

Nuevo Explor@ndo



# Biología

3º  
Medio

Ciencias Naturales

pensamiento  
científico

órganos  
sensoriales

evolución  
biológica

origen  
de la vida

sistema  
nervioso



sm



# Biología

Ciencias Naturales



## Autoría

### Jorge Alvarado López

Licenciado en Ciencias Biológicas  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
MSc. Quantitative Resource Ecology  
University of Cape Town (Sudáfrica)  
Doctor en Ciencias Biológicas, mención Ecología  
Pontificia Universidad Católica de Chile

### David Santibáñez Gómez

Licenciado en Ciencias Biológicas  
Licenciado en Educación  
Profesor de Biología y Ciencias Naturales  
Pontificia Universidad Católica de Chile  
Magíster en Pedagogía  
Universidad Alberto Hurtado

### Claudia Vergara Díaz

Licenciada en Educación  
Profesora de Biología y Ciencias Naturales  
Licenciada en Ciencias Biológicas  
Doctora en Ciencias de la Educación  
Pontificia Universidad Católica de Chile

El Texto Biología – Proyecto Nuevo Explor@ndo para 3º Año de Educación Media es una creación del  
Departamento de Estudios Pedagógicos de Ediciones SM – Chile.

DIRECCIÓN EDITORIAL  
Arlette Sandoval Espinoza

JEFATURA EDITORIAL  
Georgina Giadrosić Reyes

EDICIÓN  
Andrea Tenreiro Bustamante

AYUDANTÍA DE EDICIÓN  
Danahe Coll García

AUTORÍA  
Jorge Alvarado López  
David Santibáñez Gómez  
Claudia Vergara Díaz

ASESORÍA PEDAGÓGICA  
José Manuel Jerez Álvarez

CORRECCIÓN DE ESTILO  
Guillermo Riquelme Ahumada

DIRECCIÓN DE ARTE  
Carmen Gloria Robles Sepúlveda

COORDINACIÓN DE DISEÑO  
Gabriela de la Fuente Garfias

DISEÑO DE PORTADA  
José Luis Jorquera Dölz

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN  
José Luis Jorquera Dölz

ILUSTRACIONES  
Cristian González Valdés

FOTOGRAFÍA  
Archivos fotográficos SM  
Diomedia Imagegroup

PRODUCCIÓN  
Andrea Carrasco Zavala

[www.ediciones-sm.cl](http://www.ediciones-sm.cl)



Este libro corresponde al Tercer año de Enseñanza Media y ha sido elaborado conforme al Marco Curricular vigente del Ministerio de Educación de Chile.

© 2011 - Ediciones SM Chile S.A.

Dirección editorial: Coyancura 2283, oficina 203 - Providencia, Santiago.

Printed in Chile / Impreso en Chile por Worldcolor

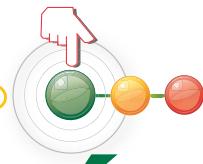
ISBN 978-956-349-001-5 - Depósito legal Nº 212080

E-mail: chile@ediciones-sm.cl

Servicio de Atención al Cliente: 600 381 13 12

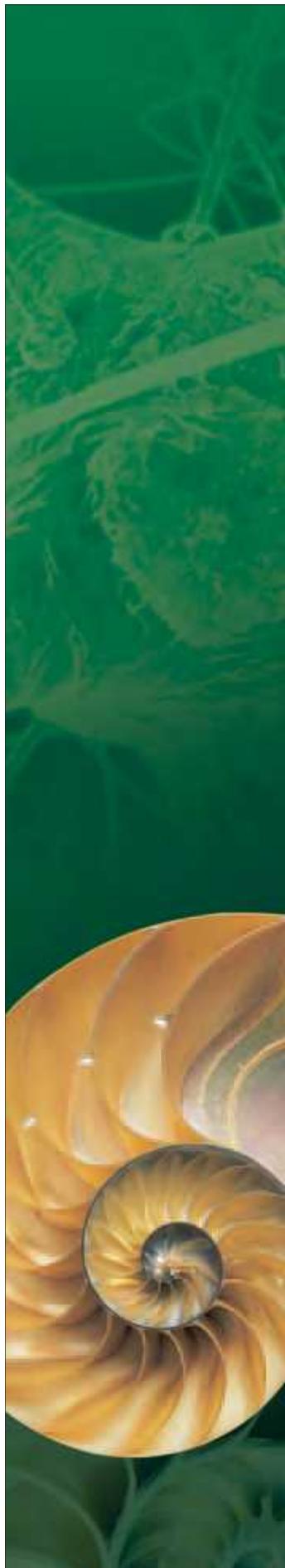
Este libro se terminó de imprimir en los talleres de Worldcolor, ubicados en Avenida Gladys Marín 6920. Santiago, Chile.

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del Copyright, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la regrabación y el tratamiento informático, y la distribución en ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.



Nuevo Explor@ndo

# Biología



Este libro, *Biología 3º medio*, perteneciente a la colección *Nuevo Explor@ndo*, te acompaña hoy en esta nueva etapa escolar. Ya estás próximo(a) a terminar tu enseñanza media y hay ciertos temas que comienzan a tomar relevancia, como es la PSU. En este Texto encontrarás material que te será muy útil para ejercitarte y tomar conciencia de tus dificultades, con el fin de abordarlas de mejor manera. También descubrirás secciones orientadas a conocer qué es el pensamiento científico y cómo se construye una disciplina tan dinámica como es la ciencia.

Durante el primer semestre estudiarás cómo tu cuerpo percibe el ambiente y es capaz de reaccionar y responder de manera coordinada y permanente a estos cambios, y lo más increíble es que sucede de tal forma que ni siquiera debes pensar en ello. Además, conocerás, de manera detallada, más de tu cuerpo y cómo funciona, con una sincronía extraordinaria, cada parte de él.

Durante el segundo semestre nos adentraremos en el apasionante mundo de la evolución. Recorreremos la historia de la vida en la Tierra e identificaremos en qué momento aparecemos nosotros como especie biológica dentro de este alucinante rompecabezas.

Te invitamos a recorrer tu Texto, a aprovechar cada una de sus secciones y a disfrutar conociendo este maravilloso mundo natural del que somos parte.

Unidades	Objetivos Fundamentales (OF)	Contenidos Mínimos Obligatorios (CMO)
 <b>1</b> <b>Coordinación e integración de respuestas</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Organizar e interpretar datos, y formular explicaciones, apoyándose en las teorías y conceptos científicos en estudio.</li> <li>4. Comprender que los organismos han desarrollado mecanismos de funcionamiento sistémico y de interacción integrada con el medio exterior, de manera de mantener un ambiente interno estable, óptimo y dinámico que le confiere cierta independencia frente a las fluctuaciones del medio exterior.</li> <li>5. Conocer la organización del sistema nervioso y su función en la regulación, coordinación e integración de las funciones sistémicas y la adaptación del organismo a las variaciones del entorno.</li> </ol> <p><b>Objetivo fundamental transversal (OFT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interés por conocer la realidad y utilizar el conocimiento.</li> <li>• Comprender y valorar la perseverancia, el rigor y el cumplimiento, la flexibilidad y la originalidad.</li> <li>• Habilidades de análisis, interpretación y síntesis.</li> <li>• Habilidades de investigación.</li> </ul>	<p><b>Eje Habilidades de pensamiento científico</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Procesamiento e interpretación de datos, y formulación de explicaciones, apoyándose en los conceptos y modelos teóricos del nivel.</li> </ol> <p><b>Eje Estructura y función de los seres vivos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Descripción del control hormonal y nervioso en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a cambios que modifican su estado de equilibrio, por ejemplo, el estrés, los cambios transitorios o estacionales de la temperatura ambiente.</li> <li>6. Identificación de la neurona como la unidad estructural y funcional del sistema nervioso, su conectividad y su participación en la regulación e integración de funciones sistémicas como, por ejemplo, la circulación y la respiración.</li> </ol>
 <b>2</b> <b>Percibiendo el ambiente que nos rodea</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. Organizar e interpretar datos, y formular explicaciones, apoyándose en las teorías y conceptos científicos en estudio.</li> <li>4. Comprender que los organismos han desarrollado mecanismos de funcionamiento sistémico y de interacción integrada con el medio exterior, de manera de mantener un ambiente interno estable, óptimo y dinámico que le confiere cierta independencia frente a las fluctuaciones del medio exterior.</li> <li>5. Conocer la organización del sistema nervioso y su función en la regulación, coordinación e integración de las funciones sistémicas y la adaptación del organismo a las variaciones del entorno.</li> </ol> <p><b>Objetivo fundamental transversal (OFT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interés por conocer la realidad y utilizar el conocimiento.</li> <li>• Comprender y valorar la perseverancia, el rigor y el cumplimiento, la flexibilidad y la originalidad.</li> <li>• Habilidades de análisis, interpretación y síntesis.</li> <li>• Habilidades de investigación.</li> </ul>	<p><b>Eje Habilidades de pensamiento científico</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Análisis de la coherencia entre resultados, conclusiones, hipótesis y procedimientos en investigaciones clásicas y contemporáneas.</li> </ol> <p><b>Eje Estructura y función de los seres vivos</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Descripción de la capacidad de los órganos de los sentidos de informar al organismo sobre las variaciones del entorno, permitiéndole a éste adaptarse a los cambios, reconociendo, por ejemplo, esta capacidad en la estructura y función de un receptor sensorial como el ojo.</li> <li>8. Explicación de la transformación de información del entorno (por ejemplo, luz, vibración) en un mensaje nervioso de naturaleza electroquímica comprensible por nuestro cerebro y cómo esta transformación puede ser perturbada por sustancias químicas (por ejemplo tetrahidrocannabinol, alcohol, nicotina).</li> </ol>

# Biollogía



Unidades	Objetivos Fundamentales (OF)	Contenidos Mínimos Obligatorios (CMO)
 <b>3</b> Vida en la Tierra	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Describir la conexión lógica entre hipótesis, conceptos, procedimientos, datos recogidos, resultados y conclusiones extraídas en investigaciones científicas clásicas o contemporáneas, comprendiendo la complejidad y coherencia del pensamiento científico.</li> <li>6. Comprender que la evolución se basa en cambios genéticos y que las variaciones de las condiciones ambientales pueden originar nuevas especies; reconociendo el aporte de Darwin con la teoría de la selección natural.</li> </ol> <p><b>Objetivo fundamental transversal (OFT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprender y valorar la perseverancia, el rigor y el cumplimiento, la flexibilidad y la originalidad.</li> <li>• Habilidades de análisis, interpretación y síntesis.</li> <li>• Habilidades de investigación.</li> </ul>	<p><b>Eje Habilidades de pensamiento científico</b></p> <p><b>1.</b> Justificación de la pertinencia de las hipótesis y de los procedimientos utilizados en investigaciones clásicas y contemporáneas, considerando el problema planteado y el conocimiento desarrollado en el momento de la realización de esas investigaciones.</p> <p><b>Eje Organismos, ambiente y sus interacciones</b></p> <p><b>9.</b> Descripción de los mecanismos de evolución: mutación y recombinación génica, deriva génica, flujo genético, apareamiento no aleatorio y selección natural.</p> <p><b>11.</b> Identificación de las principales evidencias de la evolución orgánica obtenidas mediante métodos o aproximaciones como el registro fósil, la biogeografía, la anatomía y embriología comparada y el análisis molecular.</p> <p><b>12.</b> Análisis del impacto científico y cultural de la teoría de Darwin-Wallace en relación con teorías evolutivas como el fijismo, el creacionismo, el catastrofismo, el evolucionismo.</p>
 <b>4</b> Adaptación y cambio evolutivo	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Evaluar y debatir las implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales en controversias públicas que involucran ciencia y tecnología, utilizando un lenguaje científico pertinente.</li> <li>6. Comprender que la evolución se basa en cambios genéticos y que las variaciones de las condiciones ambientales pueden originar nuevas especies; reconociendo el aporte de Darwin con la teoría de la selección natural.</li> </ol> <p><b>Objetivo fundamental transversal (OFT)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Valorar la vida en sociedad.</li> <li>• Proteger el entorno natural y sus recursos como contexto de desarrollo humano.</li> <li>• Conocer, comprender y actuar en concordancia con el principio de igualdad de derechos.</li> <li>• Respetar y valorar las ideas distintas de las propias.</li> <li>• Habilidades de análisis, interpretación y síntesis.</li> <li>• Habilidades comunicativas.</li> </ul>	<p><b>Eje Habilidades de pensamiento científico</b></p> <p><b>4.</b> Discusión y elaboración de informes de investigación bibliográfica en que se sintetice la información y las opiniones sobre controversias de interés público relacionadas con ciencia y tecnología, considerando los aspectos biológicos, éticos, sociales y culturales.</p> <p><b>Eje Organismos, ambiente y sus interacciones</b></p> <p><b>9.</b> Descripción de los mecanismos de evolución: mutación y recombinación génica, deriva génica, flujo genético, apareamiento no aleatorio y selección natural.</p> <p><b>10.</b> Descripción del efecto que tienen en la formación de especies los procesos de divergencia genética de las poblaciones y del aislamiento de estas.</p> <p><b>11.</b> Identificación de las principales evidencias de la evolución orgánica obtenidas mediante métodos o aproximaciones como el registro fósil, la biogeografía, la anatomía y embriología comparada y el análisis molecular.</p> <p><b>12.</b> Análisis del impacto científico y cultural de la teoría de Darwin-Wallace en relación con teorías evolutivas como el fijismo, el creacionismo, el catastrofismo, el evolucionismo.</p>

# Biología

## Unidad

**1 Coordinación e integración de respuestas****10 Inicio de unidad.**

- 12 Inicializando:** evaluación inicial – pensamiento científico.  
Los aparatos y sistemas funcionan de manera integrada.  
¿Cómo se organiza el sistema nervioso?  
17 La integración de las funciones sistémicas en la vida diaria.  
18 Regulación: todo cambia para que todo se mantenga.  
19 Mantención de los mecanismos estabilizadores: la respuesta al estrés.  
20 La coordinación de los sistemas nervioso y endocrino: termorregulación y osmorregulación.  
21 Función renal: el rol de la orina en la regulación hidrosalina.  
23 Mecanismo de osmorregulación.  
24 El control nervioso y el endocrino: similitudes y diferencias.  
25 Células nerviosas: no todas son neuronas.  
26 La neurona y las condiciones que le permiten transmitir impulsos.  
28 Diversidad de neuronas.  
**30 Analizando disco:** evaluación de proceso.  
32 La mayoría de las células poseen membranas polarizadas.  
34 Reposo no significa falta de movimiento.  
35 Cuando un axón lleva un impulso, la polaridad de su membrana se invierte brevemente.  
36 Confirmando una hipótesis sobre el impulso nervioso/  
Antecedentes históricos para dar explicación a una idea “eléctrica” – pensamiento científico.  
38 El impulso nervioso es un potencial de acción que se traslada a lo largo del axón.  
**40 Ciencia paso a paso:** pensamiento científico.  
42 Condiciones para que la sinapsis logre traspasar el impulso nervioso.  
43 Efectos y consecuencias de la sinapsis química.  
44 Las neuronas se organizan para responder a los estímulos externos.  
45 El impulso viaja a lo largo de las vías neuronales.  
46 La contracción muscular es consecuencia de la sinapsis.  
47 El sistema nervioso se coordina con el endocrino para regular funciones vitales.  
**48 Organizando favoritos:** síntesis.  
**49 Cargando disco:** modelamiento de pregunta PSU.  
**50 Verificando disco:** evaluación final.  
**53 Cerrar sesión:** cierre de unidad.

## Unidad

**2****Percibiendo el ambiente que nos rodea****54 Inicio de unidad.**

- 56 Inicializando:** evaluación inicial – pensamiento científico.  
Los órganos de los sentidos trabajan de manera integrada.  
60 ¿Qué hace nuestro cuerpo cuando hace frío?  
61 ¿Cómo reacciona nuestro cuerpo al comer algo salado?  
62 Mecanismos de adaptación de los organismos a las variaciones del entorno.  
65 ¿Cómo llega la información del entorno al sistema nervioso?  
66 ¿Qué son las sensaciones y sensibilidades?  
67 ¿Cómo es interpretado un estímulo por el sistema nervioso?  
68 Al comer un alimento, ¿sentimos todos lo mismo?/  
Quimiorreceptores del gusto, coherencia entre resultados y conclusiones – pensamiento científico.  
**70 Ciencia paso a paso:** pensamiento científico.  
72 El ojo humano.  
74 Los fotorreceptores.  
75 Visión a colores.  
76 Procesamiento visual.  
78 ¿Cuánto podemos ver?  
79 Alteraciones de la visión.  
**80 Analizando disco:** evaluación de proceso.  
82 Sustancias químicas que pueden alterar el sistema nervioso.  
84 Efectos de la dependencia y adicción a los fármacos.  
86 ¿Cómo elimina los fármacos nuestro organismo?  
87 ¿Qué pasos de la transmisión nerviosa se ven afectados por acción de las drogas?  
**90 Organizando favoritos:** síntesis.  
**91 Cargando disco:** modelamiento de pregunta PSU.  
**92 Verificando disco:** evaluación final.  
**95 Cerrar sesión:** cierre de unidad.

**96 Recopilando disco:** evaluación semestral 1.



## Unidad

## 3

## Vida en la Tierra

<b>98</b>	<b>Inicio de unidad.</b>
<b>102</b>	Origen del Universo y de nuestro planeta.
<b>103</b>	El origen de la vida.
<b>104</b>	Creacionismo.
<b>105</b>	Los grandes viajes de descubrimiento y la evidencia fósil.
<b>106</b>	Teoría de la generación espontánea.
<b>110</b>	Teoría quimiosintética o del origen físico-químico de la vida.
<b>111</b>	Teoría panspérmica, cosmozoica o de origen extraterrestre de la vida.
<b>114</b>	<b>Ciencia paso a paso:</b> pensamiento científico.
<b>116</b>	<b>Analizando disco:</b> evaluación de proceso.
<b>118</b>	Historia de la vida en la Tierra.
<b>125</b>	La diversidad de vida.
<b>126</b>	El origen de la diversidad.
<b>130</b>	El estancamiento científico: cuando el conocimiento no avanza/Desarrollo del conocimiento en su contexto histórico – pensamiento científico.
<b>132</b>	<b>Organizando favoritos:</b> síntesis.
<b>133</b>	<b>Cargando disco:</b> modelamiento de pregunta PSU.
<b>134</b>	<b>Verificando disco:</b> evaluación final.
<b>137</b>	<b>Cerrar sesión:</b> cierre de unidad.

## Unidad

## 4

## Adaptación y cambio evolutivo

<b>138</b>	<b>Inicio de unidad.</b>
<b>140</b>	<b>Inicializando:</b> evaluación inicial – pensamiento científico.
<b>142</b>	Charles Darwin y su teoría de la evolución.
<b>149</b>	La teoría sintética o síntesis moderna.
<b>150</b>	Algunas implicancias de la obra de Charles Darwin/ Aspectos éticos, sociales y culturales relacionados con ciencia y tecnología – pensamiento científico.
<b>152</b>	Otros mecanismos de evolución.
<b>154</b>	Evidencias de la evolución.
<b>158</b>	<b>Analizando disco:</b> evaluación de proceso.
<b>160</b>	Selección natural y especiación.
<b>166</b>	Evolución y diversificación de la vida.
<b>168</b>	Evolución y adaptación.
<b>172</b>	<b>Ciencia paso a paso:</b> pensamiento científico.
<b>174</b>	Evolución de los seres humanos.
<b>176</b>	Los primeros restos fósiles de homínidos.
<b>180</b>	Evolución del género <i>Homo</i> .
<b>184</b>	<b>Organizando favoritos:</b> síntesis.
<b>185</b>	<b>Cargando disco:</b> modelamiento de pregunta PSU.
<b>186</b>	<b>Verificando disco:</b> evaluación final.
<b>189</b>	<b>Cerrar sesión:</b> cierre de unidad.
<b>190</b>	<b>Recopilando disco:</b> evaluación semestral 2.

## **Explorando mi Texto**

¿Para qué fueron pensadas las secciones de tu Texto?



**Unidad**

# 2 Percibiendo el ambiente que nos rodea

**A B C D MENÚ de inicio**

**¿Qué aprendrá?**

Relación entre percepción y respuesta emocional.

Aspectos del organismo y las células implicados en la percepción.

Construcción del comportamiento mediante la percepción.

Conducta y función de los órganos de sentido.

Función del sistema nervioso por parte del cerebro y sus órganos periféricos.

**Para qué?**

Identificar como se relacionan las señales eléctricas en una investigación científica.

Diseñar los mecanismos que difieren el organismo para percibir las estímulos.

Identificar los procesamientos ópticos en imágenes digitales.

Identificar la actividad y el funcionamiento de los órganos de sentido en percepción específica y la transferencia de información sensorial.

Identificar el efecto de la percepción en el desarrollo de las conductas.

**¿Dónde?**

Páginas 56, 57 y 58.

Página 58.

Página 59.

Páginas 60, 61 y 62.

Página 72.

Páginas 72 y 73.

Páginas 72 y 73.

Páginas 72 y 73.

Sólo que, posible disponer de un dispositivo de videoconferencia en la sala de clase para realizar el desarrollo del contenido y las actividades de interacción.

**ABRIR SESIÓN**

Los sentidos están siempre siendo usados en el desarrollo cotidiano. A continuación se presentan tres ejemplos con los que se va a tratar. En cada uno se analiza cuáles son los sistemas nerviosos que permiten percibir el estímulo y se establecen las estrategias que el organismo tiene para mantener un ambiente interno estable. A continuación se presentan algunos ejemplos de percepciones que tienen que ver con este tema:

1. ¿Cuáles son los sistemas de los seres vivos y qué estimulaciones?
2. ¿Qué son los mecanismos sensoriales y dónde se activan?
3. ¿Comprendes qué pasa cuando se activa el sistema nervioso?
4. ¿Cómo crees que puede verse afectado el sistema nervioso por el consumo del tabaco?

**A. ¿Qué operador de actividad puede invocar?**

**B. ¿Cómo se activa el sistema nervioso?**

**C. ¿Cómo activar el sistema nervioso?**

**D. ¿Cómo activar el sistema nervioso?**

## Menu de inicio

Para conocer los principales contenidos que vas a estudiar en la unidad, las metas de aprendizajes asociadas a ellos y las páginas donde se encuentran.

## La neurona y las condiciones que le permiten transmitir impulsos

### Organización celular

En virtud de que la organización de una neurona es distinta de la estructura de cualquier otra célula de un organismo vertebrado, sus orgánulos, composición citoplásmica y actividad metabólica son muy diferentes. La neurona tiene una mayor densidad de plasmátidas digestivas o la de una célula hepática. La difusión radial en su forma y los únicos partículas que tienen más probabilidad es el destino de las indicadas de ATP.

### Organización neuronal

**1** La expresión de determinantes genéticos, regulados por el ADN, permite la diferenciación de las neuronas y las dendritas para la síntesis de proteínas.

**2** El cultivo extracelular sigue (3) y sus reservas de energía (4) de una red de proteínas que permiten la conducción de las impulsos nerviosos.

**3** El apagado de Gα<sub>i</sub> promueve la liberación de vesículas sinápticas y la comunicación entre neuronas.

**4** Las manifestaciones de estos procesos estructurales y funcionales permiten que las neuronas continúen su crecimiento y se establezcan.

### Partes de la neurona y sus interacciones

La gran mayoría de las neuronas poseen cuatro partes principales, las que se indican mencionando la función que desempeñan en la vida de la neurona:

- 1** El cuerpo celar o soma (1), donde se integran las señales que llegan a la neurona y se produce la respuesta más intensa mediante el cono axónico (2), el que contiene el axón (3), capaz de transportar al impulso nervioso a través de la membrana axonal (4) y las vesículas sinápticas (5), que finalizan en forma de botones sinápticos (6), capaces de emitir espasos químicos que provocan cambios en la actividad de las neuronas vecinas.
- El sistema nervioso está compuesto tanto por la red de neuronas así conocidas como por las células gliales, las que destinan los astrocitos (7), células que rodean los vasos sanguíneos (8) y que median la respuesta a los neurotransmisores.

### Componentes del sistema nervioso

**1** Cerebro

**2** Cervelos

**3** Mielina

**4** Dendritas

**5** Soma

**6** Axón

**7** Vesículas sinápticas

**8** Astrocyto

**9** Endotelio

**10** Vaso sanguíneo

**11** Detalle de dendritas con gránulos de espina dentada. Se observa la red de microtúbulos y las fibras adhesivas.

**12** Detalle de dendritas con gránulos de espina dentada. Se observa la red de microtúbulos y las fibras adhesivas.

## Contenido

Para desarrollar los contenidos en profundidad. Estos se intercalan con secciones de trabajo, como *Actividad*; de orientación, como *Ayuda*; de profundización, como *Ampliando memoria* y de síntesis, como *Para grabar*.

