación del ADN. A. La enzima helicasa separa las dos hebras de la cadena helicoidal de ADN en puntos específicos. B. La enzima topoisomerasa desenrolla cada hebra de ADN y, la enzima ADN polimerasa, que se mueve en sentido inverso, lee cada hebra y fabrica una nueva. C. Finalmente se obtienen dos cadenas nuevas de ADN, una por cada hebra del ADN original.

### Un código universal

Luego del gran descubrimiento de Watson y Crick sobre la estructura de doble hélice del ADN, los científicos se hicieron dos preguntas: ¿existe algún código que relacione la secuencia de nucleótidos del ADN con la secuencia de aminoácidos de las proteínas? Y ¿cómo hace la célula para convertir la información del ADN en una proteína? Vamos a intentar contestar la primera pregunta, dejemos la segunda para más adelante.

El código genético es el "lenguaje" de los genes. Las bases nitrogenadas que forman el ADN son leídas y copiadas por el ARN para que las células puedan sintetizar sus proteínas. Los científicos Crick y Brenner, en 1961, definieron las características de ese código y el conjunto de normas que utiliza la célula al aplicarlo.

Una de esas características es que la información genética una vez copiada en el ARN mensajero se lee en secuencias de tres nucleótidos o tripletes llamados **codones**. Cada codón se corresponde con un aminoácido específico dentro de una proteína.

Otra característica destacada es la **universalidad** del código genético nuclear. Esto quiere decir que el mismo codón representa el mismo aminoácido en diferentes especies. Los experimentos realizados confirmaron que todos los seres vivos poseen un ADN similar formado por las mismas unidades: los nucleótidos. El código de la información genética también es común a todos los seres vivos, incluyendo virus y bacterias. Por ejemplo, el codón UUU en las bacterias y en las células eucariotas corresponde al aminoácido fenilalanina. Este hecho demuestra la presencia de un único origen en el código genético de todos los seres vivos y considera la existencia de un ancestro común a todas las especies. Con toda esta evidencia, los científicos consideraron que dentro de una bacteria podría "leerse" el ADN de un ser humano, siendo la universalidad del código genético uno de los conceptos en los que se basaron la biotecnología moderna y la generación de organismos transgénicos, temas que veremos en el próximo capítulo.

Hay una única excepción a la universalidad del código genético, el **código mitocondrial**. Además de la información genética localizada en el núcleo celular, en las células eucariotas existe un ADN mitocondrial con características muy especiales.

El ADN mitocondrial representa el 1% del genoma total. Se transmite solo por vía materna, ya que en la gestación es el óvulo el que aporta las mitocondrias al cigoto. Codifica una cantidad limitada de proteínas y permite hacer estudios más precisos. Es posible realizar pruebas con este ADN para determinar si dos individuos están relacionados por el lado materno de la familia.

No vamos a profundizar en el tema, pero es importante señalar que el ADN mitocondrial es de gran utilidad en los análisis para los estudios de identidad de personas.



Todos los seres vivos comparten el mismo código genético, por eso se considera universal.

### Recordá

8. Explicá cuál es la utilidad del proceso de "división celular" y mencioná sus cuatro etapas fundamentales.
9. ¿Para qué se autoduplica el ADN en los seres vivos?
10. ¿Qué es un codón y qué representa?

11. Explicá con tus palabras a qué se refiere la "universalidad del código genético" y cuál es su importancia científica.

### Resolvé

12. Suponiendo que la siguiente representación es la molécula de ADN de una célula, indicá cómo quedarán las dos moléculas formadas luego de la replicación del ADN. En cada nueva molécula, marca con rojo la hebra de ADN "molde" que proviene de la original.

ATTCGGCATGAAACGCTAGGGATCATGA  
TAAGCGTACTTCGATCCTTGTAGTACT

## De genes a proteínas

La síntesis de proteínas consta de dos etapas fundamentales: la transcripción del ADN y la traducción a proteínas. Estos procesos se dan en todos los organismos con ciertas diferencias. En los organismos procariontes, como las bacterias, la transcripción y la traducción se producen en el citoplasma, mientras que en los organismos eucariontes, como los animales y las plantas, estos dos procesos ocurren en diferentes lugares: la transcripción en el núcleo y la traducción en el citoplasma celular.

El ADN es una molécula formada por dos cadenas y "escrita" en un lenguaje de nucleótidos, ordenados en una secuencia específica. Para lograr que la información contenida en el ADN pueda ser utilizada por la célula en la fabricación de proteínas, debe copiarse previamente como ARN mensajero. El ARN mensajero posee un "lenguaje" de nucleótidos similar al ADN, pero es una cadena más corta y puede ser procesado por la maquinaria celular. Además, en las células eucariontes el ADN se encuentra dentro del núcleo y no puede salir, por lo cual necesita transcribirse a este ARNm que sí puede "viajar" al citoplasma para ser traducido a proteínas.