## I CONOGRÁFÍA

Mi ESTADO

En *Mi estado* se pueden revisar los avances obtenidos en el trabajo de la unidad a través de las preguntas y los indicadores de logro del aprendizaje.

## Actividad

Para apoyar el desarrollo de los contenidos se trabajan actividades que complementan la información teórica y se ejercitan habilidades específicas.

Para GRABAR

## Cápsula de síntesis y formalización de contenidos conceptuales

## **Inicializando y Ciencia paso a paso**

(Evaluación procedimental de inicio y avanzada)

Para trabajar, en una actividad exploratoria, las etapas experimentales de una investigación, enfatizando los pasos relacionados con cada una de ellas.

## Pensamiento científico

Para abordar un contenido del tema en estudio a través de la descripción y la ejercitación de distintas habilidades de pensamiento científico para enfatizar ciertos razonamientos.



**Evaluación de proceso**

**A analizando disco**

**I. Responde las preguntas de alternativas.**

**4. Los termostogramas nos capacitan a capturar la temperatura extrema. El cambio de temperatura:**

- Abre a una persona G interna.

**I. ¿Cuál de las siguientes no es una actividad en el sistema nervioso?**

**V verificando disco**

**Evaluación final**

**I. Muestra la alternativa que consideres correcta.**

**1. ¿Qué? características tiene las receptoras sensoriales?**

- Toman información de los sistemas nerviosos.
- Transforman la señal recibida en información inadecuada.
- Se activan por estímulos.
- Transforman la señal recibida en información inadecuada.
- Envían la información al cerebro.

**2. L. II y III.**

**3. ¿Qué? característica es la única destinada a la regulación de la temperatura corporal?**

- Catéfalos.
- Hipotermia.
- Melatona epifisaria.
- Cortisol cortisol.
- Cortisol cortisol.

**4. ¿Qué función desempeña la vía olfativa en el cerebro?**

- Alivia la información del sistema nervioso central.
- Recoge la información recibida desde un estímulo olfativo.
- Integra la información recibida desde el oído y el olfato.
- Se dirige a su receptor sensitivo llevando la información al sistema nervioso central.
- Lleva la respuesta elaborada por el sistema nervioso a miembros y órganos.

**5. ¿Qué? respuesta de organismos frente al consumo excesivo de alcohol.**

- Producir gran cantidad de calor y así compensar la ingesta excesiva de alcohol.
- Producir mayor cantidad de oxígeno y de esa manera aumentar la actividad cerebral.
- Genera sensación de ligereza, lo que aumenta la presión sanguínea.
- Producir una respuesta similar al de hacer la glandula salivar.
- Producir una respuesta más ligera y abundante para disminuir rápidamente el exceso de sodio.

**6. Los termostogramas nos capacitan a capturar la temperatura extrema. El cambio de temperatura:**

- Abre a una persona G interna.

**7. ¿Qué? características tiene la retina de las personas que tienen la vista oscura?**

- Cáncer de hámpona.
- Presenta un solo tipo de células.
- Presenta una gran cantidad de células.
- Presenta una deformación en la retina.
- Presenta un número superior de bastones.

**8. ¿Qué? estructura del ojo provoca la invención de la magia?**

**9. ¿Qué? estructura del ojo provoca la invención de la magia?**

- La curvatura de la cornea.
- El líquido del humor acuoso.
- La transmisión de la retina.
- El nervio óptico en la transmisión sináptica.
- La estimulación de las células fotorreceptoras.

**10. ¿Qué? cambios se producen en el sistema nervioso central?**

- No posee fibras nerviosas.
- Posee un solo tipo de células.
- Presenta una gran cantidad de células.
- No forma parte del circuito visual.
- Tiene una gran concentración de hamones y la ausencia de mielina.

**11. ¿Qué? características tiene el cerebro estriado que no tiene en el cerebro?**

- Caracterizadas por la irregularidad de sus células.
- Da nombre al tronco del encéfalo.
- Es la parte del cerebro que se encarga de la memoria.
- Es la parte del cerebro que se encarga de la memoria.
- Presenta una gran cantidad de hamones y la ausencia de mielina.

**12. ¿Qué? cambios se producen en el sistema nervioso central?**

- Alucinaciones.
- Catalepsia.
- Nictotaxis.
- Calestoxia.
- Anorexias.

**B. Responde las preguntas de desarrollo.**

**1. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**2. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**3. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**4. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**5. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**6. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**7. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**8. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**9. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**10. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**11. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**12. ¿Qué? son las unidades fundamentales de la materia?**

**13. Se habla de tolerancia a los fármacos cuando:**

- Las personas tolertan más que otros de consumo de alcohol.
- Los consumidores de fármacos no pueden dejar de consumirlos.
- El fármaco se produce con menor proporción de sustancias activas.
- El consumo de ciertos fármacos genera conductas compulsivas y trastornos mentales.
- Los consumidores de fármacos requieren dosis cada vez mayores para conseguir el mismo efecto.

**14. ¿Qué? es la siguiente droga en un antagonista de la acetilcolina?**

- Cataton.
- Atropina.
- Tetra hidrocanabinol.
- Veneno de la avispa violeta negra.

**15. ¿Qué? es la siguiente droga en un antagonista de la acetilcolina?**

- Solvente I.
- Solvente II.
- Solvente III.
- Solvente IV.
- Solvente V.

**16. ¿Qué? es la siguiente droga en un antagonista de la acetilcolina?**

- Solvente I.
- Solvente II.
- Solvente III.
- Solvente IV.
- Solvente V.

**17. Longo el consumo de algún fármaco, ¿pueden presentarse reacciones adversas?**

- Por acción anabólica de la sangre.
- Por丝tress de sistemas inmunológicos.
- Por la actividad de la sangre.
- Por sobreexposición del sistema inmunitario.
- Por acción metabólica del líquido y de los tejidos.

**18. ¿Qué? son las siguientes sustancias químicas se deposita en el organismo?**

- Álcalos.
- Catatos.
- Nicotinas.
- Calestoxia.
- Anorexias.

**19. ¿Qué? es la siguiente droga en un antagonista de la acetilcolina?**

- Inhibe la formación del neurotransmisor.
- Inhibe la liberación del neurotransmisor.
- Bloquea el receptor del neurotransmisor.
- Estimula la liberación de este neurotransmisor.
- Estimula la liberación de este neurotransmisor.

**20. ¿Qué? es la siguiente droga en un antagonista de la acetilcolina?**

- Inhibe la formación del neurotransmisor.
- Inhibe la liberación del neurotransmisor.
- Bloquea el receptor del neurotransmisor.
- Estimula la liberación de este neurotransmisor.
- Estimula la liberación de este neurotransmisor.

## **Analizando disco y Verificando disco**

### (Evaluación de proceso y final)

Para evaluar los contenidos y habilidades trabajados hasta ese momento en la unidad. En la evaluación de proceso se presentan dos páginas con preguntas de selección múltiple y de desarrollo. Por otro lado, en la evaluación final se presentan dos páginas con preguntas de selección múltiple y una página con una actividad procedimental.

Cerrar sesión		1	2	3			
I. Revisa tus respuestas de alternativas.							
Proyecto	Descripción de actividad	Motivado	Otro	Me motivó			
1	Digresión de la vida.	Conseguir					
2	Comprender						
3	Palabras clave (1-10)	Comprender					
4	Responder						
5	Vida en la Tierra	Responder					
6	Palabras clave (1-10)	Comprender					
7	Palabras clave (1-10)	Comprender					
8	Aplicar						
9	Responder						
10	Preparación del aula	Comprender					
11	Comprender						
12	Preparación del aula	Responder					
13	Comprender						
14	Palabras clave (1-10)	Comprender					
15	Comprender						
II. Revisa los criterios que se consideran para la respuesta correcta de la situación procedimental.							
Dosis del reto		Objetivo					
Interpretación de resultados		A. La respuesta debe mostrar que las medidas confirmaron el efecto y permitieron señalar que Jardines tiene una mejoría en el desarrollo cognitivo que el resto de los niños, lo que implica resultados exitosos.					
B. La respuesta debe considerar las variables relevantes al problema que Jardines tiene respecto a la salud y el desarrollo cognitivo.							
C. La respuesta debe considerar conclusiones del tipo:		- Se requiere de más información para poder apoyar la respuesta necesaria de acuerdo con el problema planteado. - Se requiere de más información para poder apoyar la respuesta necesaria de acuerdo con el problema planteado. - Se requiere de más información para poder apoyar la respuesta necesaria de acuerdo con el problema planteado. - Se requiere de más información para poder apoyar la respuesta necesaria de acuerdo con el problema planteado.					
Efectos de procedimientos							
<b>IV. ESTADO</b>							
Ante el nivel de logro de las habilidades de la unidad según la categoría de desempeño dada: 1. Pobre; 2. Moderadamente bueno; 3. Bueno.							
<input type="checkbox"/> Incompleta respuestas obtenidas en actividades didácticas establecidas.							
<input checked="" type="checkbox"/> Comprende principios básicos y tiene relación con el tema de la vida.							
<input checked="" type="checkbox"/> Conoce las principales ideas relacionadas con la salud individual de las personas vivas en la Tierra.							
<input checked="" type="checkbox"/> Conoce datos básicos relevantes para explicar el origen de la diversidad de vida en el planeta.							

**Cerrar sesión**

Para conocer el nivel de logro alcanzado en la evaluación final y un modelo para autoevaluar el rendimiento logrado a lo largo de la unidad.

## AYUDA

Cápsula que aporta información teórica o práctica y que apoya una actividad o tratamiento de un contenido.

Ampliando  
**MEMORIA**

Cápsula que amplía contenidos, menciona curiosidades, establece relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad, entre otras.

## PISTAS

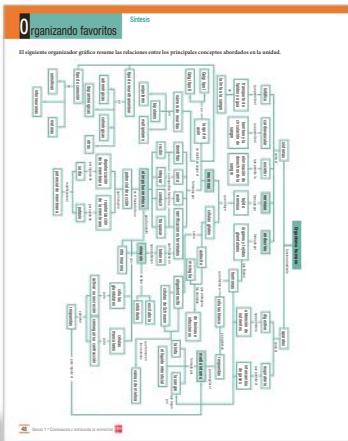
Cápsula orientada a apoyar las respuestas a algunas preguntas de la evaluación de proceso.



Para que ingreses a esta página web, en la que encontrarás más recursos que reforzarán y ampliarán tus conocimientos.

# Organizando favoritos

Para sintetizar, integrar y relacionar de manera gráfica los conceptos centrales de la unidad.



**Cargando disco**

Modulo de preprueba PJSI

1 2 3 4

Tu respuesta es la siguiente al principio de pregunta, que la deberías responder a partir de la correcta interpretación de un gráfico que tiene relación con el contenido subjetivo.

1. **L** El siguiente gráfico muestra la relación entre la mortalidad de una especie y la masa de los críos al nacer.

De acuerdo al gráfico, se puede afirmar correctamente que:

- A. La mortalidad natural es menor en los críos de menor peso que en los de mayor peso.
- B. La selección natural actúa en contra de los críos más maduros.
- C. Los críos más maduros suelen tener que de mayor peso.
- D. Los críos que nacen con masas cercanas al promedio tienen menor mortalidad.
- E. En la especie, se observa que una cría que nace de 50 g tiene una mortalidad de 1 kg.

A continuación aparecen las respuestas.

**A. Incorrecto.** Es decir, que la mortalidad es más alta en los críos de menor peso que en los de mayor peso, lo que es contrario a lo que se observa en el gráfico.

**B. Correcto.** Se observa que las críos más maduras tienen menor mortalidad que las más jóvenes.

**C. Incorrecto.** Se observa que las críos más maduras tienen menor mortalidad que las más jóvenes.

**D. Correcto.** Se observa que las críos más maduras tienen menor mortalidad que las más jóvenes.

**E. Incorrecto.** Se observa que las críos más maduras tienen menor mortalidad que las más jóvenes.

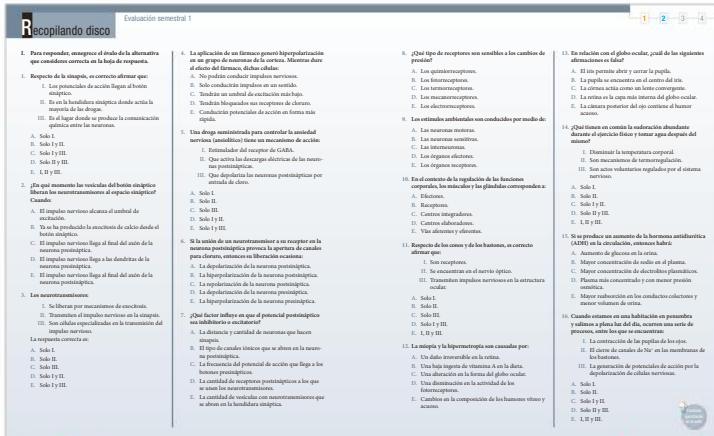
Enunciado de la alternativa correcta B

A  B  C  D  E

Resumen de Página | Mis favoritos | 125

## Cargando disco

Para aprender a responder una pregunta PSU. En esta página se analiza cada una de las alternativas y se entregan orientaciones para facilitar su corrección.



## Recopilando disco

Para evaluar integralmente con preguntas tipo PSU contenidos que se han visto hasta ese momento, incluyendo temas que han sido trabajados en dos unidades del Texto.

# Coordinación e integración de respuestas

A B  
C D

## MENÚ de inicio

### ¿Qué aprenderás?

### ¿Para qué?

### ¿Dónde?

La formulación de hipótesis basadas en problemas de origen biológico.	Comprender que el conocimiento científico surge de la identificación de fenómenos inexplicados de la naturaleza y del intento sistemático por poner a prueba una explicación que le dé respuesta.	Páginas 12, 13, 40, 41 y 52
El control ejercido por los sistemas endocrino y nervioso.	Describir procesos de coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a las demandas del medio.	Páginas 14 a 24
La organización de las células nerviosas.	Comprender la relación entre su unidad y diversidad, respecto de tareas específicas de recepción, conducción y salida del impulso nervioso, así como de protección y aislamiento.	Páginas 24 a 29
Las bases iónicas y la conducción del impulso nervioso.	Explicar el origen del potencial de acción, su transmisión a lo largo de una neurona y su traspaso a otras células excitables.	Páginas 32 a 43
Cómo se construye el conocimiento científico.	Interpretar investigaciones científicas clásicas y formular explicaciones relacionadas con el conocimiento actual de nuestro sistema nervioso.	Páginas 36 y 37
La organización de vías neuronales en la generación de respuestas.	Explicar de qué manera el funcionamiento coordinado de neuronas y tejidos glandulares logra dar respuesta a tareas aparentemente simples del diario vivir.	Páginas 44 a 47

## ABRIR sesión

En los cursos anteriores has tenido la oportunidad de estudiar diversos aspectos del funcionamiento del cuerpo humano. La propuesta de esta unidad te sugiere establecer puentes entre estas distintas áreas de la biología que ya conoces, agregando nuevos componentes. Para comenzar, te invitamos a contestar algunas preguntas referidas a los temas que abordaremos juntos a lo largo de la unidad.

1. Las sensaciones y emociones surgen producto de la actividad nerviosa. ¿Qué mecanismos estarán involucrados en actos tan cotidianos como escuchar música, reír o bailar?
2. Aprendemos desde antes de nacer. ¿De qué dependerá que podamos hacerlo?
3. El organismo se adapta permanentemente. ¿Cómo crees que puede mantener su funcionamiento a pesar de las permanentes variaciones del medio externo?
4. Las neuronas son las células encargadas de transmitir los impulsos nerviosos, pero ¿qué quiere decir esto?, ¿qué son estos impulsos?, ¿cómo pueden generar sensaciones como la visión o reacciones como el parpadeo?



▲ El estrés es una respuesta que asociamos a un estado de preocupación o tensión excesiva. ¿Existe el estrés beneficioso?, ¿qué crees tú?



▲ ¿En qué parte de nuestro cuerpo se ubica el sistema nervioso?, ¿te habías preguntado esto antes?

El cuerpo humano se puede representar como un malabarista que coordina armónicamente sus órganos y sistemas en una relación dinámica y compleja que permite que la vida continúe.



# Incializando

## ETAPAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
3. Procedimiento experimental.
4. Obtención de resultados.
5. Interpretación de resultados.
6. Elaboración de conclusiones.

## ¿CÓMO SE RELACIONA EL PROBLEMA CON LA HIPÓTESIS?

El problema es la pregunta que da origen a una investigación y la hipótesis es la afirmación anticipada que da respuesta a esta pregunta y que se pone a prueba durante el desarrollo del experimento.

## ¿CÓMO RELACIONARLOS CORRECTAMENTE?

- Paso 1: observar el fenómeno que se desea estudiar e identificar las variables.
- Paso 2: relacionar las variables en una pregunta.
- Paso 3: formular una hipótesis a partir de una predicción.
- Paso 4: poner a prueba la hipótesis y desarrollar el experimento.
- Paso 5: enfrentar la hipótesis con la interpretación de los resultados obtenidos.
- Paso 6: elaborar una conclusión que dé respuesta al problema planteado.

Los mecanismos de coordinación de las funciones del cuerpo humano solo se pudieron comprender en la medida que se descubrió la lógica de la forma y función de células glandulares endocrinas y nerviosas.

Sin embargo, para poder estudiar a las células, los científicos han debido sortear varios obstáculos. Primero que todo está el tamaño, pues la mayoría de las células posee un diámetro entre 0,01 y 0,05 mm. Con el desarrollo del microscopio óptico compuesto, durante la primera mitad del siglo XVII, fue posible aumentar cientos de veces la capacidad del ojo humano y ver células aisladas por primera vez. Cuando se quiso comprender el funcionamiento de los órganos, fue necesario obtener cortes de unas cuantas células de grosor. En general, la obtención de estos cortes funcionaba bien con la mayoría de los tejidos, salvo con el nervioso. Su consistencia era gelatinosa y las imágenes que se obtenían eran confusas: todo se veía de un color homogéneamente cremoso. A mediados del siglo XIX, los científicos no habían podido identificar células aisladas en el **tejido nervioso**.

Una técnica de tinción ideada en 1884 por el científico alemán Franz Nissl permitió obtener imágenes bastante nítidas de la estructura de las **neuronas** (la palabra “neurona” fue acuñada por el patólogo alemán Heinrich Waldeyer en 1891 para describir a las células del sistema nervioso); sin embargo, no detallaba la forma en que establecían asociaciones entre sí.

### Planteamiento del problema

El histólogo italiano Camillo Golgi desarrolló una técnica de tinción basada en sales de plata, capaz de resaltar algunas neuronas de una muestra de tejido nervioso, lo que permitía revisar la interacción entre estas. Tras años de observación, Golgi llegó a la conclusión de que las neuronas formaban una red continua, lo que constituía una excepción a la teoría celular. De acuerdo a sus observaciones, el sistema nervioso no estaba formado por células independientes, por lo que defendió durante décadas la **teoría reticulista** (del latín *rete*, red).

La técnica de Golgi fue conocida por el histólogo español Santiago Ramón y Cajal en 1888, quien la utilizó por cinco décadas para comprender la organización del sistema nervioso. Pero, paradójicamente, llegó a una conclusión opuesta a la de Golgi. Según Ramón y Cajal, las neuronas eran células independientes y que se comunicaban mediante “alguna sustancia conductora especial”. Esta teoría se llamó **teoría neuronal**.

De esta manera, Golgi y Ramón y Cajal representan dos posiciones en relación a una de las preguntas más relevantes de la biología abordadas durante la primera mitad del siglo XX:

¿Cómo están organizadas las células del sistema nervioso?

Antes de seguir adelante, abordemos el “problema del problema”:

- a. ¿Por qué podría resultar relevante cuestionarse sobre la forma en que se organizan las células nerviosas?
- b. ¿Parece razonable pensar que comprendiendo la estructura de una célula sea posible comprender el funcionamiento de un órgano?

### Formulación de hipótesis

Las hipótesis desarrolladas por Golgi y Ramón y Cajal podemos resumirlas como sigue:

**Golgi:** “Si las neuronas constituyen una red, entonces, observaciones microscópicas detalladas deberían mostrar que las ramificaciones entre neuronas adyacentes son continuas y no presentan separaciones”.



▲ Camillo Golgi (1843-1926).

**Ramón y Cajal:** “Si las neuronas son células independientes, debería ser posible observar separaciones que permitan la interacción entre estas, pero manteniendo su autonomía”.

Antes de revisar la metodología y resultados obtenidos, analicemos sus hipótesis:

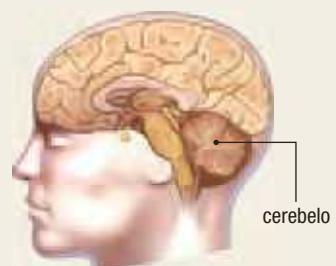
- ¿En qué se asemejan y en qué se diferencian ambas hipótesis?
- ¿Cómo es posible que utilizando la misma técnica, dos científicos respondan una misma pregunta de forma opuesta?
- ¿Cuál de las dos teorías facilita más el estudio sobre la regulación de la comunicación neuronal? ¿Por qué?



▲ Santiago Ramón y Cajal (1852 – 1934).

## Procedimiento experimental

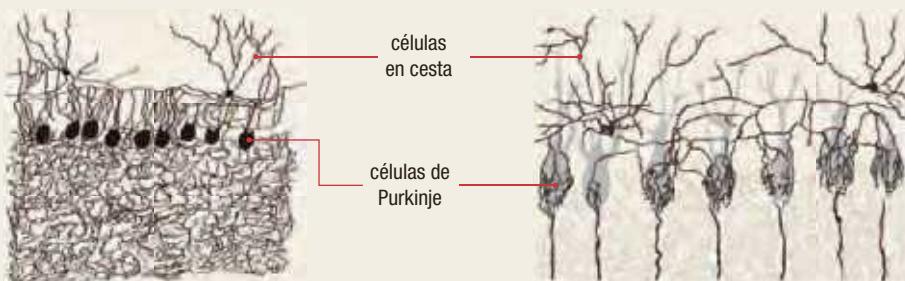
El método de tinción de Golgi consiste en bañar un pequeño trozo de tejido nervioso con una solución de dicromato de potasio y luego con cromato de plata, dos días con cada una. Luego del tratamiento, algunas células nerviosas absorben los reactivos, los que cristalizan y llenan todo lo que se encuentre en su interior. Posteriormente, se cortan láminas muy delgadas y se observan al microscopio. Las neuronas se ven de color negro sobre un fondo claro, con todo tipo de detalles de su relieve, prolongaciones y conexiones con otras células. Uno de los primeros tejidos en ser observados mediante esta técnica fue la corteza del **cerebelo**, órgano nervioso presente en todos los vertebrados.



▲ Ubicación del cerebelo en el ser humano.

## Obtención e interpretación de resultados

Las siguientes ilustraciones son reproducciones de los dibujos originales realizados a fines del siglo XIX por Golgi y por Ramón y Cajal, respectivamente. Estos dan cuenta de sus resultados al observar células de Purkinje y células en cesta, dos tipos de neuronas de la corteza del cerebelo tratadas con el método de tinción de Golgi.



▲ Resultados de Golgi. Él proponía que el sistema nervioso estaba conformado por una red intrincada de células fusionadas y ramificadas.

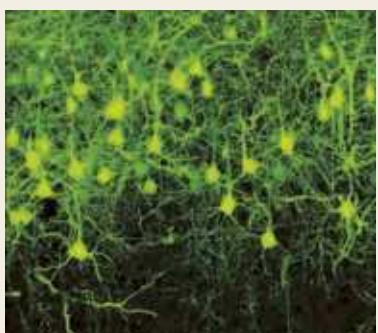
▲ Resultados de Ramón y Cajal. Él proponía que las prolongaciones de las células nerviosas terminaban libremente y se comunicaban entre sí por contacto, no por continuidad.

Las células de Purkinje y en cesta dibujadas por Golgi estarían unidas mediante prolongaciones comunes. En cambio, Ramón y Cajal muestra que las ramificaciones de las células en cesta se adhieren a las de Purkinje sin fundirse en una sola red.

- ¿Resultaron coherentes las hipótesis de ambos investigadores con sus respectivos resultados? Explica.

### Mi ESTADO

- En esta actividad, ¿qué te resultó más difícil y por qué?
- ¿Cómo podrías relacionar estas investigaciones con el dinamismo de la ciencia?
- ¿Qué importancia tenían antiguamente los dibujos de lo observado y cómo ha ido cambiando eso hoy en día con las nuevas tecnologías?



▲ Actualmente, una de las técnicas para identificar tejido nervioso utiliza marcadores fluorescentes que luego se pueden observar con el microscopio confocal.

## Elaboración de conclusiones

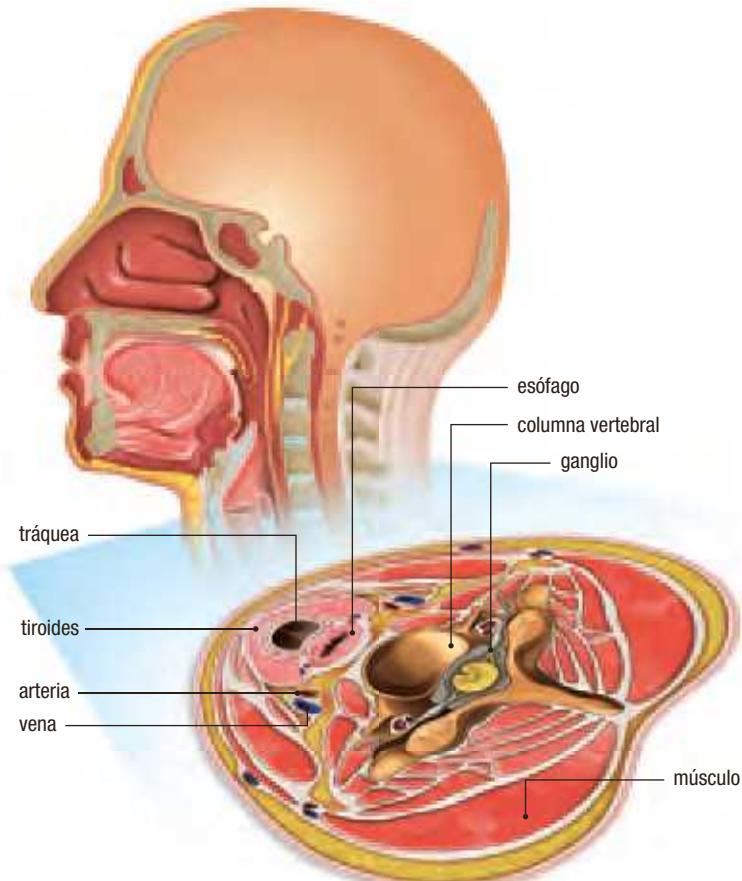
En la actualidad es fácil mirar estos resultados y concluir que la hipótesis de Ramón y Cajal es la correcta. Sin embargo, para llegar a esta convicción fue necesario recoger mucha evidencia, con infinidad de observaciones y dibujos, pero sobre todo gracias al desarrollo de nuevas técnicas de estudio basadas en la microscopía electrónica. Prueba de la valoración simultánea de las dos hipótesis, ambos histólogos recibieron el Premio Nobel de Fisiología y Medicina, en 1906, por sus aportes al conocimiento de la organización del sistema nervioso.

# Los sistemas y aparatos funcionan de manera integrada

Es bastante habitual que los sistemas de órganos y aparatos se presenten y describan en los textos como componentes independientes. Se clasifican como **sistemas** a aquellos conjuntos de órganos y estructuras que cumplen funciones relacionadas, formados por los mismos tipos de tejidos y que habitualmente se distribuyen de manera generalizada en el organismo. Por ejemplo, el sistema circulatorio o el sistema nervioso. Un **aparato**, en cambio, también es un conjunto de órganos relativos a la misma función, pero se reconocen porque sus componentes poseen una variedad de tejidos diferentes y habitualmente se restringen a una ubicación específica dentro del organismo. Por ejemplo, el aparato digestivo o el aparato reproductivo.

Es posible que a lo largo de tus años de estudio primero hayas conocido el aparato digestivo, el aparato respiratorio, el sistema circulatorio y el sistema excretor. Luego puedes haber revisado el sistema endocrino y los aparatos reproductores. Sin embargo, ninguno de los órganos y funciones actúan de manera independiente. Estas distinciones son arbitrarias, ya que el cuerpo humano funciona como un todo y no solo sus actividades están relacionadas, sino que además existen sistemas específicamente destinados a **coordinar e integrar** sus tareas. Como veremos a lo largo de la unidad, los sistemas **endocrino** y **nervioso** son los que están a cargo de estas funciones.

A continuación se mencionan las funciones principales de algunos aparatos y sistemas del cuerpo humano, con descripciones que permiten comprender las relaciones que establecen entre sí.



▲ En este corte transversal del cuello de un ser humano es posible apreciar la cercanía que poseen algunas estructuras con funciones muy diversas, como el esófago, la tiroides, la columna vertebral, la tráquea, las venas, las arterias, los ganglios y los músculos, entre otras.

## 1 Aparato digestivo

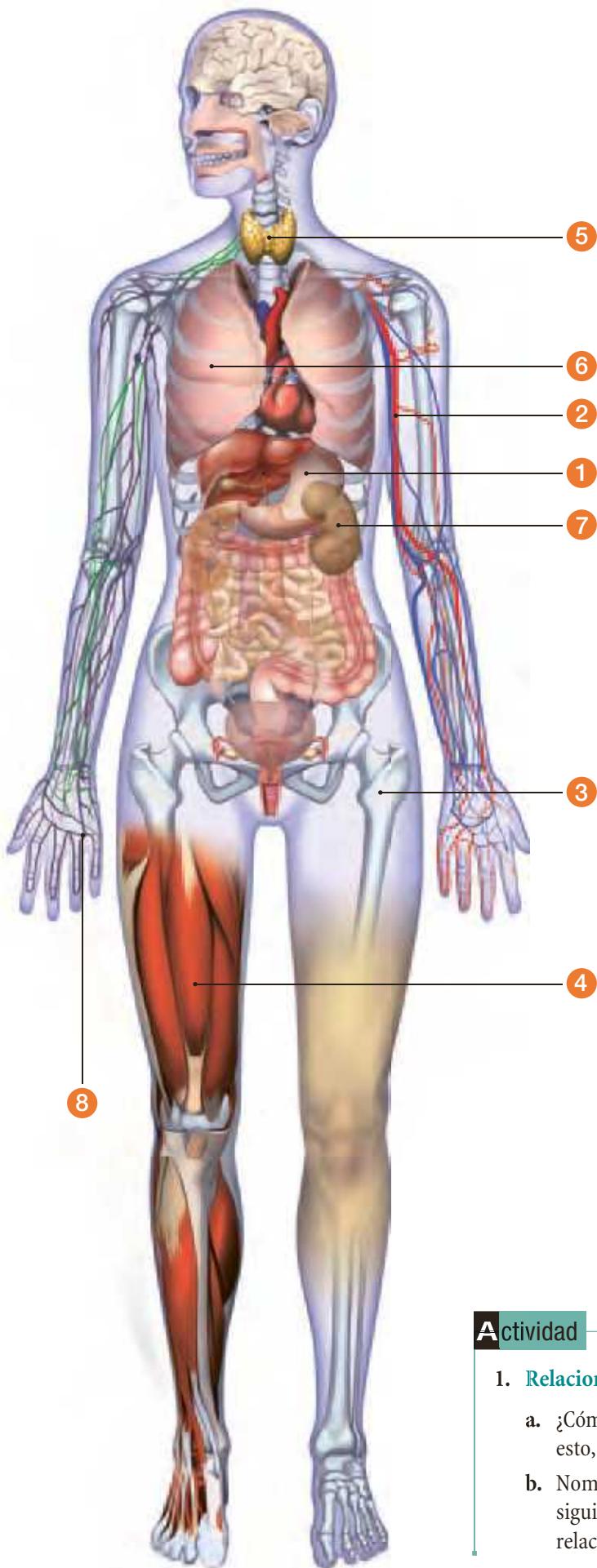
Sus órganos permiten degradar los alimentos y retener los nutrientes que estos poseen, dirigiéndolos a la sangre para su distribución en todos los tejidos, incluyendo algunos especializados en su almacenamiento.

## 2 Sistema circulatorio sanguíneo

Es una vasta red de vasos que transporta agua, nutrientes, gases, desechos y una gran variedad de células defensivas. Dada su función de intercambiar sustancias, se comunica con cada tejido, órgano y célula del cuerpo.

## 3 Sistema óseo

Sus principales funciones están relacionadas con la locomoción, el sostén y la protección de órganos y estructuras. Es un endoesqueleto que actúa como un andamio donde se insertan los músculos para ejercer tracción. Además, algunos huesos, como el esternón, participan en la formación de células sanguíneas (función hematopoyética).



### 4 Sistema muscular

Incluye los tejidos responsables de la contracción. Los músculos lisos son los encargados de realizar movimientos involuntarios en estructuras como el esófago, la vejiga o los vasos sanguíneos. Los músculos cardíacos generan el bombeo del corazón y los músculos esqueléticos permiten la ejecución de los movimientos voluntarios.

### 5 Sistema endocrino

Está formado por el conjunto de glándulas productoras de hormonas, sustancias que regulan el funcionamiento de órganos específicos, como la tiroides, o de tejidos de distintos sistemas, como ocurre con la hormona de crecimiento.

### 6 Aparato respiratorio

Formado por un sistema de conductos y cavidades que permiten ingresar aire, intercambiar oxígeno por dióxido de carbono en la sangre y volver a eliminar este último al exterior. Los movimientos ventilatorios de los pulmones son en gran medida generados por la musculatura torácica.

### 7 Sistema excretor

Formado por una serie de órganos capaces de eliminar sustancias en exceso o que resultan tóxicas. En la mayoría de los casos, se trata de estructuras que captan tales sustancias desde la sangre. Además, el mismo mecanismo que permite regular la excreción de agua por los riñones sirve para controlar la presión sanguínea.

### 8 Sistema circulatorio linfático

Serie de conductos encargados de llevar linfa desde el líquido intercelular hacia el sistema circulatorio sanguíneo, transportando nutrientes y células defensivas. Los lípidos absorbidos por el intestino delgado son llevados hasta la sangre a través del sistema linfático.

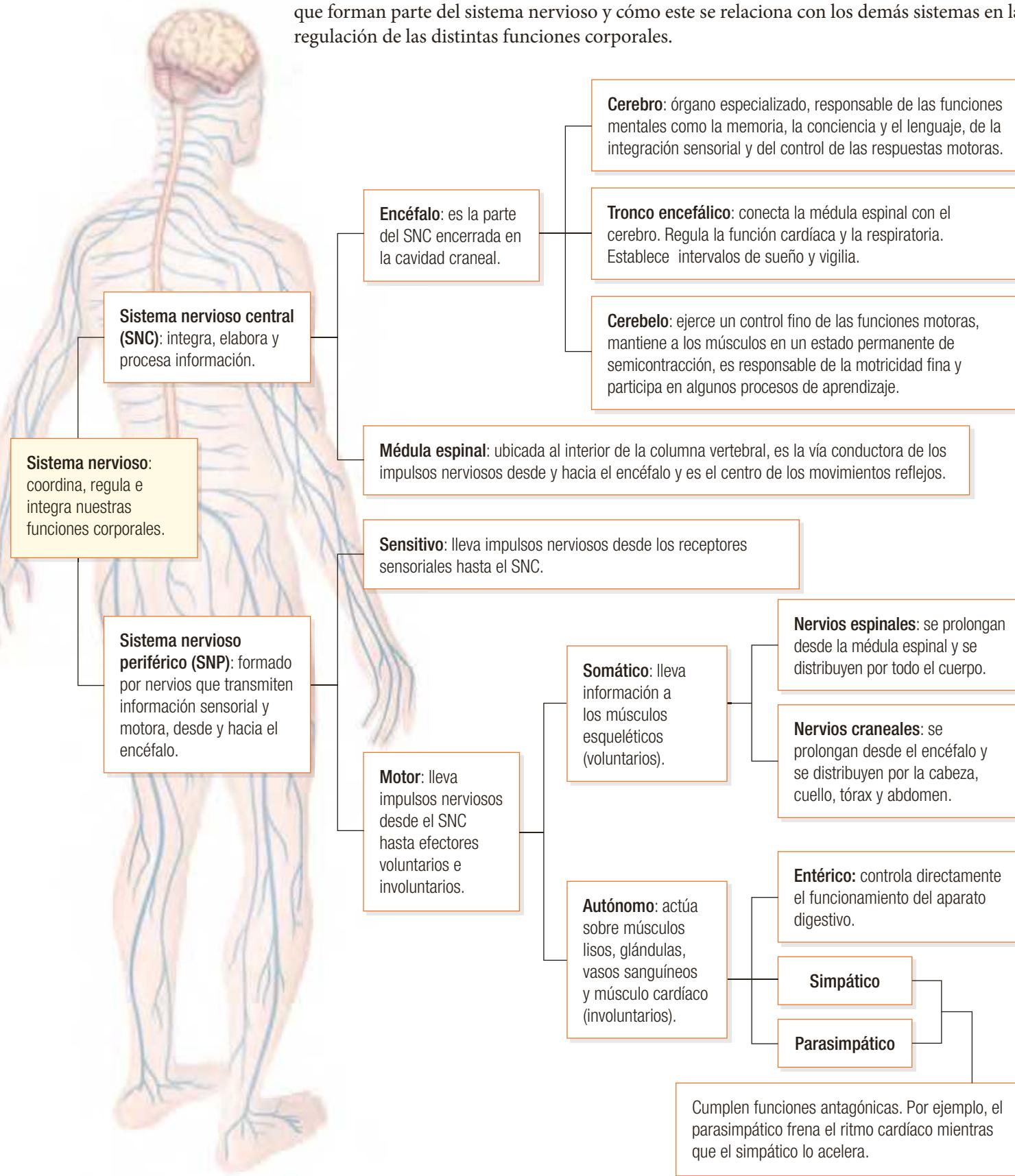
### AActividad

#### 1. Relaciona la información del esquema y a partir de ello responde.

- ¿Cómo pueden los sistemas lograr que el cuerpo funcione como un todo? A partir de esto, ¿cómo describirías con tus propias palabras la función del sistema nervioso?
- Nombra al menos tres sistemas o aparatos requeridos para realizar cada una de las siguientes acciones: silbar, escribir y comer. Construye una secuencia que permita relacionar uno a uno a estos aparatos y sistemas.

# ¿Cómo se organiza el sistema nervioso?

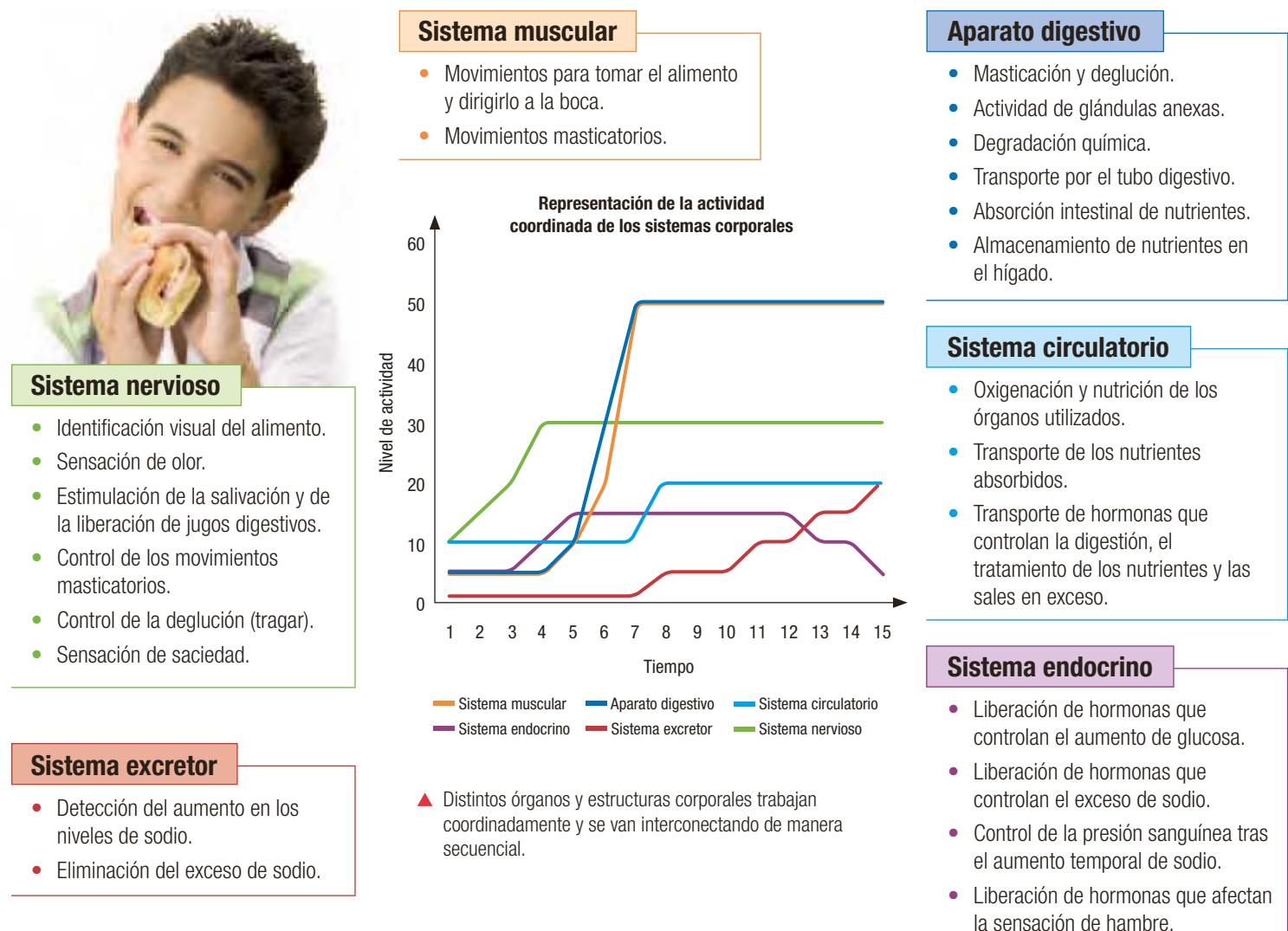
A continuación se presenta un organizador donde se describen, en términos generales, las principales estructuras que forman parte del sistema nervioso humano y sus funciones. A lo largo de esta unidad iremos profundizando en las características de las células nerviosas que forman parte del sistema nervioso y cómo este se relaciona con los demás sistemas en la regulación de las distintas funciones corporales.



# La integración de las funciones sistémicas en la vida diaria

Si te preguntáramos qué sistemas o aparatos estás utilizando en este momento, tu respuesta espontánea podría ser: el circulatorio, para trasladar la sangre; el respiratorio, para movilizar oxígeno y dióxido de carbono; el nervioso, para poder ver, leer y entender esta página. Quizás algún otro más, ¿cuál se te ocurre? Sin embargo, aunque resulte increíble, **todos** se están utilizando **siempre**, cada segundo, en cada momento, aunque varía el nivel de actividad de cada uno dependiendo de la tarea.

En la siguiente figura se quiere representar el dinamismo de esta trama, tomando como ejemplo una acción tan habitual como es comer. En este caso, al mismo tiempo que los alimentos se mastican, se van sucediendo simultáneamente y en cadena una serie de procesos que comprometen a una variedad de órganos y estructuras pertenecientes a varios aparatos y sistemas.



## Actividad

- Considerando el ejemplo de la figura, **identifica** qué sistema o aparato se está utilizando para conseguir que:
  - La sangre consiga oxigenarse.
  - Sea posible mantener la cabeza erguida.
  - Se puedan eliminar las bacterias presentes en el alimento.

## Ampliando MEMORIA

En 1860, tras años de experimentación y reflexión deductiva, el fisiólogo francés Claude Bernard estableció la importancia del entorno de las células y su mantención con el correcto funcionamiento de los seres vivos multicelulares. A este entorno le llamó "medio interno".



▲ Claude Bernard (1813-1878).

# Regulación: todo cambia para que todo se mantenga

Otro elemento que se debe tener presente para comprender de qué manera el organismo coordina las funciones de todos sus componentes es la idea de **regulación**. En cada actividad se utilizan muchos órganos simultáneamente. Pero, además, muchas de las tareas desarrolladas por tales órganos mantienen una condición de estabilidad a pesar de las variaciones del ambiente que los rodea: de la temperatura, de la presión arterial, del nivel de agua entre las células, del nivel de glucosa sanguínea, del oxígeno, etc. La mantención de estos niveles garantiza, asimismo, que los sistemas dispongan de un ambiente estable que permita su funcionamiento. Este ajuste continuo de las condiciones internas para que no experimenten cambios como resultado de las variaciones externas es lo que se denomina **homeostasis**.

En la siguiente figura se ejemplifica esta idea con algunos de los órganos involucrados en la mantención del equilibrio interno durante una situación de ejercicio.



## Activación del sistema nervioso autónomo simpático

Cuando estás en reposo, el funcionamiento cardíaco, respiratorio y las funciones vitales en general son mantenidos por el sistema nervioso parasimpático. En una situación de ejercicio, se activa el sistema nervioso simpático.

## Control de la función cardiovascular

Con el ejercicio, aumenta el consumo de oxígeno, lo que estimula un incremento de la frecuencia cardíaca y de la presión sanguínea. Este último efecto es rápidamente amortiguado hacia valores moderados.

## Regulación de la glicemia

Junto al oxígeno, se incrementa el gasto de glucosa por parte de los músculos. Eso obliga a liberar hormonas hiperglicemiantes, que permiten hacer uso del glucógeno reservado en el hígado y en los mismos músculos.

## Eliminación del CO<sub>2</sub>

Es necesario conseguir más oxígeno, pero igual de urgente es retirar el exceso de dióxido de carbono. Para tal efecto, el sistema simpático ayuda a aumentar la frecuencia y profundidad de la ventilación pulmonar.

## Regulación de la temperatura

A mayor trabajo de muchos órganos, se incrementa el metabolismo, lo que aumenta la producción de calor. Para impedir que el cuerpo se caliente en exceso, se activan mecanismos que permiten su difusión, como la sudoración o la vasodilatación periférica.

### Para GRABAR

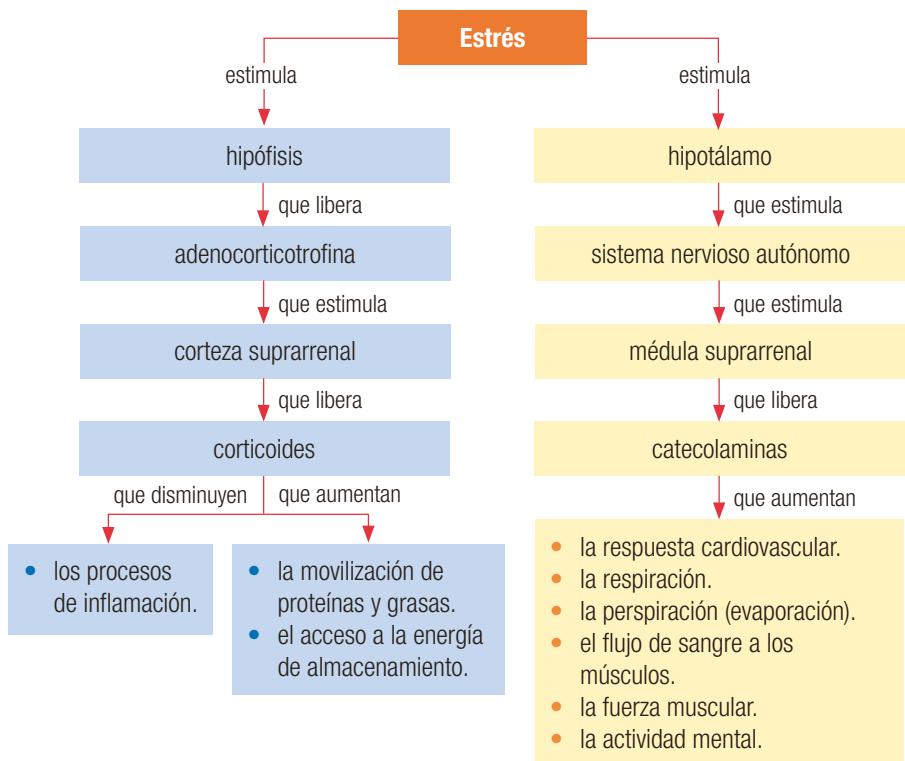
La función del sistema nervioso de **coordinar** se relaciona con determinar: ¿en qué momento?, la de **regular** se relaciona con: ¿en qué medida? y la de **integrar** con: incorporar y relacionar el funcionamiento de todos los demás sistemas.

# Manifestación de los mecanismos estabilizadores: la respuesta al estrés

Las condiciones ambientales son variables. Temperatura, luz, humedad, concentraciones de nutrientes, gases y sales minerales son algunos de los factores que se modifican a cada instante en torno a un ser vivo.