La transcripción se inicia cuando la enzima ARN-polinmerasa reconoce una de las hebras de ADN. Luego esta enzima va colocando los nucleótidos complementarios a los que encuentran en el ADN (C=G, G=C, A=U, T=A), uno a uno por vez, hasta formar una cadena de nucleótidos complementaria a la de ADN: la hebra de ARNm. Este proceso finaliza cuando la enzima encuentra una secuencia de nucleótidos que la obliga a separarse de la hebra de ADN madre.

El ARNm recién formado sale del núcleo a través de poros de la membrana nuclear hacia el citoplasma para asociararse a los ribosomas e iniciar el proceso de traducción. En este punto ya tenemos el ARNm con toda la información, que se ha transcripto desde el ADN, y que es necesario para fabricar una proteína. Pero el ARNm, al igual que el ADN, está codificado en un "lenguaje" de nucleótidos y una proteína está en un "lenguaje" de aminoácidos. La conversión de un lenguaje a otro se denomina, como ya sabemos, traducción.

¿Cómo "sabe" la célula qué aminoácido corresponde a cada nucleótido? En la célula, la información contenida en el ARN es interpretada utilizando el "código genético", ese conjunto de "reglas" para traducir nucleótidos (según sus bases nitrogenadas) en aminoácidos.

Ya mencionamos que una de las características fundamentales del código genético es que está organizado en tripletes o codones, y que cada codón determina un aminoácido.

PRIMERA LETRA	SEGUNDA LETRA	TERCERA LETRA			
UUU	Fenilalanina	UAU	Tirosina	UGU	Cisteína
UUC		UCC	Serina	UGC	
UUA	Leucina	UCA		UGA	Codón de parada
UUG		UCC		UGG	Tryptófano
CUU		CAU	Histidina	CGU	Arginina
CUC	Leucina	CAC		CGC	
CUA		CAA		CGA	
CUG		CAG		CGG	
AUU		AAU	Asparagina	GUU	
AUC	Isoleucina	ACC		GCU	Alanina
AUA		ACA	Treonina	GCA	
AUG	Metionina (Codón de iniciación)	ACG		GAA	Ácido aspártico
		AAA	Lisina	GAC	Ácido glutámico
GUU		GAU		GGU	Glicina
GUU	Valina	GCC		GCC	
GUU		GCA	Alanina	GGA	
GUU		GCG		GGA	

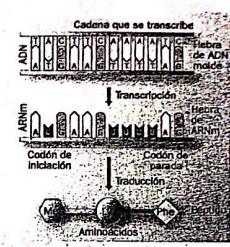
El código genético es como un diccionario, contiene 61 codones (tripletes de nucleótidos) que pueden traducirse en aminoácidos.

Ahora, pensemos: si en el ARNm existen cuatro tipos de nucleótidos diferentes (A, G, C y U) y los combinamos en grupos de tres nucleótidos, habría 64 posibles tripletes diferentes que deben determinar los veinte aminoácidos distintos que existen. Entonces, un mismo aminoácido puede estar codificado por más de un tripleto o codón. Por ejemplo, hay seis codones que codifican para el aminoácido leucina: UUA, UUG, CUU, CUC, CUA y CUG. El código también posee indicaciones para comenzar y finalizar la traducción: hay codones como el UAA, UAG y UGA que indican la finalización de la traducción (codones stop o de parada), mientras que otros, como la AUG, son una señal de iniciación (codón start o de iniciación).

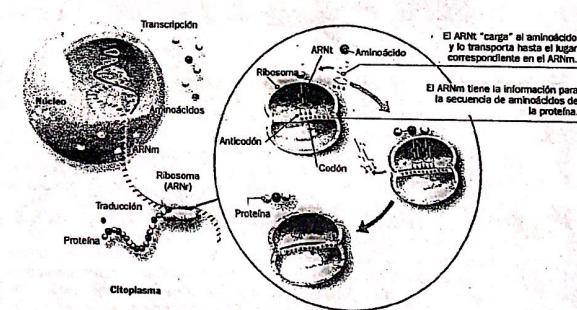
En el proceso de traducción intervienen los otros dos tipos de ARN que mencionamos anteriormente: los ribosomas y el ARN de transferencia.