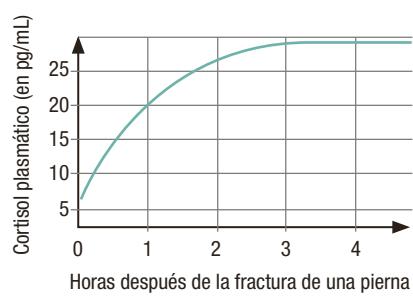
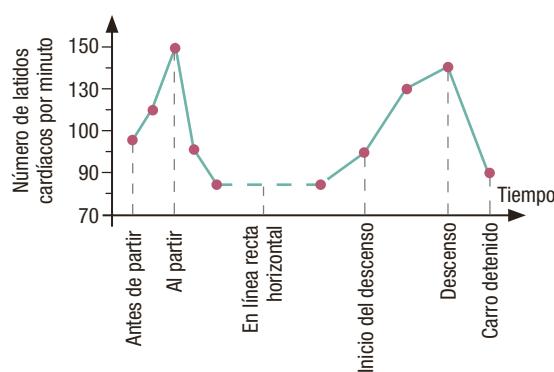
Dado que las condiciones necesarias para la vida se mantienen en márgenes más bien estrechos, un requisito para seguir vivo es justamente la capacidad para detectar estos cambios, procesarlos y responder en forma coherente.

Toda condición ambiental desestabilizante, que demanda una respuesta por parte del organismo, se denomina factor estresante o estresor. No todos estos factores poseen la misma intensidad ni generan igual demanda al organismo. Pero como son habituales e inevitables, provocan episodios permanentes de **estrés fisiológico**. No se trata del estrés psicológico o mental, sino de una serie de estímulos detectados como hostiles o amenazantes y que el organismo afronta mediante respuestas múltiples e integradas.



## Actividad

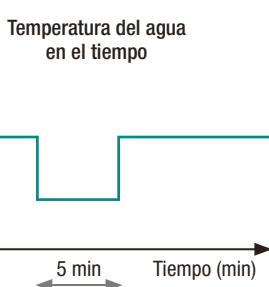
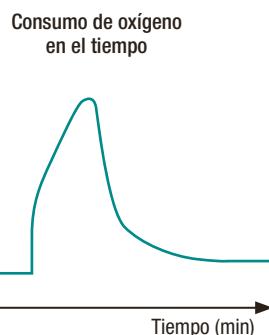
- Explica para qué el organismo necesitaría activar cada una de las siguientes funciones ante una situación de estrés.**
  - Acceder a la energía de almacenamiento.
  - Aumentar la respuesta cardiovascular.
  - Aumentar la actividad mental.
- Analiza los siguientes datos experimentales obtenidos ante dos situaciones de estrés. En un caso, se observan las variaciones de la frecuencia cardíaca de una persona antes, durante y después de recorrer una montaña rusa y, en el otro, las variaciones en la concentración de cortisol durante las primeras horas después de que se ha producido una fractura.**
- Relaciona los resultados con el organizador que se presenta en la página.**



## Para GRABAR

Se entiende como **estrés fisiológico** el conjunto de respuestas nerviosas y endocrinas integradas que le permiten a una persona ajustar su metabolismo para satisfacer las mayores demandas impuestas por una determinada situación estresante, como una hemorragia o la falta de glucosa en la sangre.

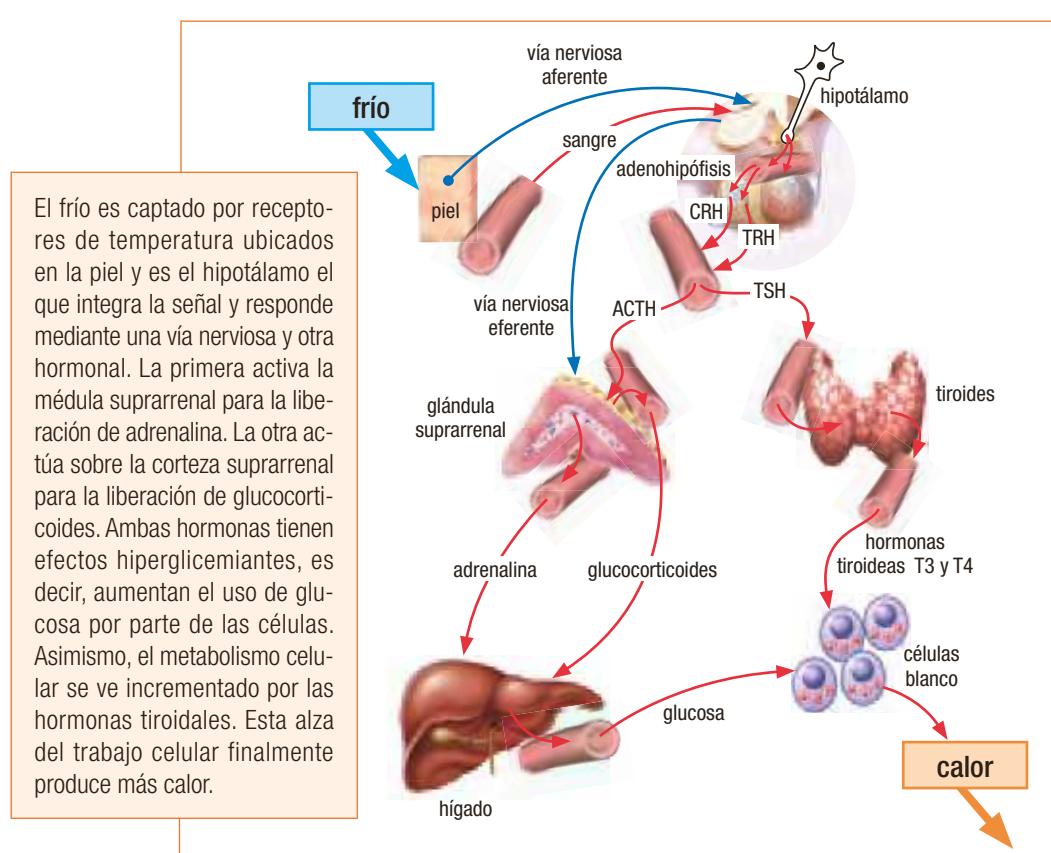
# La coordinación de los sistemas nervioso y endocrino: termorregulación y osmorregulación



En las siguientes páginas nos detendremos un momento a ver dos ejemplos sobre cómo el organismo regula la temperatura corporal y la concentración de sales para mantener la homeostasis de su medio interno.

En el primer caso, la temperatura óptima para el funcionamiento del cuerpo humano oscila en torno a los 36,7 °C. Frente a modificaciones ambientales de temperatura, el organismo reacciona rápidamente para volver a la normalidad, tal como se aprecia en los gráficos de esta página, donde se representan los resultados de la siguiente experiencia:

A una persona sana se le mide su consumo de oxígeno mientras se encuentra en una tina con agua a 36 °C. Cuando la temperatura es bruscamente enfriada hasta llegar a 28 °C, el consumo de oxígeno de la persona aumenta a más del doble en menos de cinco minutos. ¿Qué ocurre? Para hacer frente al frío, el organismo se ve en la necesidad de generar más calor y el calor metabólico proviene, a su vez, de la respiración celular, proceso que requiere oxígeno. La siguiente figura explica este mecanismo en detalle.



## Actividad

1. A partir de la correcta interpretación de la figura, responde.
  - a. Identifica: estresor - centro integrador - glándulas endocrinas - hormonas - vías nerviosas - órganos efectores.
  - b. ¿Qué debería suceder con estos mecanismos una vez que el calor producido compense la exposición al frío? Explica.
  - c. ¿Qué otros mecanismos o conductas conoces que permitan responder a la disminución o al aumento de la temperatura ambiental?

# Función renal: el rol de la orina en la regulación hidrosalina

Una gran cantidad de sustancias son eliminadas de las células producto de sus actividades metabólicas y pasan a la sangre circulando por todo el torrente hasta los riñones; en ellos la sangre es “limpiada”, algunas sustancias son reincorporadas a la sangre para su reutilización y otras son eliminadas definitivamente a través de la orina, lo que contribuye a mantener la homeostasis de nuestro organismo. El funcionamiento de los nefrones, unidad estructural del riñón, se basa en tres procesos: filtración, reabsorción y secreción. A continuación estudiaremos en mayor detalle cada uno de ellos.

## Filtración

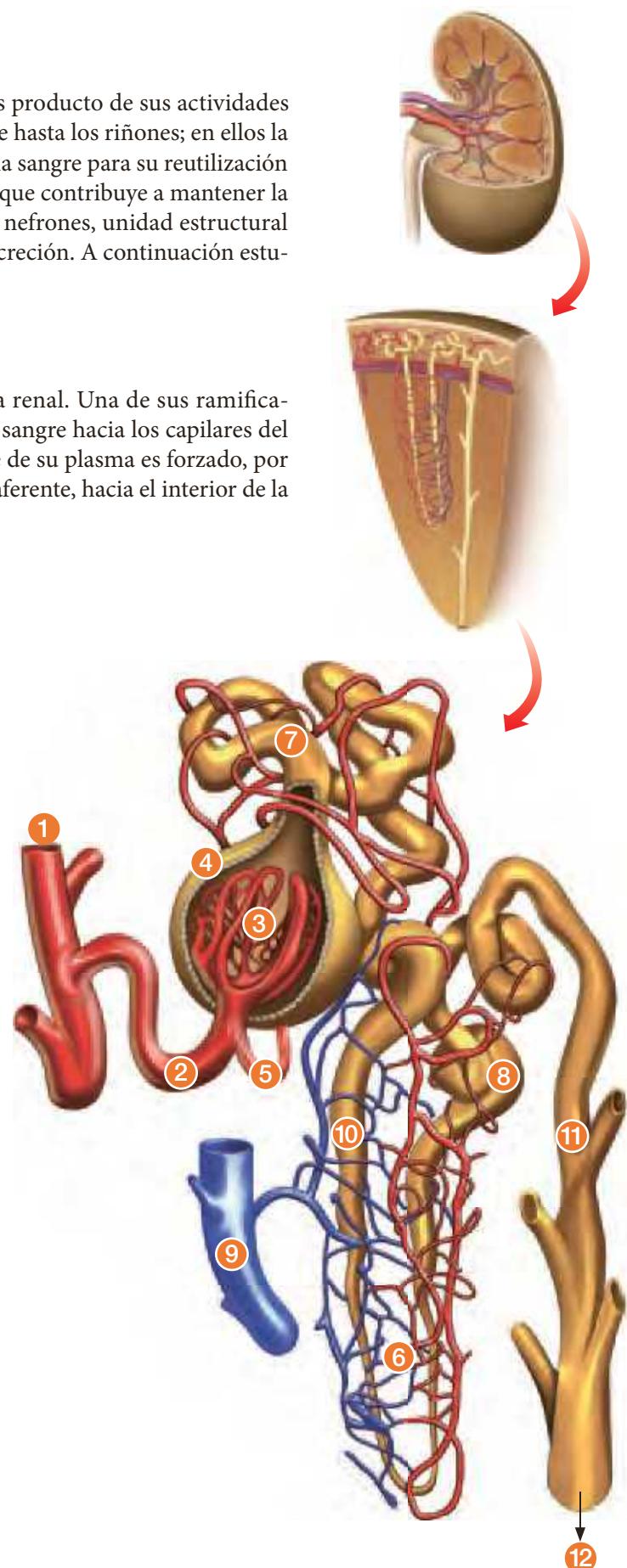
La sangre llega a cada riñón a través de su respectiva arteria renal. Una de sus ramificaciones (1) da origen a la arteriola aferente (2) que conduce la sangre hacia los capilares del glomérulo (3). Cuando la sangre fluye por el glomérulo, parte de su plasma es forzado, por un aumento de presión producto del diámetro de la arteriola aferente, hacia el interior de la cápsula de Bowman (4).

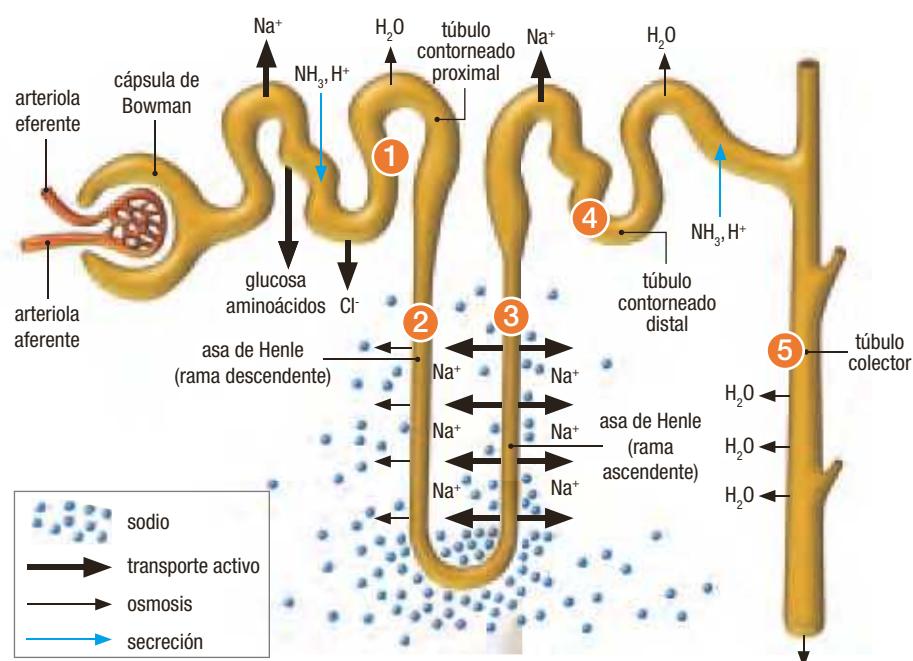
Desde el glomérulo, la sangre sale por la arteriola eferente (5) hacia una red de capilares peritubulares (6), que envuelven los túbulos contorneados proximal (7) y distal (8) y, finalmente, regresa a través de la vénula eferente (9) a la vena renal, cerrando de esta forma la secuencia dentro del nefrón. Pero ¿qué ocurre con el material que ingresó a la cápsula de Bowman? Se forma un líquido similar al plasma llamado filtrado glomerular. Este filtrado está compuesto por todos los solutos de pequeño tamaño que se encuentran disueltos en el plasma, tales como glucosa, aminoácidos, bicarbonato, urea y iones como el sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ). Las proteínas, producto de su tamaño, no pueden ser filtradas.

## Reabsorción

Este proceso permite que el 99% del filtrado sea reabsorbido hacia la sangre y solo una pequeña cantidad sea eliminada en la orina. Así, sustancias necesarias para el organismo como la glucosa y los aminoácidos vuelven a la sangre, mientras que desechos como la urea, el ácido úrico, el amonio, la creatinina y el exceso de sales continúan formando parte del filtrado y son eliminados en la orina.

La mayor parte del filtrado (alrededor del 65%) es reabsorbida al pasar desde la cápsula de Bowman por el lumen del túbulo contorneado proximal. La reabsorción continúa a medida que el filtrado avanza por el asa de Henle (10) y el túbulo contorneado distal. Finalmente, el filtrado es conducido desde el túbulo colector (11) hacia la pelvis renal (12), desde donde es transportado por el uréter hasta la vejiga para ser excretado como orina. Los componentes que fueron reabsorbidos regresan a la sangre a través de la vena renal y se reincorporan al circuito sanguíneo.





### ¿Cómo se produce la reabsorción?

La reabsorción del filtrado glomerular es un proceso selectivo y activo, ya que en la mayoría de los casos el traslado de sustancias es contra el gradiente de concentración. Tales sustancias son: glucosa, aminoácidos, fructosa, hormonas, vitamina C, iones inorgánicos, como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $(\text{HCO}_3)^-$ ,  $(\text{PO}_4)^{3-}$ ,  $(\text{SO}_4)^{3-}$ , entre otras. El agua, por su parte, es reincorporada a la sangre mediante osmosis.

Inicialmente, el filtrado glomerular que ingresa en el túbulo contorneado proximal (1) es **isotónico** con respecto al plasma sanguíneo (ver sección Ayuda). Si bien a este nivel el sodio y otros solutos son bombeados fuera del túbulo, el filtrado permanece isotónico porque también se desplaza agua por osmosis. Al avanzar por la rama descendente del asa de Henle (2), el filtrado se hace más concentrado por la sali-

da de agua por osmosis. A medida que el líquido asciende por la otra rama del asa de Henle (3), se vuelve más diluido al ser bombeado el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{Cl}^-$  al exterior. Al llegar al túbulo contorneado distal (4), el líquido es **hipotónico** con respecto al plasma y permanece en ese estado a lo largo de este túbulo. El líquido pasa después al túbulo colector (5), atravesando una vez más una zona de elevada concentración salina.

## Secreción

Este proceso ocurre en el sentido opuesto al de la reabsorción, es decir, desde la sangre hacia el filtrado (orina). La secreción ocurre principalmente en el túbulo contorneado distal y permite la eliminación de ciertas sustancias tóxicas que aún no han sido eliminadas de la sangre y que en altas concentraciones pueden provocar trastornos orgánicos. Por ejemplo, la secreción de iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) es un mecanismo que permite la regulación del pH sanguíneo. Por otro lado, la secreción de potasio ( $\text{K}^+$ ) impide que su concentración aumente, lo que alteraría los procesos de transmisión del impulso nervioso y de contracción muscular.

### Actividad

- Identifica** cuál de las columnas de la tabla corresponde a las sustancias filtradas, reabsorbidas, secretadas y excretadas durante 24 horas de funcionamiento renal y anótalo.
- Calcula** y completa la última columna con el porcentaje de reabsorción de cada sustancia.

Sustancia					Porcentaje reabsorbido
Ion sodio (meq)	25.850	26.000	150	0	
Ion potasio (meq)	560	600	90	50	
Ion cloruro (meq)	17.850	18.000	150	0	
Ion bicarbonato (meq)	4.900	4.900	0	0	
Urea (mmol)	460	870	410	0	
Glucosa (mmol)	800	800	0	0	
Agua (mL)	179.000	180.000	1.000	0	

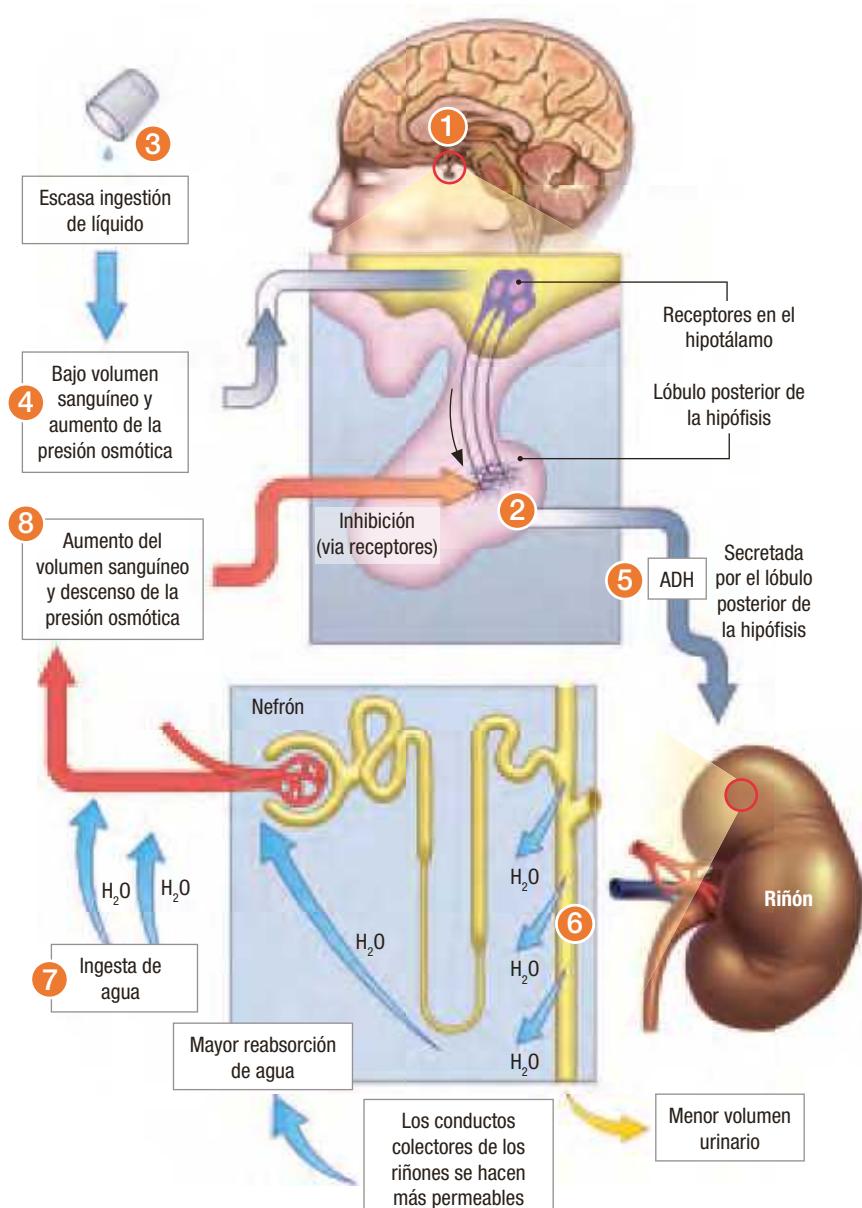
# Mecanismo de osmorregulación

Ahora que ya vimos cómo se produce la orina, veamos cómo este mecanismo se regula. Los riñones tienen la capacidad de modificar la cantidad de agua que reabsorben y con ello producir una orina más concentrada o más diluida para mantener el equilibrio interno.

El volumen de orina está regulado por la acción de la **hormona antidiurética (ADH)**, producida por el hipotálamo (1) y almacenada y secretada por el lóbulo posterior de la hipófisis (2). Esta hormona se encarga de regular la permeabilidad al agua y la velocidad de reabsorción en los túbulos colectores del nefrón, controlando así la eliminación de agua por los riñones.

Cuando nuestro organismo comienza a deshidratarse debido a la poca cantidad de líquido ingerido (3), entonces la concentración de sales disueltas en la sangre se eleva (4), lo que aumenta la liberación de ADH (5). Existen osmorreceptores especializados en el hipotálamo y en los grandes vasos sanguíneos que son muy sensibles a estos cambios en la osmolaridad (concentración de solutos) y que detectan que hay un aumento en la cantidad de solutos respecto al total de partículas en solución. El lóbulo posterior de la hipófisis reacciona ante este estímulo liberando ADH y permitiendo con ello que las paredes de los conductos colectores se vuelvan más permeables y aumente la cantidad de agua reabsorbida (6). Como consecuencia, la cantidad de agua retenida por el cuerpo se incrementa, ya que cuanto mayor es la cantidad de ADH secretada, menor es la pérdida de agua en el organismo. Así, la ADH provoca una disminución del volumen de orina, la que se elimina muy concentrada.

Por el contrario, la ingesta de grandes cantidades de agua (7) tiene como consecuencia que el volumen sanguíneo se restablezca (8), su concentración de solutos disminuya y todo vuelva a los rangos hídricos normales. La producción de ADH también se reduce, con lo que la cantidad de agua reabsorbida en los conductos colectores es menor y la orina que se elimina es muy diluida.



## Actividad

### 1. A partir del análisis del esquema, responde.

- ¿Qué estímulo provoca que la hipófisis secrete hormona antidiurética (ADH)?
- ¿Qué efectos provoca la secreción de ADH?
- ¿Qué condición determina la inhibición de la secreción de ADH?
- ¿Qué ocurriría si los receptores del cerebro y de los vasos sanguíneos sufrieran una alteración que les impidiera detectar las variaciones de solutos en la sangre? Explica.

## Ampliando MEMORIA

Las bebidas alcohólicas y algunas no alcohólicas (té, café, mate, bebidas cola) anulan la actividad de la ADH. Por eso es que su consumo aumenta el volumen de orina eliminado.