En primer lugar, cuando el ribosoma (ARN) reconoce la hebra de ARNm se ensamblan sus dos subunidades (la mayor por encima del ARNm y la menor por debajo). El ribosoma es el lugar donde ocurre la traducción. El ARNt o de transferencia reconoce específicamente a uno de los codones del ARNm encerrados dentro del ribosoma y se une a través del anticodón ubicado en una de sus extremos. El ARNt es como un adaptador, de un lado tiene un anticodón que se "encha" en el codón del ARNm y del otro lado tiene enganchado el aminoácido que corresponde, según el código genético. Los distintos ARNt, cada uno con su anticodón y su aminoácido, se unen al ARNm con la ayuda del ribosoma.

De este modo, se van encadenando los aminoácidos a través de un enlace peptídico formando un polímero específico: la proteína y los ARNt se separan de sus aminoácidos y quedan libres en el citoplasma. A su vez, el ribosoma se va trasladando a lo largo de todo el ARNm para que no quede ningún codón sin ser traducido. Al finalizar el proceso de traducción, se libera la proteína formada y el ARNm también queda libre para volver a unirse al ribosoma, iniciar nuevamente el proceso y sintetizar otra molécula de la proteína.



En la Imagen, la hebra de ADN usada como molde se ha transcripto a un ARNm, en lenguaje de nucleótidos. Luego, cada tripleta o codón se ha traducido a lenguaje de aminoácido utilizando el código genético.



En el esquema se muestra de manera simplificada el proceso de transcripción en el núcleo y el de traducción en el citoplasma.

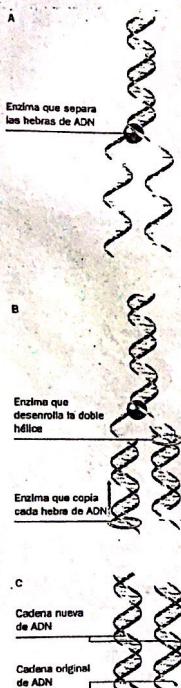
Recordá

15. Menciona y explica las dos características del código genético que se señalan en esta página.

Relacioná

16. Analizá cómo se vinculan el ARNm y el ARNt en la síntesis proteica.

## Transmisión genética: replicación del ADN



Modelo de replicación del ADN. A. La enzima helicasa separa las dos hebras de la cadena helicoidal de ADN en puntos específicos. B. La enzima topoisomerasa desenrolla cada hebra de ADN y, la enzima ADN polimerasa, que se mueve en sentido inverso, lee cada hebra y fabrica una nueva. C. Finalmente se obtienen dos cadenas nuevas de ADN, una por cada hebra del ADN original.

Al principio de este capítulo destacamos las dos importantes funciones del ADN: su rol como "banco" de información genética de un ser vivo, que es transmitida a través de las distintas generaciones, y la utilización de esa información para la fabricación de las proteínas necesarias para el funcionamiento del organismo.

Más adelante veremos lo referente a la síntesis de proteínas. Ahora nos ocuparemos de entender el mecanismo por el cual la información genética se conserva y se transmite.

Para que un ser vivo crezca y se desarrolle, es necesario que sus células también crezcan y se multipliquen, es decir que deben aumentar su tamaño y su cantidad. Teniendo en cuenta que todas las células se forman a partir de otras células ya existentes, entonces ¿cómo logran multiplicarse?

El aumento del número de células de un organismo pluricelular se produce mediante un proceso denominado "división celular", que consta de cuatro etapas fundamentales.

1. **Crecimiento:** la célula que va a dividirse, en general, aumenta su tamaño.
2. **Replicación o autoduplicación del ADN:** cuando una célula se multiplica y produce células hijas, debe transmitirles también la información genética contenida en su ácido desoxirribonucleico. Por eso, cuando una célula se divide, debe hacer previamente una copia lo más exacta y precisa posible de su ADN.
3. **Separación del ADN:** una vez que el ADN se duplicó, las dos copias se separan para dividirse en cada una de las células hijas que se formarán.
4. **Separación de las células hijas:** al final del proceso las dos células hijas, cada una con una copia del ADN original, se separan y forman unidades independientes. Entonces, para transmitir y conservar la información genética de una generación a la siguiente, el ADN debe duplicarse. Veamos ahora cómo es el mecanismo de autoduplicación o replicación del ADN.

Como la molécula de ADN consta de dos hebras complementarias enrolladas en una "doble hélice", para poder autoduplicarse es necesario que estas hebras o cadenas de ADN se separen previamente. En este proceso actúan algunas enzimas específicas como las helicasas, que rompen los puentes de hidrógeno que existen entre las bases nitrogenadas, y las topoisomerasas, que hacen girar la molécula durante la replicación; entre otras enzimas. Al ser complementarias, cada una de las dos cadenas actúa como un molde para fabricar la otra cadena. Cabe aclarar que durante la replicación, una de las cadenas molde es copiada en un sentido, y la otra, en otro.