# El control nervioso y el endocrino: similitudes y diferencias

## Ampliando MEMORIA

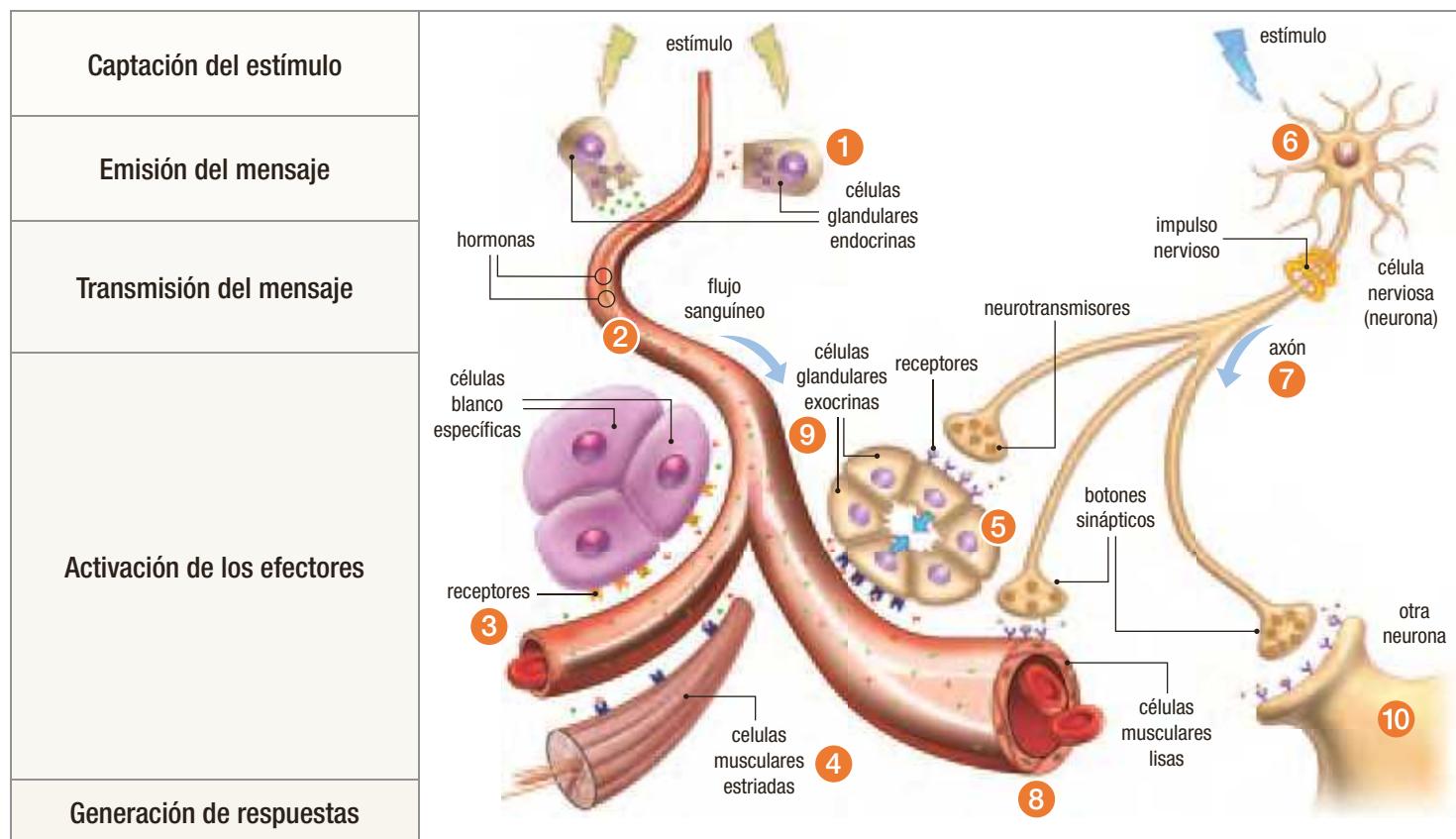
Las neuronas se comunican con otras células a través de estructuras especializadas, llamadas **sinapsis**. Los impulsos nerviosos pueden propagarse entre células a través de estas estructuras.

Tanto el sistema endocrino como el nervioso son capaces de llevar mensajes a lo largo del organismo, aunque utilizan mecanismos diferentes.

Al ser estimulada, una **célula glandular endocrina** (1) libera una hormona que puede viajar por la sangre (2) y eventualmente tener contacto con diferentes tipos de efectores, es decir, células sensibles a la hormona. Todas las células, de todos los órganos del cuerpo, son sensibles al menos a un tipo de hormona, al tener receptores específicos para captarla (3). En la figura de esta página se presentan dos efectores clásicos: células musculares (4) y células glándulares exocrinas (5).

La estimulación de una **célula nerviosa** (6), la neurona, puede generar un impulso nervioso, el que es transmitido a lo largo de la prolongación llamada axón (7). Al llegar a los botones sinápticos, el impulso puede activar la liberación de neurotransmisores, que son captados de forma análoga a las hormonas por receptores específicos en al menos tres tipos de efectores: células musculares (8), glandulares (9) y otras neuronas (10).

De esta forma, ambos sistemas de control son activados por estímulos, cuentan con un sistema de transporte de un mensaje y son capaces de activar a otras células mediante la unión de una sustancia química con un receptor. Tal interacción determina respuestas específicas en las células efectoras.



## Actividad

1. **Construye** un cuadro comparativo entre el control nervioso y el endocrino. Para ello establece al menos cinco criterios de comparación.
2. Tal como se observa en la figura anterior, existen efectores que pueden ser estimulados por hormonas o por impulsos nerviosos. ¿En qué casos se activará uno u otro? **Explica**.

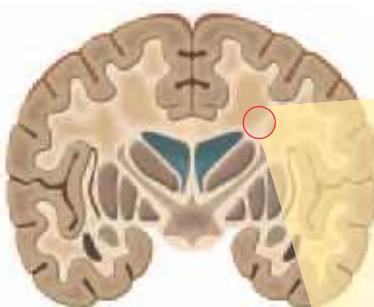
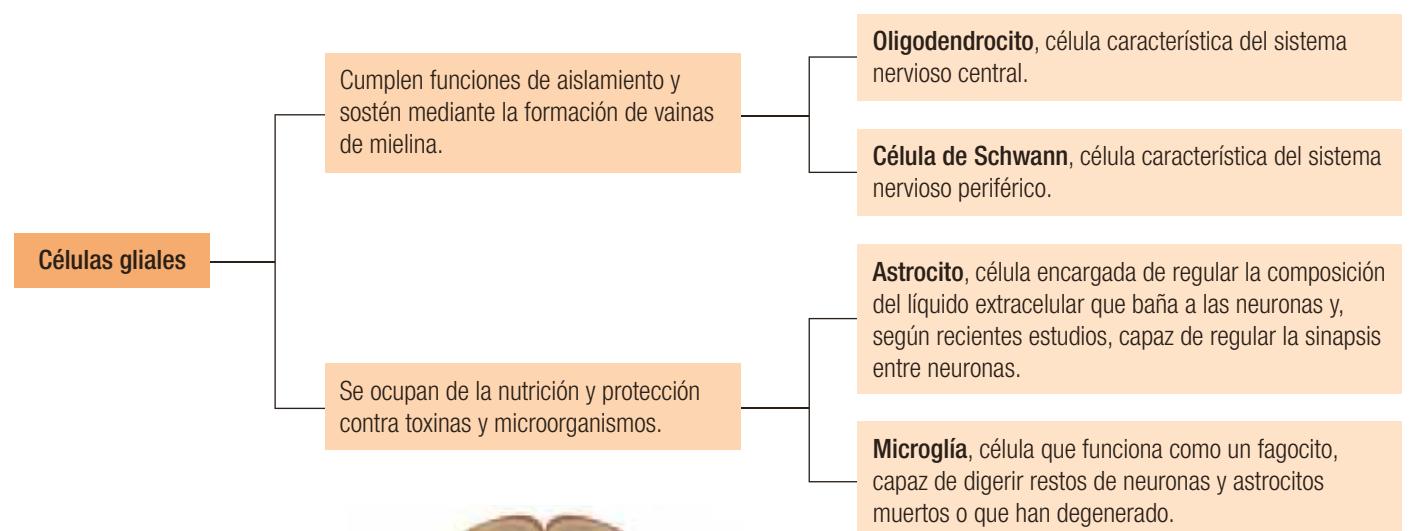
# Células nerviosas: no todas son neuronas

El foco de estudio de las células del cerebro está puesto en solo el 10% de las células totales que lo constituyen. Efectivamente, la enorme mayoría de las células nerviosas no son las neuronas, sino las **células gliales** o **glía**. Este variado grupo de células en un principio fue considerado una especie de relleno que mantiene unidas a las neuronas (*glía* es una expresión griega que quiere decir pegamento). El conocimiento actual sobre la glía la ha posicionado como un componente fundamental de la organización nerviosa.

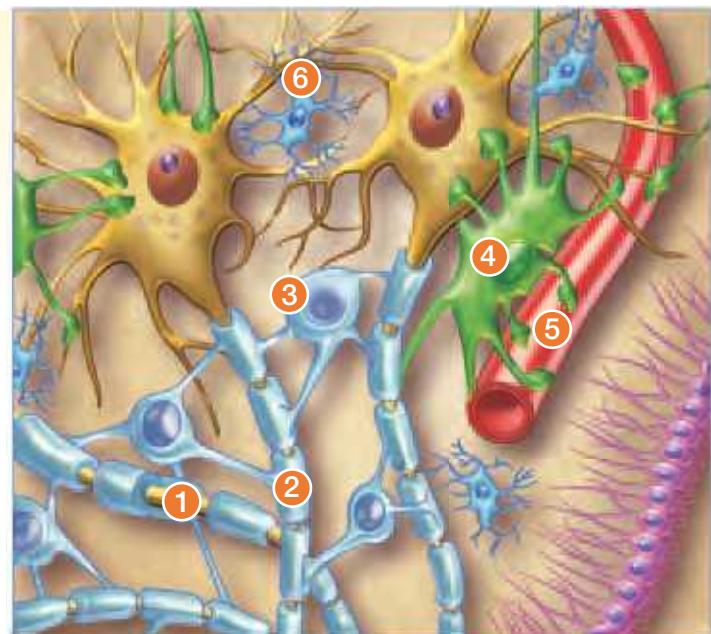
Funcionalmente, las células gliales pueden estar relacionadas con el aislamiento de los axones neuronales, destinado a acelerar el impulso nervioso, o bien con la protección frente a agentes tóxicos o infecciosos. En el siguiente esquema se explican las funciones específicas de cada uno de los tipos de células gliales.

## Ampliando MEMORIA

Las neuronas en general no poseen capacidad para reproducirse o realizar mitosis. Paradójicamente, es conocido que el cerebro puede generar tumores derivados del crecimiento anómalo de determinado tejido. De hecho, una parte importante de los cánceres cerebrales se debe a alteraciones reproductivas de los astrocitos y no de las neuronas.



En la figura se puede apreciar el aspecto y organización de tres de los cuatro tipos de glía. En torno al axón de las neuronas (1) se pueden ver vainas de mielina (2) desarrolladas por los oligodendrocitos (3). Las células estrelladas que se interponen entre las neuronas y los vasos sanguíneos son los astrocitos (4). En su conjunto, los astrocitos envolviendo a los vasos sanguíneos (5) constituyen una barrera muy eficiente para descartar agentes externos potencialmente dañinos. Finalmente, la célula más pequeña con ramificaciones con aspecto de pluma corresponde a una microglía (6).



## Actividad

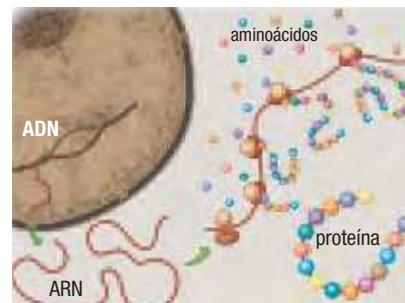
- Considerando la información de esta doble página, **explica** de qué manera una alteración en la función de los astrocitos podría afectar el funcionamiento neuronal.

# La neurona y las condiciones que le permiten transmitir impulsos

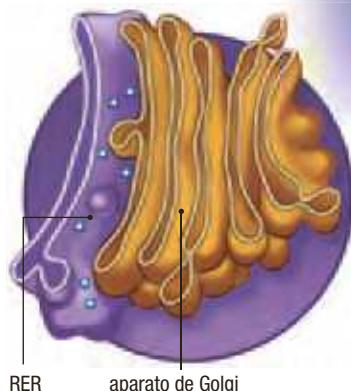
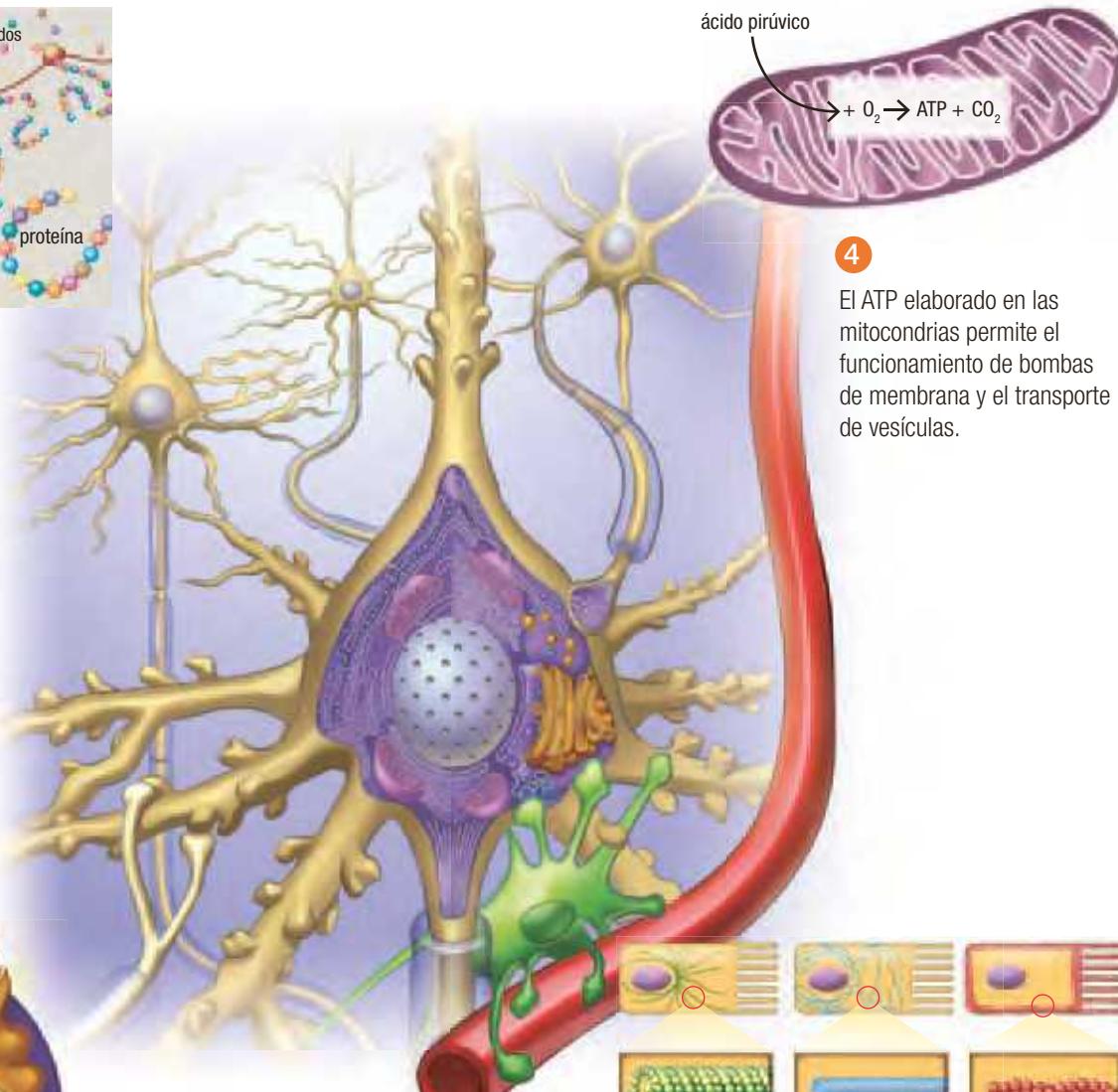
## Organización celular

En términos generales, la organización de una neurona no dista mucho de la estructura de cualquier otra célula de un organismo vertebrado. Sus organelos, composición citoplasmática, funcionamiento nuclear y sistema de endomembranas son similares a los de células glandulares digestivas o a los de una célula hepática. La diferencia radica en su forma y los usos particulares que tienen sus proteínas o en el destino de sus moléculas de ATP.

### Organización neuronal



**1**  
La expresión de determinados genes, mediante la lectura del ADN, permite la elaboración de moléculas de ARN usadas por los ribosomas para la síntesis de proteínas.



El aparato de Golgi promueve la elaboración de vesículas con sustancias vitales para la comunicación entre neuronas.

**4**  
El ATP elaborado en las mitocondrias permite el funcionamiento de bombas de membrana y el transporte de vesículas.

**3**  
Los neurofilamentos de origen proteico estructuran las múltiples prolongaciones neuronales y coordinan el movimiento de las vesículas.

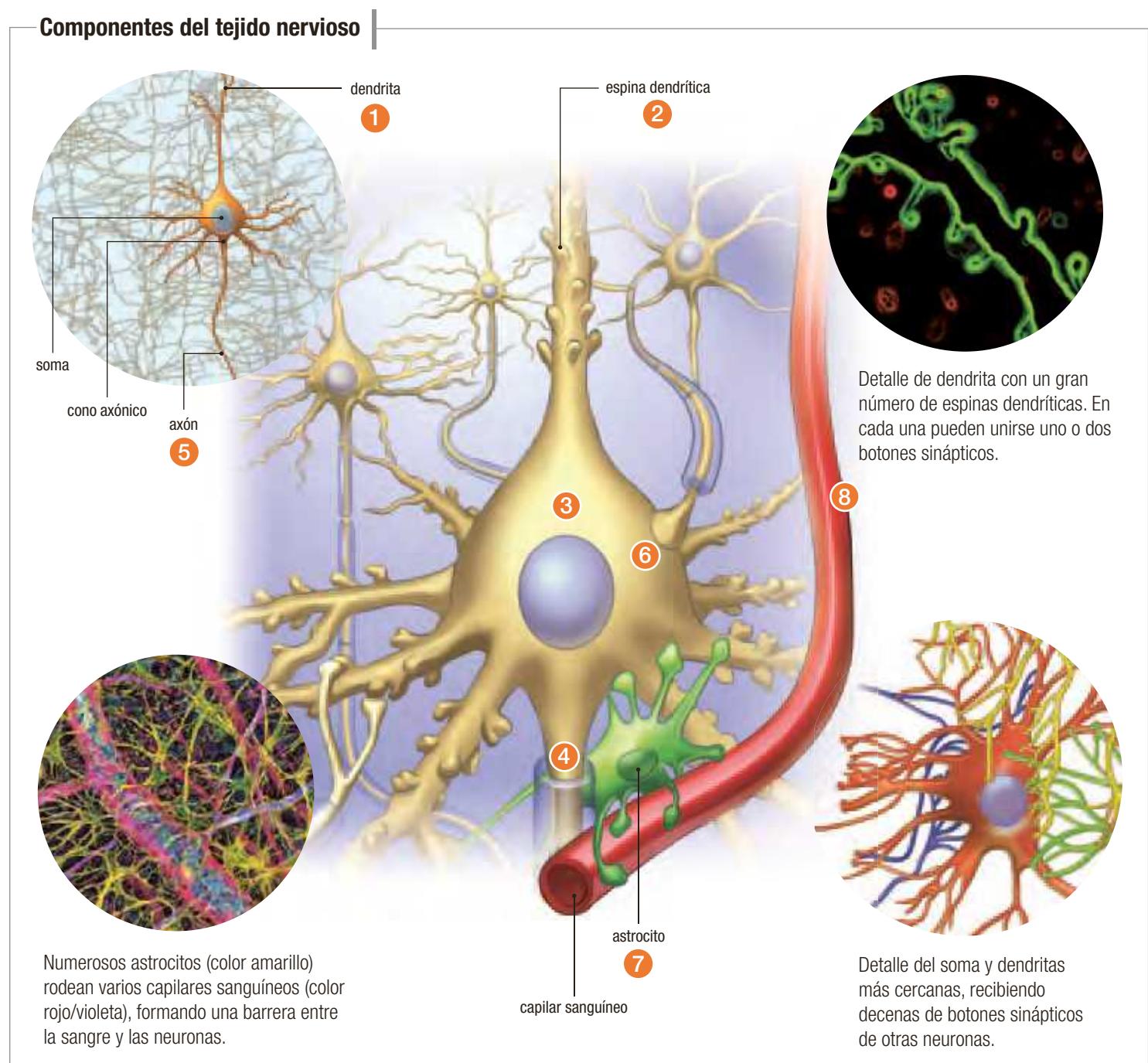
## Partes de la neurona y sus interacciones

La gran mayoría de las neuronas posee cuatro porciones, las que se pueden reconocer en la figura de esta página. Las dendritas (1), prolongaciones que reciben señales de otras neuronas a través de las espinas dendríticas (2). El cuerpo celular o soma (3), donde se integran las señales recibidas por las dendritas y el mismo soma, y se define seguir o no con su transmisión mediante el cono axónico (4), el que continúa con el axón (5), capaz de transportar el mensaje nervioso longitudinalmente hasta las ramificaciones terminales, habitualmente múltiples, que finalizan en forma de botones sinápticos (6), capaces de unirse con espinas dendríticas de otras neuronas.

El tejido nervioso está compuesto tanto por la red de neuronas así conectadas como por las células gliales, entre las que destacan los astrocitos (7), células que rodean los vasos sanguíneos (8) y que median entre la sangre y las neuronas.

### Ampliando MEMORIA

Solo en la corteza cerebral, una persona adulta cuenta con 20 mil millones de neuronas y entre 200 mil millones y 1 billón de células gliales. Considerando que una neurona puede hacer entre 10 y 10.000 sinapsis con otras 10.000 neuronas, y recibir señales de otras 10.000 neuronas, se calcula que el número total de sinapsis del cerebro humano es de  $10^{14}$ , es decir ¡100 billones de conexiones!



# Diversidad de neuronas

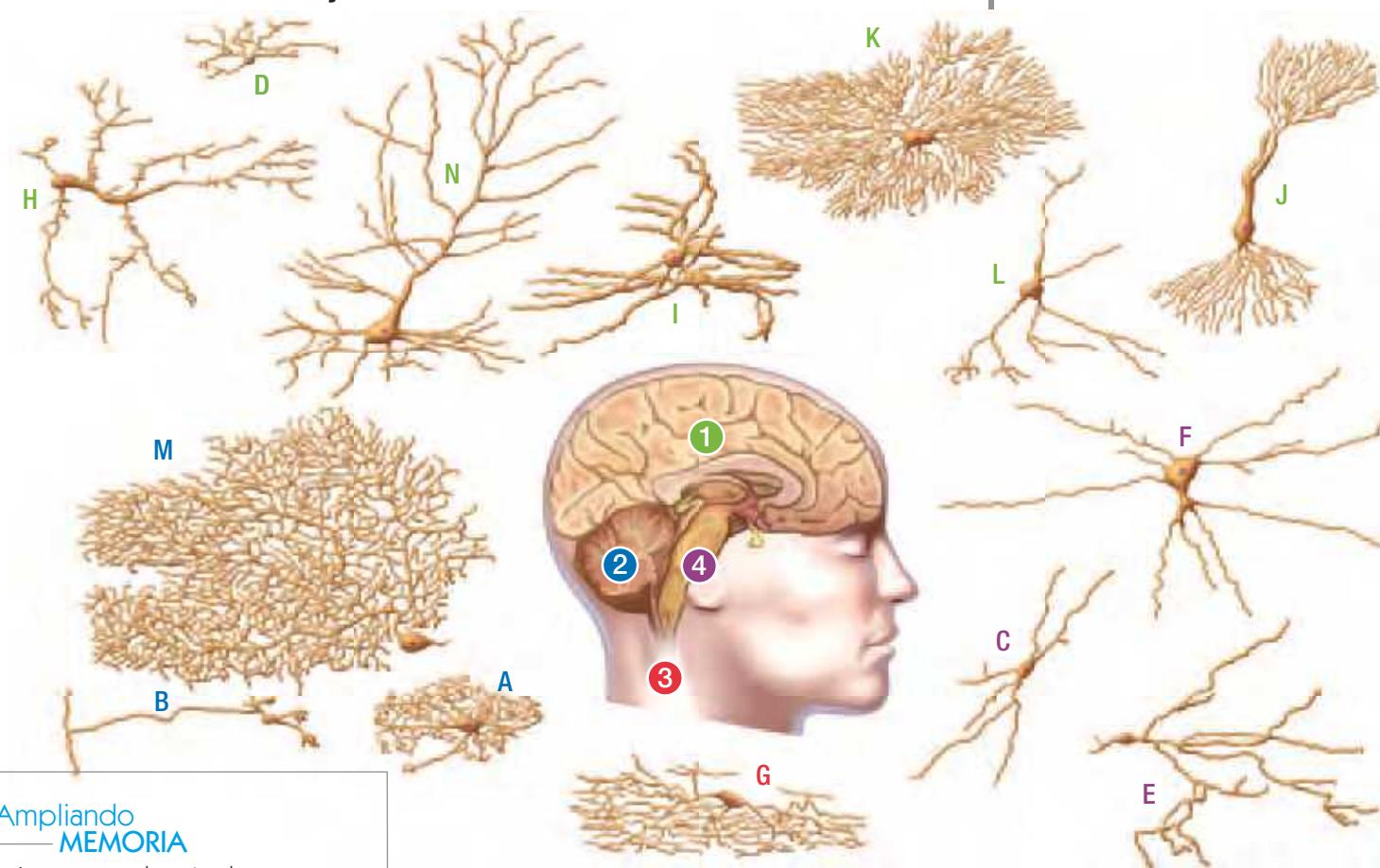
## Clasificación según el número de prolongaciones

A partir del modelo general, las neuronas muestran una gran diversidad de formas y largos, dependiendo de sus funciones específicas.

La clasificación más habitual es según su número de neuritas. Se les llama así tanto a las dendritas como a los axones. Se denominan unipolares las neuronas que tienen una sola neurita (axón) que se bifurca, bipolares a las que poseen dos prolongaciones (axón y dendrita) y multipolares a las que cuentan con un gran número de neuritas (axón y dendritas).

En la siguiente figura se muestra una gran variedad de neuronas, con diferente número de prolongaciones.

### Variedad de neuronas y distribución al interior del sistema nervioso central



### Ampliando MEMORIA

Los axones de animales vertebrados pueden estar envueltos en vainas de mielina. Como se observa en la ilustración de la página 25, esta envoltura se genera producto de la interacción entre el axón y los oligodendrocitos del SNC o las células de Schwann del SNP.

Si bien no suele ser usado como criterio de clasificación, es cierto que aquellas neuronas con axones mielinizados transportan mucho más rápido el impulso nervioso que las neuronas amielínicas.

Ubicación espacial de las neuronas representadas:

1 Cerebro: D, H, I, J, K, L, N

2 Cerebelo: A, B, M

3 Médula espinal: G

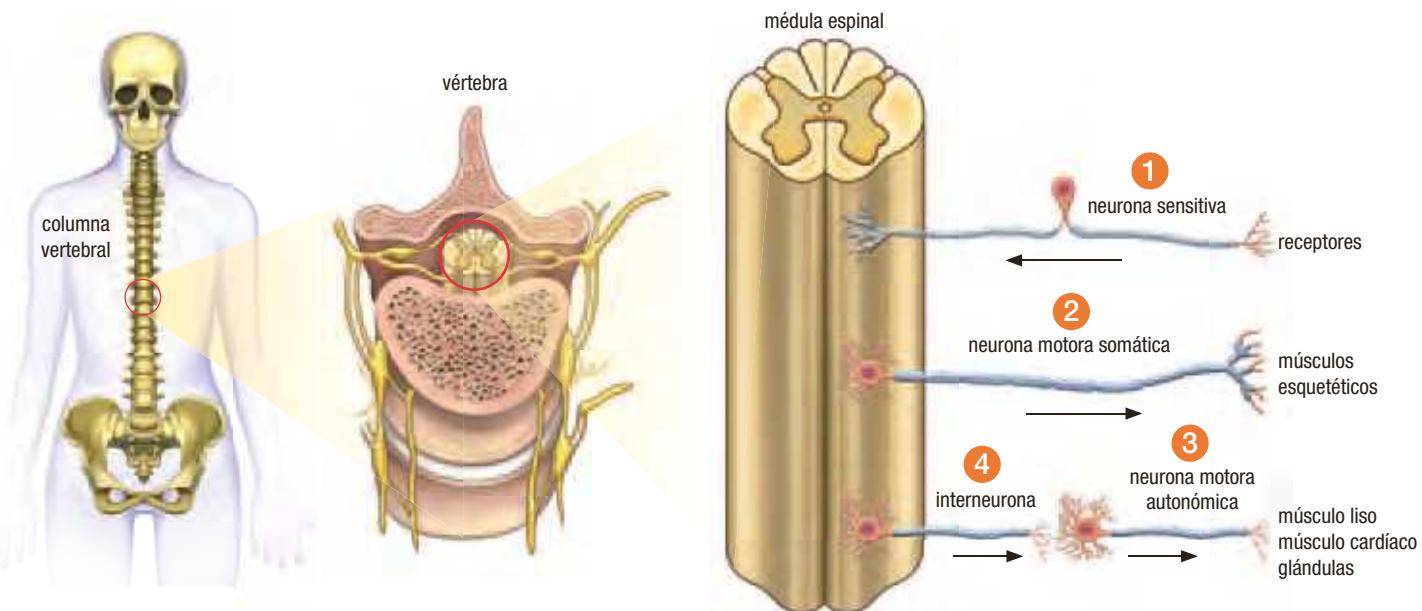
4 Tronco encefálico: C, E, F

### Actividad

1. ¿Qué tipo de neuronas reconoces en la figura anterior? Menciona algunos ejemplos y **clasificalas**.
2. **Argumenta** si existe alguna relación entre el número de prolongaciones y el lugar del sistema nervioso en que la neurona se encuentre.
3. Si pudieras observar una neurona al microscopio, menciona dos formas de **reconocer** si una neurita es una dendrita o el axón.

## Clasificación basada en el tipo de conexión

La información que es procesada por el sistema nervioso proviene de neuritas que están en contacto con estructuras sensoriales del organismo, como la piel, la nariz, la lengua, el oído interno o la retina. Las neuronas con tales conexiones se llaman **neuronas sensitivas** (1). Las neuronas cuyos botones sinápticos están en contacto con músculo esquelético (2), músculo liso, cardíaco o células glandulares (3) se llaman **neuronas motoras**. Sin embargo, la enorme mayoría de las neuronas se conecta con otras neuronas y se denomina **interneuronas** (4).



- ▲ La médula espinal está formada fundamentalmente por interneuronas, las que se conectan con neuronas sensitivas para recibir señales desde los receptores, y con neuronas motoras para llevar impulsos nerviosos hacia los músculos y glándulas. Las flechas indican la dirección de los impulsos nerviosos en cada tipo de neurona.

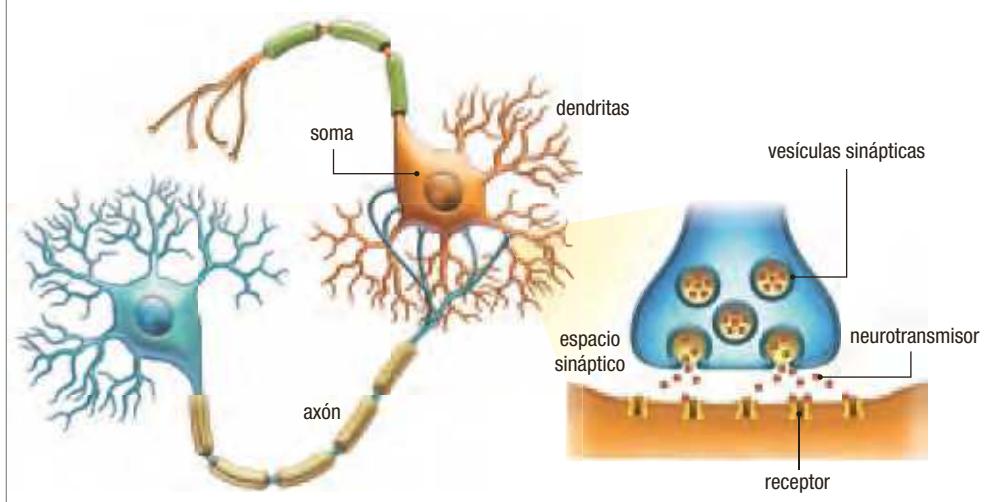
## Clasificación basada en el largo del axón

Se aplica fundamentalmente a las neuronas cerebrales. Aquellas que llevan información de un lado a otro del cerebro mediante una o más prolongaciones alargadas se llaman Golgi tipo I. En contraste, las neuronas con conexiones más bien vecinas se llaman Golgi tipo II.

### Clasificación basada en el tipo de neurotransmisor

Se utiliza un criterio químico, relativo al tipo de sustancia liberada para la transmisión del impulso nervioso. Algunos ejemplos serían: neuronas colinérgicas, adrenérgicas y dopamínergicas, por liberar acetilcolina, noradrenalina y dopamina, respectivamente.

### Liberación de un neurotransmisor desde una neurona a otra

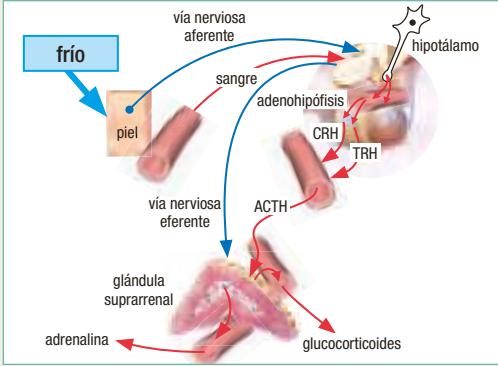


# A analizando disco

## Evaluación de proceso

### I. Responde las preguntas de alternativas.

#### Integración orgánica

1. Frente a una situación de ejercicio, el hígado tiende a liberar glucosa:
  - A. Para aumentar la pérdida de calor.
  - B. Para nutrir a las células sanguíneas.
  - C. Para activar la ventilación pulmonar.
  - D. Para aumentar la absorción intestinal.
  - E. Para incrementar el metabolismo muscular.
2. Si en una habitación aumentara el nivel de CO<sub>2</sub>, ¿qué respuesta del organismo sería esperable en el corto plazo?
  - A. Disminución del bombeo cardíaco.
  - B. Retardo del movimiento sanguíneo.
  - C. Aumento de la frecuencia respiratoria.
  - D. Incremento de la absorción de glucosa.
  - E. Mejoramiento de la contracción muscular.
3. Considerando el siguiente esquema sobre la regulación de la glucosa, ¿cuál es la actividad que le corresponde a la glándula suprarrenal?

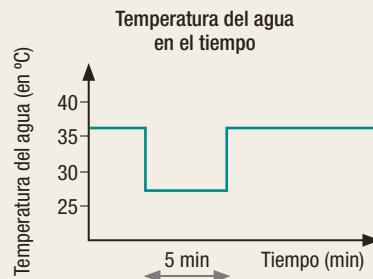
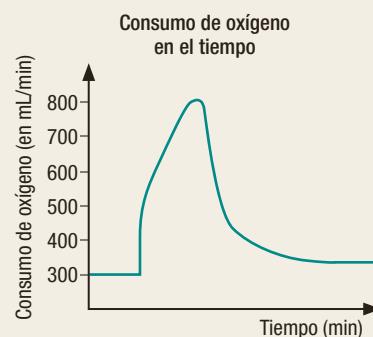
  - A. Capta estímulos externos.
  - B. Integra señales sensitivas y motoras.
  - C. Genera señales hormonales y nerviosas.
  - D. Recibe información endocrina y neuronal.
  - E. Transforma mensajes químicos en nerviosos.

4. ¿Cuál de los siguientes órganos debería ser sensible a la hormona que regula la producción de células sanguíneas?
  - A. Intestino.
  - B. Pulmones.
  - C. Corazón.
  - D. Ciertos huesos del esqueleto.
  - E. Algunos vasos sanguíneos.

5. ¿Cuál de los siguientes mecanismos depende directamente de la regulación del agua en los riñones?
  - A. El transporte de grasas.
  - B. El intercambio de gases.
  - C. La contracción muscular.
  - D. La absorción de nutrientes.
  - E. El control de la presión arterial.

6. ¿Qué es lo particular de la regulación endocrina en relación con la nerviosa?
  - A. Actúa sobre células específicas.
  - B. Tiene efectos a largas distancias.
  - C. Puede comenzar con un estímulo externo.
  - D. Incluye células que exocitan sustancias.
  - E. No requiere conexión física entre las células involucradas.

7. Cuál sería una interpretación correcta del siguiente gráfico, referido al consumo de O<sub>2</sub> de una persona sometida a un baño de agua?



- A. El aumento del metabolismo respiratorio es una respuesta al frío.
- B. El consumo de O<sub>2</sub> es independiente de la temperatura del agua.
- C. A mayor uso del O<sub>2</sub>, mayor es la temperatura de una persona.
- D. El consumo de O<sub>2</sub> permite activar el metabolismo de una persona.
- E. Existe una relación directa entre el consumo de O<sub>2</sub> y la temperatura del agua.

**Células nerviosas**

- 8.** Cierta toxina afecta la velocidad de los impulsos del sistema nervioso periférico. ¿A qué tipo de célula glial es probable que esta sustancia esté alterando?
- Los oligodendrocitos.
  - Las células de Schwann.
  - La microglía y los astrocitos.
- Solo I.
  - Solo II.
  - Solo III.
  - Solo I y III.
  - Solo II y III.
- 9.** ¿Cuál de las siguientes características sirve para distinguir una neurona de una célula glial en el tejido nervioso?
- La presencia de prolongaciones.
  - La posesión de núcleo prominente.
  - Su pequeño número o representatividad.
  - La posibilidad de transmitir impulsos nerviosos.
  - La capacidad de contactarse con otras células nerviosas.
- 10.** ¿Qué nombre recibe la célula nerviosa esquematizada?



- Microglía.
- Astrocito.
- Oligodendrocto.
- Neurona sensitiva.
- Célula de Schwann.

**II. Responde las preguntas de desarrollo.**Integración orgánica

- 11.** ¿Qué sucedería si las funciones nerviosas del organismo fuesen reguladas por hormonas y no por impulsos nerviosos?
- 12.** Dibuja un gráfico que represente los niveles sanguíneos de las hormonas adrenalina y tiroideas (T3 y T4) en una rata que ha sido expuesta abruptamente a un ambiente de 5 °C. Considera mediciones realizadas cada una hora. Justifica tus conclusiones.
- 13.** Analiza la información de la tabla y luego responde.
- | Constituyentes (g/L) | Plasma  | Filtrado glomerular | Orina             |
|----------------------|---------|---------------------|-------------------|
| Na <sup>+</sup>      | 3,2     | 3,2                 | 3 – 6             |
| K <sup>+</sup>       | 0,2     | 0,2                 | 2 – 3             |
| Proteínas            | 60 – 80 | 0                   | 0                 |
| Glucosa              | 1       | 1                   | 0                 |
| Urea                 | 0,3     | 0,3                 | 20                |
| Agua                 | –       | 170 (litros/24 h)   | 1,5 (litros/24 h) |
- ¿Qué características tiene el filtrado glomerular al compararlo con el plasma y con la orina?
  - ¿Cómo se explican las principales diferencias entre el filtrado glomerular y la orina?

**PISTAS**

La sangre arterial sale del corazón con una rapidez de 40 cm/s, pero en los capilares no sobrepasa los 0,1 cm/s. El impulso nervioso, en tanto, se propaga entre 1 a 100 m/s.

La adrenalina y las hormonas tiroideas se liberan como respuesta al frío. Su secreción debería detenerse a medida que la temperatura se restablece.

**Mi ESTADO**

Anota el nivel de logro de tus aprendizajes hasta ahora según la categoría de desempeño dada: 1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

- Comprendí la función reguladora de los sistemas endocrino y nervioso. (Preguntas 1 a 4).
- Comprendí de qué manera opera la termorregulación y la osmorregulación. (Preguntas 5, 7, 12 y 13).
- Distinguí las particularidades de la comunicación endocrina y nerviosa. (Preguntas 6 y 11).
- Amplié la noción de célula nerviosa, incorporando a las células gliales. (Preguntas 8, 9 y 10).

# La mayoría de las células poseen membranas polarizadas

## Ampliando MEMORIA

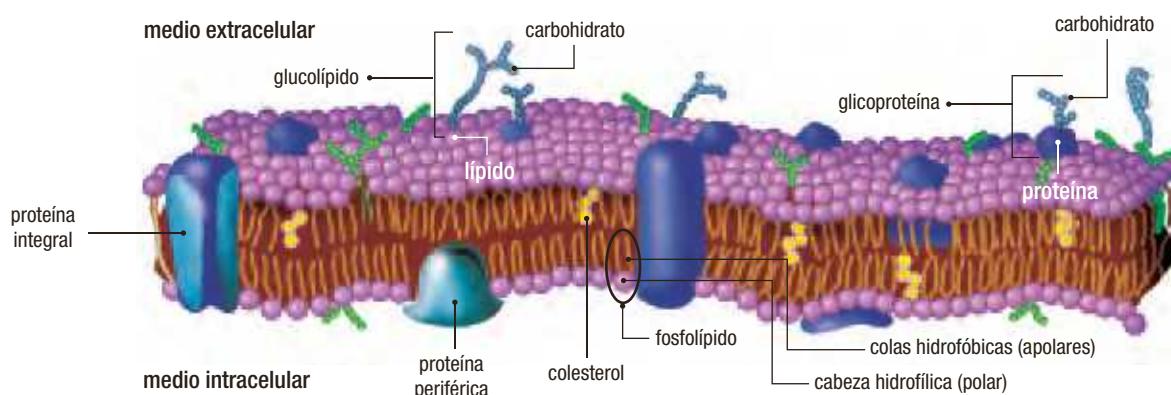
Las proteínas que se alojan en la membrana plasmática (u otras membranas de organelos) se “afirman” en esa posición porque su porción central es apolar, por lo que interactúa con las colas apolares de los fosfolípidos. Sus extremos polares, en cambio, les permiten interactuar con el agua del citosol y el medio extracelular.

Los impulsos nerviosos se basan en el movimiento de iones a través de la membrana plasmática. A medida que ciertos iones se ubican a uno u otro lado de la membrana se produce una diferencia de cargas que **polariza** la membrana. Este fenómeno es propio de la mayor parte de las células, aunque solo en algunas tiene consecuencias funcionales relevantes.

El movimiento de los iones que determinan tal polaridad depende a su vez del efecto de la **difusión** y de la **electricidad**.

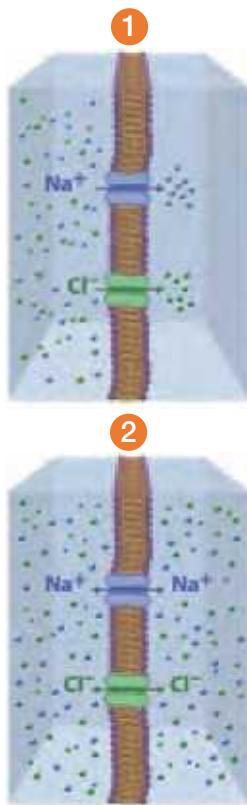
## El movimiento de los iones

La membrana está formada por una bicapa de fosfolípidos y una serie de proteínas que la atraviesan. Algunas de estas proteínas son canales que permiten el paso de sustancias que, como los iones, no pueden pasar por la bicapa.



### El efecto de la difusión

Veamos este efecto con un ejemplo. Si se diera el caso de que dos tipos de iones (como  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ ) se encontraran más concentrados a un lado de la membrana que al otro (1), los canales proteicos específicos permitirían que los iones difundieran hacia el lado en que es menor la concentración, hasta alcanzar un estado de equilibrio. Vale decir, cuando los canales iónicos están abiertos, los iones tienden a igualar sus concentraciones mediante difusión (2). Si se quisiera mantener una mayor concentración de un ion a un lado de la membrana, sería necesario bombearlo activamente hacia ese lado (usando energía), pues la difusión lo movería hacia el lado contrario.



### El efecto de la electricidad

Los canales también permiten el intercambio de iones cuando a ambos lados de la membrana hay una carga eléctrica. En la figura se representa de qué manera la aplicación de terminales con carga positiva y negativa provenientes de una fuente de poder eléctrica (una pila) podrían atraer iones hacia ambos lados de la membrana (3). Los iones positivos, como el sodio ( $\text{Na}^+$ ), serían atraídos por la carga negativa y los iones negativos, como el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), serían atraídos por la carga positiva (4). En la medida en que los iones puedan atravesar la membrana mediante los canales, se producirá una corriente eléctrica medible, desde el terminal positivo (ánodo) hasta el negativo (cátodo).



## El origen de la polaridad

La **polaridad** (ver *Ayuda*) de una membrana se parece a la de una pila, ya que en ambos casos se mantienen dos áreas con carga eléctrica diferente, estableciéndose una diferencia de potencial eléctrico cuantificable.

Al igual que en una pila, en la membrana se requiere de un medio por donde fluya la corriente. En una pila se trata de un electrolito, sustancia conductora. En la membrana, es el flujo de iones a través de los canales específicos.

Si dos sustancias iónicas de cargas opuestas se encuentran más concentradas a uno de los dos lados de la membrana y en una proporción similar, no habrá polaridad (5). Si la membrana se hace permeable a través de un canal específico solo para uno de estos, por ejemplo para el potasio, este ion difunde y el lado que ahora ocupa tiende a ganar sus cargas positivas (6). Cada potasio que “cambia de lado” es una carga positiva menos en el ambiente originalmente neutro, por lo que este se hace progresivamente negativo (7). Si bien algunos iones potasio pueden devolverse atraídos por la carga negativa, el movimiento por difusión suele ser más intenso.

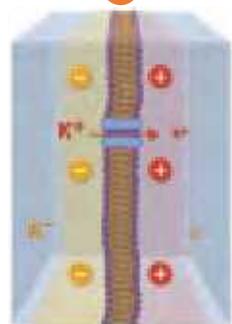
El citoplasma contiene una gran concentración de proteínas de carga neta negativa e incapaces de atravesar la membrana. Corresponden a los aniones orgánicos simbolizados como  $A^-$  en la figura. De esta forma, una membrana se polariza cuando en el lado interno priman los aniones orgánicos y por fuera lo hacen iones positivos, como el potasio o el sodio.

Tal como se puede medir la **diferencia de carga o potencial eléctrico** (ver *Ayuda*) entre los polos de una pila (8), es posible utilizar microelectrodos y un voltímetro (ver *Ayuda*) para medir el potencial eléctrico entre ambos lados de una membrana plasmática (9). Este tipo de potencial tiene una magnitud muy pequeña, razón por la cual se suele usar un amplificador de la intensidad y las medidas se hacen en milivoltios (mV). Este potencial con que habitualmente cuentan las membranas plasmáticas se denomina **potencial de reposo** y tiene un valor aproximado de -65 mV.