Una vez que las dos hebras están separadas, actúa sobre ellas una enzima específica: la ADN polimerasa. Esta enzima reconoce la hebra de ADN y cataliza la unión de los nucleótidos a cada una de las cadenas de ADN molde. Esta unión se produce mediante el "apareamiento" de bases nitrogenadas complementarias. Es decir que cada base nitrogenada se aparea o se une con su base complementaria a través de enlaces puente de hidrógeno (ver tabla de la página 167). Los nucleótidos, adicionados por la enzima, forman nuevas hebras de ADN complementarias a los moldes. Cada cadena producida se combina con su cadena "molde" complementaria y forma nuevamente la doble hélice de ADN.

Inicialmente la célula tenía una sola molécula de ADN, y al final del proceso de autoduplicación posee dos moléculas de ADN, una para cada una de las dos células hijas que se formarán. Se dice que la replicación del ADN es semiconservativa porque cada molécula formada está constituida por una hebra "vieja" y una "nueva". De este modo, las células aumentan su número, se multiplican, pero conservan su información genética.

### Un código universal

Luego del gran descubrimiento de Watson y Crick sobre la estructura de doble hélice del ADN, los científicos se hicieron dos preguntas: ¿existe algún código que relaciona la secuencia de nucleótidos del ADN con la secuencia de aminoácidos de las proteínas? Y ¿cómo hace la célula para convertir la información del ADN en una proteína? Vamos a intentar contestar la primera pregunta, dejemos la segunda para más adelante.

El código genético es el "lenguaje" de los genes. Las bases nitrogenadas que forman el ADN son leídas y copiadas por el ARN para que las células puedan sintetizar sus proteínas. Los científicos Crick y Brenner, en 1961, definieron las características de ese código y el conjunto de normas que utiliza la célula al aplicarlo.

Una de estas características es que la información genética una vez copiada en el ARN mensajero se lee en secuencias de tres nucleótidos o tripletes llamados codones. Cada codón se corresponde con un aminoácido específico dentro de una proteína.

Otra característica destacada es la universalidad del código genético nuclear. Esto quiere decir que el mismo codón representa el mismo aminoácido en diferentes especies. Los experimentos realizados confirmaron que todos los seres vivos poseen un ADN similar formado por las mismas unidades: los nucleótidos. El código de la información genética también es común a todos los seres vivos, incluyendo virus y bacterias. Por ejemplo, el codón UUU se lee en bacterias y en las células eucariotas correspondiente al aminoácido fenilalanina. Este hecho demuestra la presencia de un único origen en el código genético de todos los seres vivos y considera la existencia de un ancestro común a todas las especies. Con toda esta evidencia, los científicos consideraron que dentro de una bacteria podría "leerse" el ADN de un ser humano, siendo la universalidad del código genético uno de los conceptos en los que se basaron la biotecnología moderna y la generación de organismos transgénicos, temas que veremos en el próximo capítulo.

Hay una única excepción a la universalidad del código genético, el código mitocondrial. Además de la información genética localizada en el núcleo celular, en las células eucariotas existe un ADN mitocondrial con características muy especiales.

El ADN mitocondrial representa el 1% del genoma total. Se transmite solo por vía materna, ya que en la gestación es el óvulo el que aporta las mitocondrias al cigoto. Codifica una cantidad limitada de proteínas y permite hacer estudios más precisos. Es posible realizar pruebas con este ADN para determinar si dos individuos están relacionados por el lado materno de la familia.

No vamos a profundizar en el tema, pero es importante señalar que el ADN mitocondrial es de gran utilidad en los análisis para los estudios de identidad de personas.



Todos los seres vivos comparten el mismo código genético, por eso se considera universal.

### Recordá

8. Explicá cuál es la utilidad del proceso de "división celular" y mencioná sus cuatro etapas fundamentales.

9. ¿Para qué se autoduplica el ADN en los seres vivos?

10. ¿Qué es un codón y qué representa?

11. Explicá con tus palabras a qué se refiere la "universalidad del código genético" y cuál es su importancia científica.

### Resolvé

12. Suponiendo que la siguiente representación es la molécula de ADN de una célula, indicá cómo quedarían las dos moléculas formadas luego de la replicación del ADN. En cada nueva molécula, marca con rojo la hebra de ADN "molde" que proviene de la original.

ATTCGCATGAACGCTAGAAATCATGA  
TAACCGTACCTTGGATCCCTTAGTACT