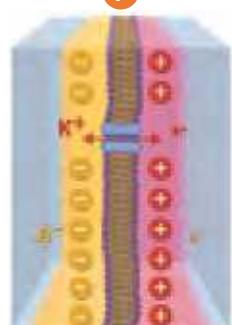
dentro de la “célula” 5 fuera de la “célula”



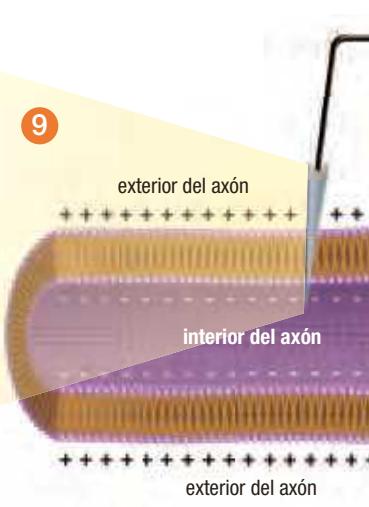
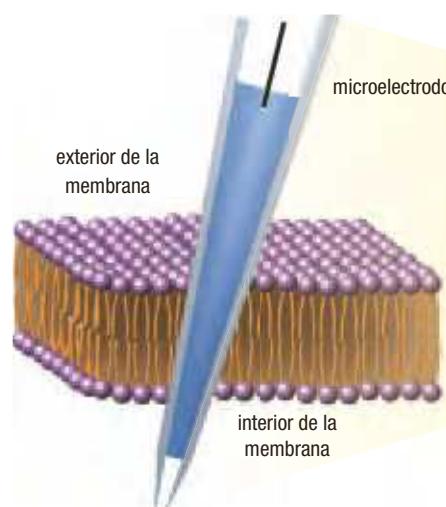
6



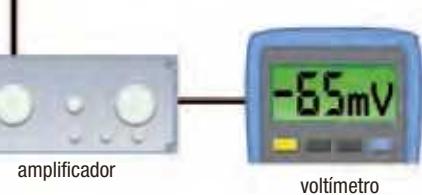
7



8



exterior del axón



amplificador

-65mV

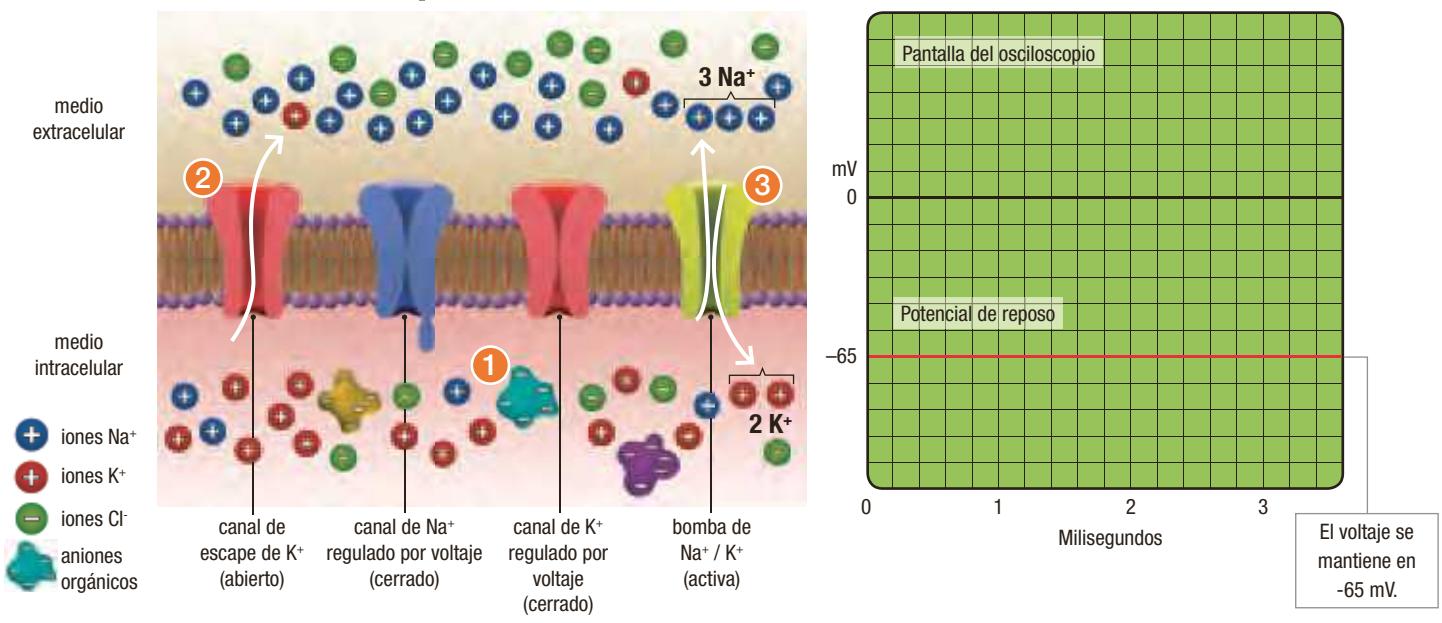
voltímetro

# Reposo no significa falta de movimiento

En una membrana axonal el potencial de reposo se mantiene por tres motivos: (1) la presencia de aniones orgánicos en el citoplasma, (2) iones potasio capaces de difundir hacia el medio extracelular mediante canales de escape (una situación similar a la explicada en la página anterior) y, además, (3) hay una proteína transportadora de membrana, capaz de bombear activamente el sodio hacia el medio extracelular y el potasio de vuelta al citoplasma. Es conocida como bomba de sodio-potasio y requiere ATP para funcionar.

Cuando el potencial de reposo es medido a través del tiempo, se puede observar un registro de voltaje mediante un osciloscopio, que mide la actividad eléctrica de las neuronas y mostrará un valor en torno a -65 mV, tal como se muestra en la figura. Nótese que en la membrana además existen canales específicos de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , que son regulados por voltaje y durante el reposo se mantienen cerrados.

## Membrana axonal en reposo



## Actividad

- La tabla indica las concentraciones de tres de los iones más importantes en la configuración del potencial de reposo. Según estos valores, resuelve las siguientes tareas.

Concentración (mM)		
Tipos de iones	Citoplasma	Medio extracelular
Potasio ( $\text{K}^+$ )	100	5
Sodio ( $\text{Na}^+$ )	15	150
Cloruro ( $\text{Cl}^-$ )	13	150

- ¿Cuál es la dirección hacia la que tiende a difundir cada ion?
- Explica por qué la polaridad de la membrana tiende a ser negativa en el interior y positiva en el exterior.
- ¿Qué consecuencia en la polaridad de la membrana tendría la apertura repentina de los canales de sodio?
- Existen hormonas cuya función es regular el nivel de sodio y el de protones en el medio extracelular de las células. Segundo lo anterior, ¿consideras que se justifica? Explica.

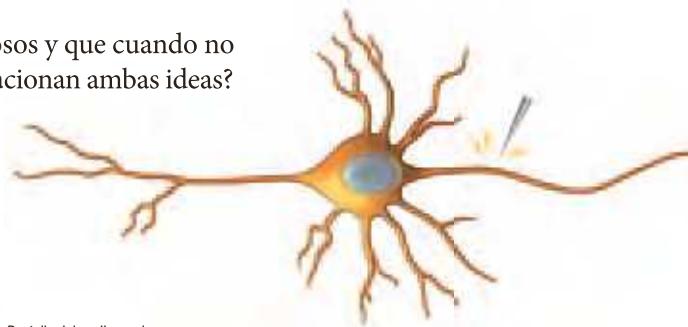
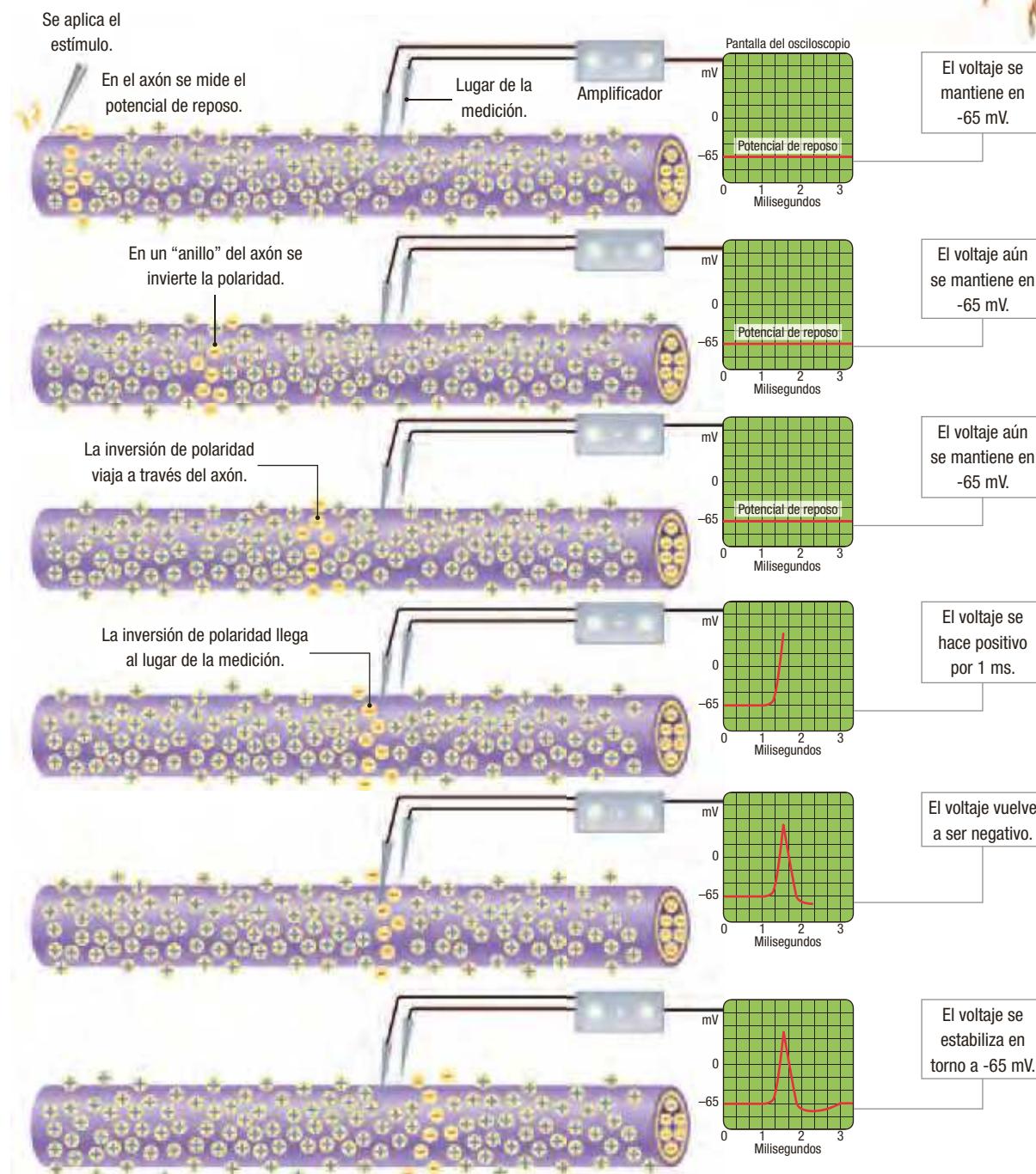
## Para GRABAR

El **potencial de reposo** es la diferencia de potencial eléctrico que presenta la membrana plasmática del axón cuando no está transmitiendo impulsos nerviosos. Su valor aproximado es de -65 mV.

# Cuando un axón lleva un impulso, la polaridad de su membrana se invierte brevemente

Sabemos que los axones transportan mensajes llamados impulsos nerviosos y que cuando no lo hacen, su potencial de reposo tiene un voltaje de -65 mV. ¿Cómo se relacionan ambas ideas?

En la siguiente figura se observa lo que ocurriría con el registro del voltaje a través del tiempo si en uno de los extremos de un axón se aplicara un estímulo y se representara la secuencia de cambios mientras se transporta el impulso nervioso hacia el otro extremo.



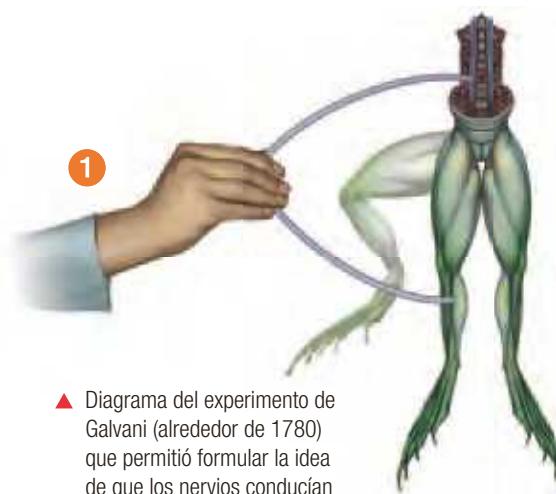
A esta inversión temporal de la polaridad, de tres milisegundos de duración, que se desplaza a lo largo del axón se le denomina **potencial de acción** y fue descubierto en 1952 por los fisiólogos ingleses Huxley y Hodgkin.

# Confirmando una hipótesis sobre el impulso nervioso

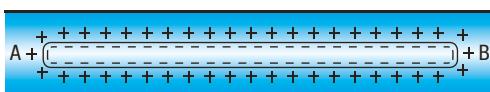
## Antecedentes históricos para dar explicación a una idea “eléctrica”

La relación entre los fenómenos eléctricos y la conducción de las señales nerviosas se remonta a los experimentos desarrollados por Luigi Galvani alrededor de 1780. Este fisiólogo italiano demostró que se podía conseguir que las patas de una rana se contrajeran al aplicar descargas eléctricas en los nervios que llegaban a sus músculos, describiendo el fenómeno como “electricidad animal” (1). Años después, gracias a Alessandro Volta (el mismo que inventó la pila eléctrica), se supo que esta electricidad no era diferente a la observada en otros fenómenos eléctricos. En 1843, Emil Heinrich du Bois-Reymond demostró que el sistema nervioso utilizaba electricidad para comunicar distintas partes del cuerpo. Finalmente, fue Hermann von Helmholtz quien midió la velocidad del impulso nervioso, aunque no logró explicar por qué era mucho más lento que la velocidad de la electricidad que viajaba por un cable eléctrico.

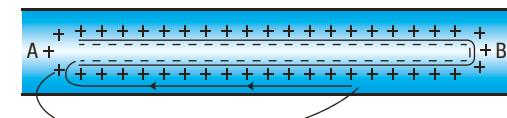
En la primera mitad del siglo XX, la idea predominante sobre esta conducción pertenecía a Julius Bernstein, quien explicó que no se trataba de una corriente eléctrica propiamente tal, sino de una neutralización temporal en la polaridad de la membrana, debida a un cambio en la permeabilidad al ion potasio. Para los fisiólogos de aquel tiempo, el potencial de acción consistía en una pérdida de la polaridad y no en una inversión de la polaridad (2).



▲ Diagrama del experimento de Galvani (alrededor de 1780) que permitió formular la idea de que los nervios conducían electricidad.



▲ Dibujo de Bernstein, de 1902, que describe su hipótesis sobre la naturaleza del impulso nervioso. Este esquema representa a una célula excitable intacta, en la que no se produce un flujo de cargas.



▲ En cambio, cuando se provocaba un “daño” en la fibra, como aparece en el extremo A de este esquema, según Bernstein las cargas se ponían en contacto y se establecía un flujo de electricidad medible.

## Antecedentes

Dos fisiólogos ingleses, Andrew Huxley y Alan Lloyd Hodgkin, tras conocer el trabajo de sus predecesores, decidieron abordar la pregunta de fondo:

¿En qué consiste el potencial de acción?

Tal como lo plantean en su publicación de 1939, “este potencial se cree que surge en la membrana, la que se sitúa entre el citoplasma del axón y el medio externo. Si esta teoría es correcta, será posible medir el potencial de acción entre un electrodo dentro de la fibra nerviosa y el fluido conductor en el exterior”.

A la fecha, nadie había registrado un potencial de acción, aunque se suponía que las neuronas lo utilizaban como el principal o el único medio de transporte de información. Huxley y Hodgkin decidieron poner a prueba su hipótesis.

## ¿Qué hicieron?

Como los axones humanos son muy delgados, Huxley y Hodgkin trabajaron con axones gigantes de calamar de la especie *Loligo forbesi*, los que tienen un diámetro cercano al milímetro (ver figura).

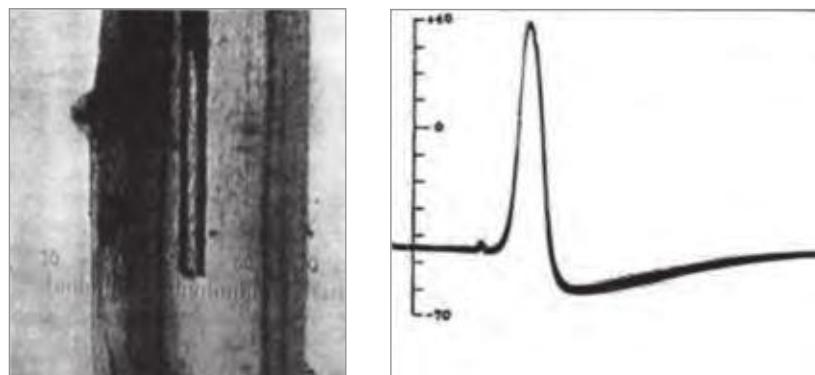
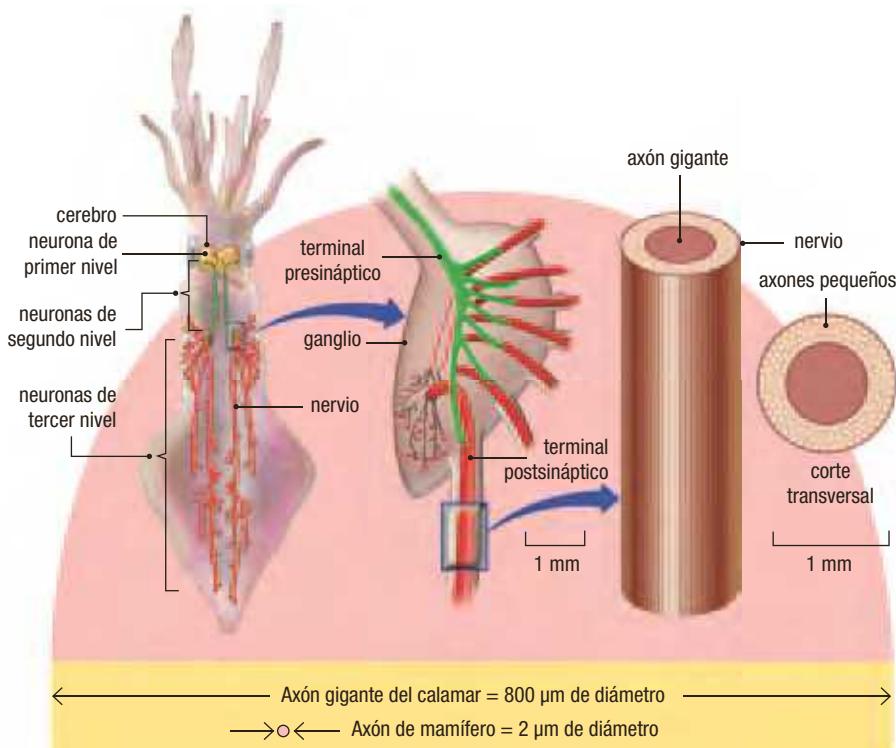
Tal como se explica en la página 35, los investigadores pusieron un electrodo dentro del axón y otro por fuera, consiguiendo el primer registro de un potencial de acción.

Tras obtener como resultado un **cambio brevísimo de polaridad** (tres milisegundos) en la membrana, fue posible concluir que el potencial de acción consiste en una depolarización de más de 90 mV de magnitud, lo que permitió derribar la hipótesis de Bernstein.

Tal conclusión llevó a nuevas preguntas:

- ¿Qué es lo que altera la polaridad?
- ¿Es solo el potasio?
- ¿Por qué es tan breve?
- ¿Pierde fuerza en la medida que corre por el axón?

Estudios posteriores desarrollados por los mismos investigadores permitieron conocer que durante los tres milisegundos que dura el potencial de acción se producen dos cambios sucesivos en la permeabilidad de la membrana: primero relativo al paso del sodio y luego al paso del potasio. Tal evidencia les permitió hipotetizar la existencia de canales iónicos en la membrana que, como hoy sabemos, constituyen la base molecular del impulso nervioso. Andrew Huxley y Alan Lloyd Hodgkin ganaron el Premio Nobel de Fisiología en 1963.



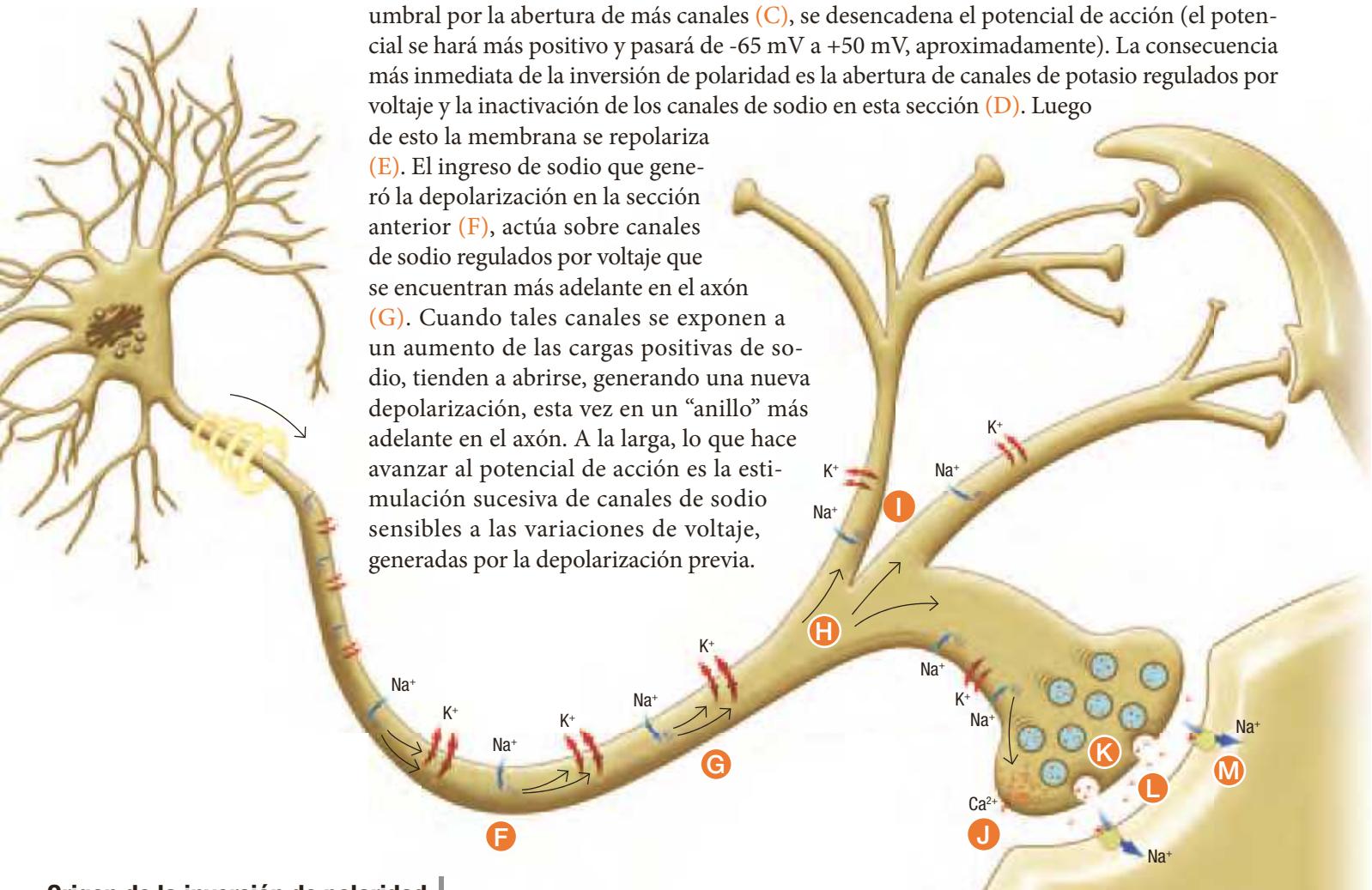
▲ Estas dos figuras aparecen en la publicación original de Huxley y Hodgkin en 1939. A la izquierda, un trozo de axón de calamar en el que se ve nítidamente el microelectrodo en su interior. A la derecha, el primer registro de un potencial de acción.

## Actividad

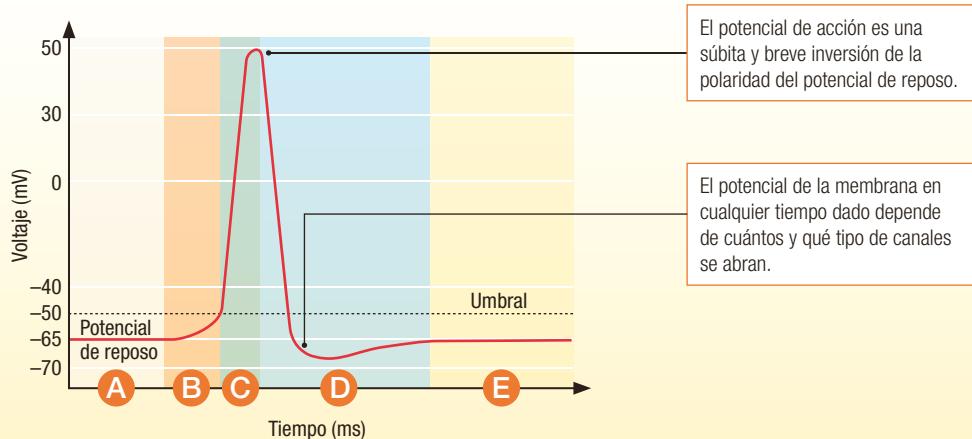
1. Luego de leer estas páginas, **aplica** lo leído y responde individualmente las siguientes preguntas.
  - a. ¿Es lo mismo decir “cambio de polaridad” que “potencial de acción”? **Explica**.
  - b. ¿Qué evidencias previas parecen haber originado el problema abordado por Huxley y Hodgkin?
  - c. Utilizando un destacador, subraya la hipótesis que los investigadores ingleses usaron antes de trabajar con los axones de calamar.
  - d. Huxley y Hodgkin se vieron obligados a trabajar con axones de calamar en vez de axones de mamíferos o de humanos. ¿En qué medida tal limitación podría haber afectado la validación de sus hipótesis?
  - e. **Identifica** la nueva hipótesis sobre el origen del potencial de acción que surgió tras los experimentos desarrollados en 1939 y que permitió explicar la propagación del impulso nervioso (lo vimos en la unidad). Escríbelas en tu cuaderno con tus propias palabras.

# El impulso nervioso es un potencial de acción que se traslada a lo largo del axón

En un axón en reposo, el potasio puede circular a través de los canales de escape (A). Al llegar un impulso nervioso se abren los canales de sodio de una porción o “anillo” de axón, ingresa el sodio y la membrana se depolariza (B). Cuando la depolarización alcanza un nivel umbral por la apertura de más canales (C), se desencadena el potencial de acción (el potencial se hará más positivo y pasará de -65 mV a +50 mV, aproximadamente). La consecuencia más inmediata de la inversión de polaridad es la apertura de canales de potasio regulados por voltaje y la inactivación de los canales de sodio en esta sección (D). Luego de esto la membrana se repolariza (E). El ingreso de sodio que generó la depolarización en la sección anterior (F), actúa sobre canales de sodio regulados por voltaje que se encuentran más adelante en el axón (G). Cuando tales canales se exponen a un aumento de las cargas positivas de sodio, tienden a abrirse, generando una nueva depolarización, esta vez en un “anillo” más adelante en el axón. A la larga, lo que hace avanzar al potencial de acción es la estimulación sucesiva de canales de sodio sensibles a las variaciones de voltaje, generadas por la depolarización previa.



## Origen de la inversión de polaridad



Cuando el axón se divide en varias ramificaciones terminales (H), la propagación del potencial de acción se mantiene de la misma manera a lo largo de cada una de ellas (I), sin que se vea alterada su intensidad, niveles de depolarización o rapidez. Dicho de otro modo, un potencial de acción propagado en un axón se puede transformar en tantos potenciales de acción propagados como ramificaciones terminales tenga la neurona.

Cuando el potencial de acción llega al botón sináptico, se activan canales regulados por voltaje del ion calcio (J). Como el calcio está más concentrado en el medio extracelular que en el intracelular, tiende a ingresar rápidamente al citoplasma del botón. Como antes se mencionó, cada botón posee numerosas vesículas llenas de moléculas de neurotransmisores.

Cuando el calcio ingresa al botón, actúa sobre una serie de proteínas que coordinan la exocitosis de vesículas que están más cerca de la membrana plasmática (K).

A medida que las vesículas liberan sus neurotransmisores, estas moléculas pueden atravesar la hendidura sináptica y alcanzar la membrana de otra neurona (L). En esta membrana existen receptores que se activan con los neurotransmisores de la misma manera que una cerradura lo hace con una llave y al ocurrir esto se posibilita la apertura de un canal iónico asociado (M). Si el receptor-canal es específico para sodio, se producirá una depolarización, con lo que podría iniciarse un nuevo potencial de acción. Si el receptor-canal es específico para cloruro, el ingreso de este ion negativo generará una **hiperpolarización** que detendrá cualquier intento de propagar el impulso nervioso (el potencial se hará más negativo que -65 mV).

## AYUDA

**Canal de escape:** canal iónico específico, abierto durante el reposo, que permite la difusión facilitada de un ion.

**Bomba de sodio-potasio:** transportador activo de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , que mantiene el gradiente que origina la polaridad.

**Canal regulado por voltaje:** canal iónico específico que se abre cuando se invierte la polaridad de la membrana.

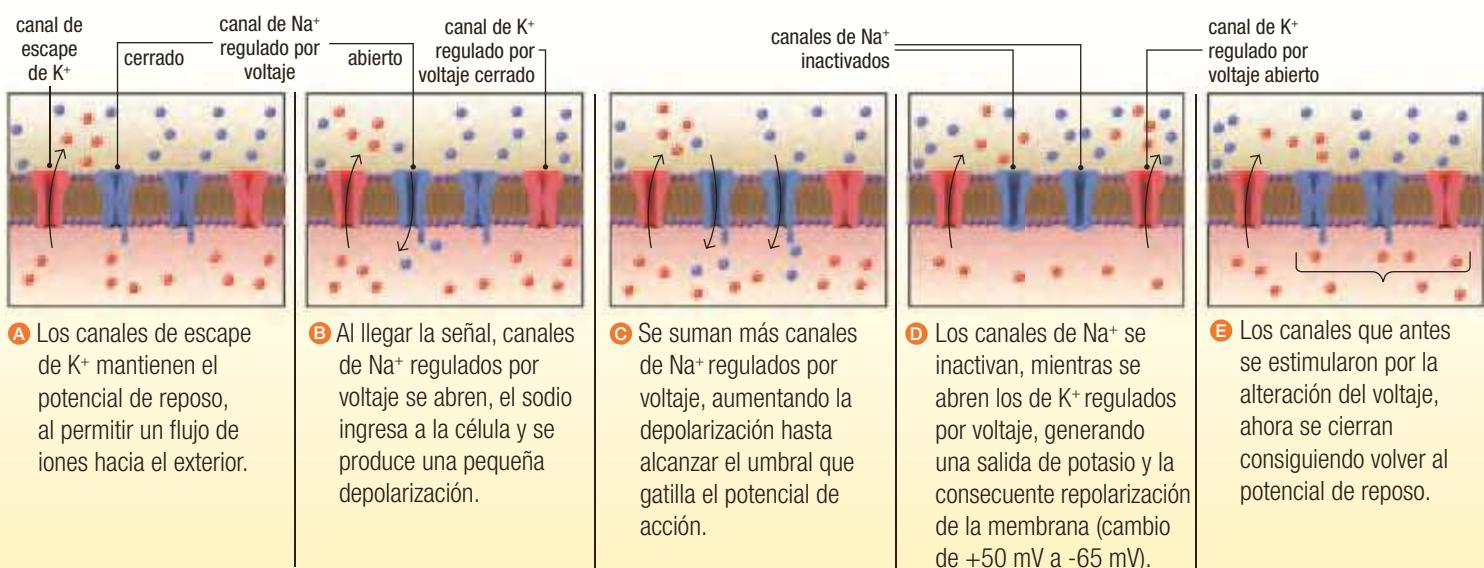
**Receptores-canal:** proteínas que cambian de forma al unirse un neurotransmisor y sirven de canal para el paso de un ion específico.

## Actividad

1. **Imagina** la siguiente situación. Se disponen dos juegos de microelectrodos: uno se ubica en el comienzo del axón, contiguo al cono axónico, y otro en una ramificación terminal ubicada a un metro de distancia ( $d = 1 \text{ m}$ ). Al estimular el cono axónico, se desencadena un potencial de acción que se detecta en los dos voltímetros utilizados. El tiempo transcurrido entre un registro y el siguiente es de una décima de segundo ( $t = 0,1 \text{ s}$ ).
2. **Dibuja** en tu cuaderno un esquema del procedimiento.
3. **Calcula** la rapidez promedio ( $v$ ) del impulso nervioso ( $v = d/t$ ).
4. **Mide** la distancia desde distintos puntos de tu piel hasta la cabeza y calcula el tiempo requerido para que tu cerebro reciba señales provenientes desde cada punto, considerando los valores entregados.

## Para GRABAR

El **impulso nervioso** es un potencial de acción que se traslada a lo largo del axón y puede traspasarse a otra neurona mediante la sinapsis química.



## ETAPAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
3. Procedimiento experimental.
4. Obtención de resultados.
5. Interpretación de resultados.
6. Elaboración de conclusiones.

## ¿CÓMO SE RELACIONA EL PROBLEMA CON LA HIPÓTESIS?

El problema es la pregunta que da origen a una investigación y la hipótesis es la afirmación anticipada que da respuesta a esta pregunta y que se pone a prueba durante el desarrollo del experimento.

## ¿CÓMO RELACIONARLOS CORRECTAMENTE?

- Paso 1: observar el fenómeno que se desea estudiar e identificar las variables.
- Paso 2: relacionar las variables en una pregunta.
- Paso 3: formular una hipótesis a partir de una predicción.
- Paso 4: poner a prueba la hipótesis y desarrollar el experimento.
- Paso 5: enfrentar la hipótesis con la interpretación de los resultados obtenidos.
- Paso 6: elaborar una conclusión que dé respuesta al problema planteado.

Uno de los hechos más llamativos en la historia del conocimiento del sistema nervioso fue aportado por el farmacólogo alemán Otto Loewi, quien, trabajando en Austria durante la década de 1920, demostró que la transmisión sináptica entre los nervios y el corazón ocurre mediada por una sustancia química. En aquel tiempo se tenía conocimiento de que la transmisión neuronal tenía naturaleza eléctrica y gracias a Ramón y Cajal también se sabía que la unión entre neuronas era discontinua. Se desconocía, sin embargo, de qué forma el impulso nervioso era traspasado desde una célula a otra. Algunos investigadores habían propuesto la “hipótesis neurohumoral”, vale decir, que el impulso nervioso se transmitía mediante una sustancia química y fue Loewi quien finalmente la puso a prueba.

**Planteamiento del problema**

El problema surge de un cuestionamiento sobre lo que ya se sabe y no se comprende. En la medida que este problema u otros relacionados ya han sido investigados, las respuestas que el investigador sugiere tendrán mayor fundamentación. Las hipótesis son precisamente respuestas a los problemas planteados, que surgen de la creatividad del investigador, pero siempre basadas en los antecedentes que ya existen sobre el tema.

Basados en los trabajos de Loewi, abordaremos el siguiente problema:

¿Cómo se transmite el impulso nervioso entre una neurona y un músculo?

Esta pregunta le surgió a Loewi al constatar que el impulso nervioso atraviesa varias neuronas, como si fueran una sola, siendo capaz de activar o desactivar la contracción de un músculo. En ambos casos, la unión entre ambas células posee una estrechez microscópica, lo que dificultaba sobremanera su estudio. Al mismo tiempo, durante la década de 1920 ya se conocía la influencia de las enzimas, hormonas y anticuerpos en las funciones celulares, todas ellas orientadas a mantener el equilibrio del organismo. Loewi sostenía que tal como las condiciones de funcionamiento de un órgano podían cambiar con la aplicación de alguna sustancia externa, como un medicamento o una toxina, de la misma forma era natural pensar que las sinapsis podían estar mediadas por sustancias químicas.

**Formulación de hipótesis**

Para realizar sus experimentos, Loewi se basó en varios supuestos:

- Al llegar al final de un nervio, el impulso nervioso de cada neurona gatilla la liberación de una sustancia química, que es captada por el músculo, determinando su estimulación.
- Hay una pequeña distancia entre la membrana de la célula que libera la sustancia transmisora (la neurona) y la que la recibe (la célula muscular).
- La sustancia transmisora liberada puede difundir desde la zona de conexión entre ambas células hacia la solución en la que están inmersas.

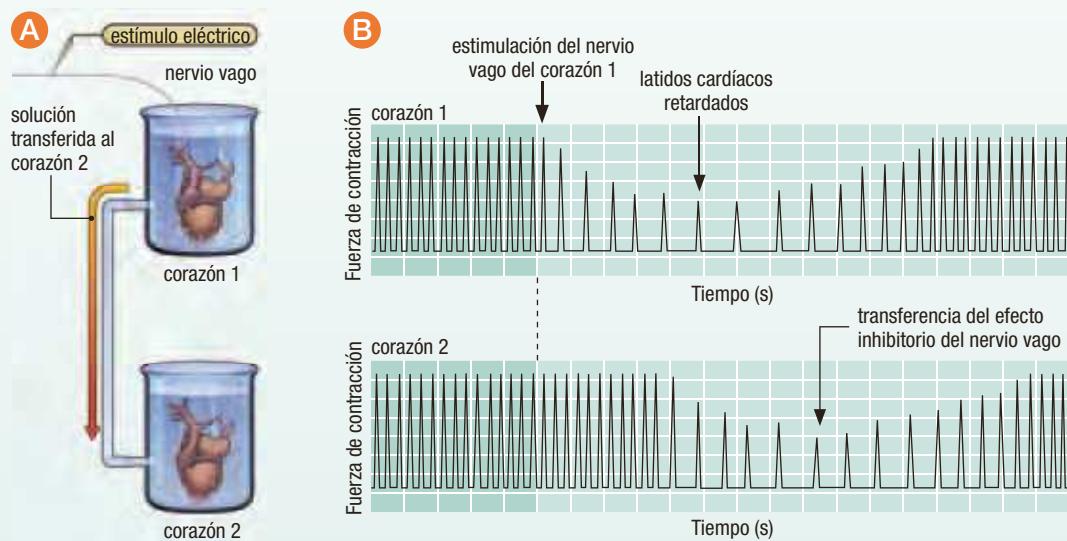
De esta manera, construyó la hipótesis central:

*“Si la transmisión del impulso nervioso depende de una sustancia química que difunde entre una célula y otra en una solución, entonces al poner en contacto las sustancias químicas transmisoras allí difundidas con células musculares cardíacas, estas podrían verse afectadas aun cuando no estén unidas a un nervio”.*

## Procedimiento experimental y obtención de resultados

El corazón cuenta con dos tipos de uniones nerviosas: una acelera su latido y la otra lo retarda. Esta última es regulada por el nervio vago. Loewi aisló el corazón de una rana manteniendo la unión con el nervio vago intacta (corazón 1 en la figura). Luego estimuló el nervio eléctricamente y observó el efecto esperado: el retardo del latido cardíaco. A continuación, tomó la solución que bañaba al corazón y la puso en contacto con un segundo corazón de rana aislado (corazón 2), hallando que el latido de este también se retardaba.

El siguiente esquema grafica el diseño experimental utilizado por Loewi (A) y los resultados obtenidos para cada corazón (B).



▲ Otto Loewi (1873 – 1961).

## Interpretación de resultados

- Si la sustancia química llega al corazón 1 por el nervio vago, ¿cómo llega al corazón 2?
- ¿Qué efecto generó la liberación de esta sustancia química sobre el músculo cardíaco?
- Según estos resultados, ¿cómo resultó ser la hipótesis de Loewi?
- ¿Cómo darías respuesta al problema de investigación, considerando la hipótesis formulada y los resultados obtenidos por Loewi?

## Elaboración de conclusiones

A partir de la interpretación de los resultados podemos decir que cuando el impulso nervioso llega al final de un nervio a través de sus decenas o cientos de neuronas, se libera algún tipo de sustancia química que difunde de una célula a otra, generando, en este caso, una respuesta que retardó el latido del corazón 1. Esta sustancia, al transferirse de un corazón al otro, consiguió el mismo efecto que la unión física del nervio vago con el corazón 2.

El componente activo, el que Loewi llamó *vagusstoff* (sustancia del vago, en alemán), resultó ser el neurotransmisor acetilcolina, que se traspasó del nervio vago del corazón 1 al 2, aparentemente en una pequeña concentración.

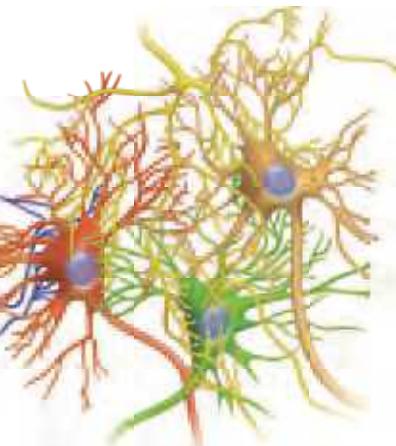
En síntesis, el experimento de Otto Loewi permitió concluir lo siguiente:

- Lo que se transfiere entre las neuronas del nervio y el músculo cardíaco es una sustancia química.
- El efecto sobre el músculo cardíaco ocurre con una baja concentración de la sustancia transmisora.

## Ampliando MEMORIA

Una de las cuestiones más llamativas del experimento de Loewi es que se le habría ocurrido durante un sueño. Más allá de la anécdota, es efectivo que para diseñar un experimento científico es necesario utilizar una buena cuota de creatividad.

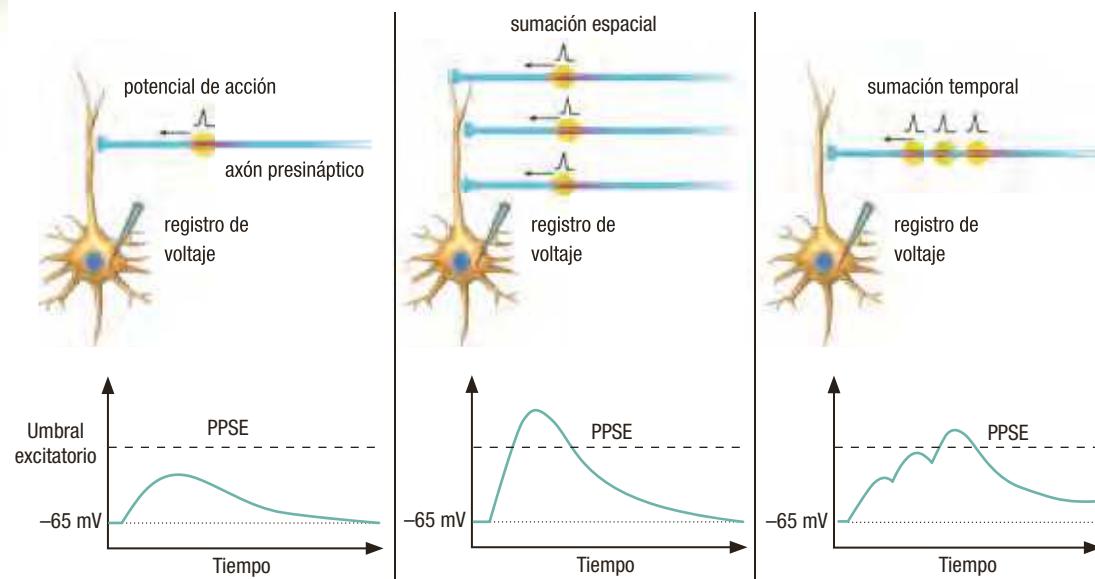
# Condiciones para que la sinapsis logre traspasar el impulso nervioso



▲ Cada neurona está interconectada con otras mediante uniones sinápticas.

Luego de transportar un impulso nervioso, el botón sináptico puede liberar neurotransmisores que provoquen potenciales postsinápticos excitatorios (PPSE) mediante depolarizaciones sucesivas, mientras que otros botones pueden producir potenciales postsinápticos inhibitorios (PPSI) mediante hiperpolarizaciones.

La posibilidad de que las sinapsis consigan que la neurona postsináptica propague el impulso estará determinada por la sumación de distintos potenciales, tal como aparece en el siguiente esquema.



En este caso, un solo potencial de acción que llega a una dendrita produce un PPSE, pero no es suficiente para desencadenar un potencial de acción en la neurona postsináptica porque no se alcanza el valor umbral del potencial de acción.

Tres potenciales de acción que llegan en forma simultánea desde tres botones distintos pueden generar los PPSE suficientes como para iniciar el potencial de acción en la neurona postsináptica. A esto se le llama **sumación espacial**.

Un solo botón sináptico podrá generar una **sumación temporal** de potenciales sucesivos en la misma sinapsis hasta alcanzar el **umbral de depolarización** necesario para producir un potencial de acción.

Una sola dendrita puede estar unida a cientos de botones sinápticos provenientes de muchas neuronas (ver figura lateral). Como algunos botones generan PPSE y otros PPSI, será la suma integrada de tales potenciales lo que determine, habitualmente en el cono axónico, si la depolarización alcanza el nivel umbral para transferirse a lo largo del axón. En el fondo, la primera depolarización del axón es producto de la integración de señales recibidas en el soma y transferidas al cono axónico.

## AYUDA

Recuerda que no todas las sinapsis son excitatorias. Las sinapsis inhibitorias se producen a partir de neurotransmisores inhibitorios, los que se secretan a partir de vesículas activadas al llegar un potencial de acción al botón sináptico.

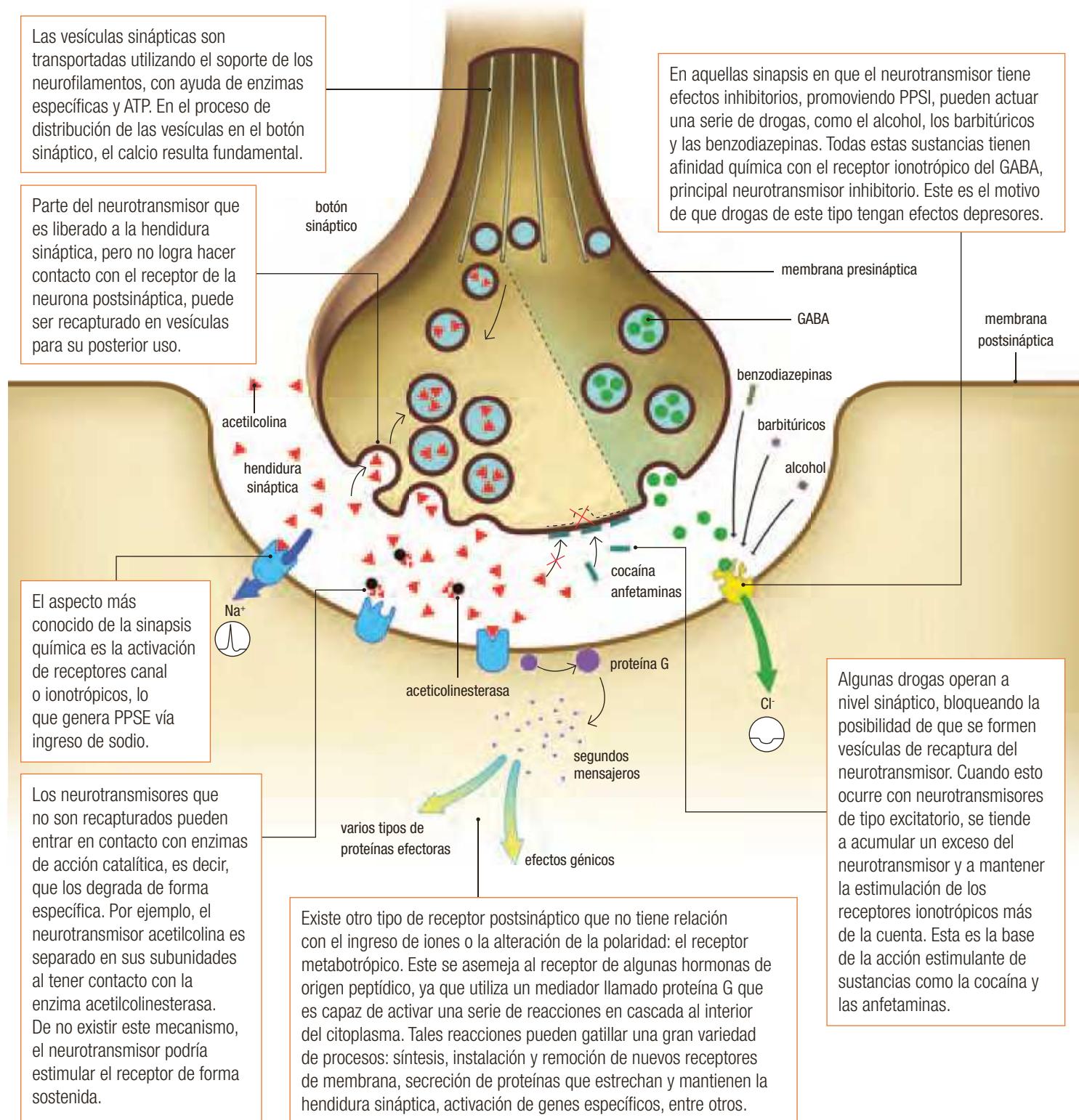
## Actividad

1. **Observa** la siguiente figura. **Interpreta** su significado y explica tu razonamiento.
2. A partir del **análisis** del esquema anterior, menciona dos mecanismos que podrían explicar la respuesta obtenida.
3. ¿Es posible que la dendrita sea la que le traspase un potencial al botón? **Fundamenta** tu respuesta.

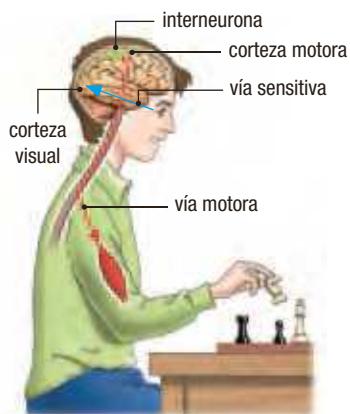


# Efectos y consecuencias de la sinapsis química

Existe un movimiento permanente de vesículas entre el soma y los botones sinápticos. Hacia el botón las vesículas van cargadas de neurotransmisores. Hacia el soma van vacías, para volver a llenarse en el aparato de Golgi. Es importante destacar que un botón sináptico libera neurotransmisores de un solo tipo. El que se representen distintas alternativas en este esquema solo tiene un objetivo explicativo.



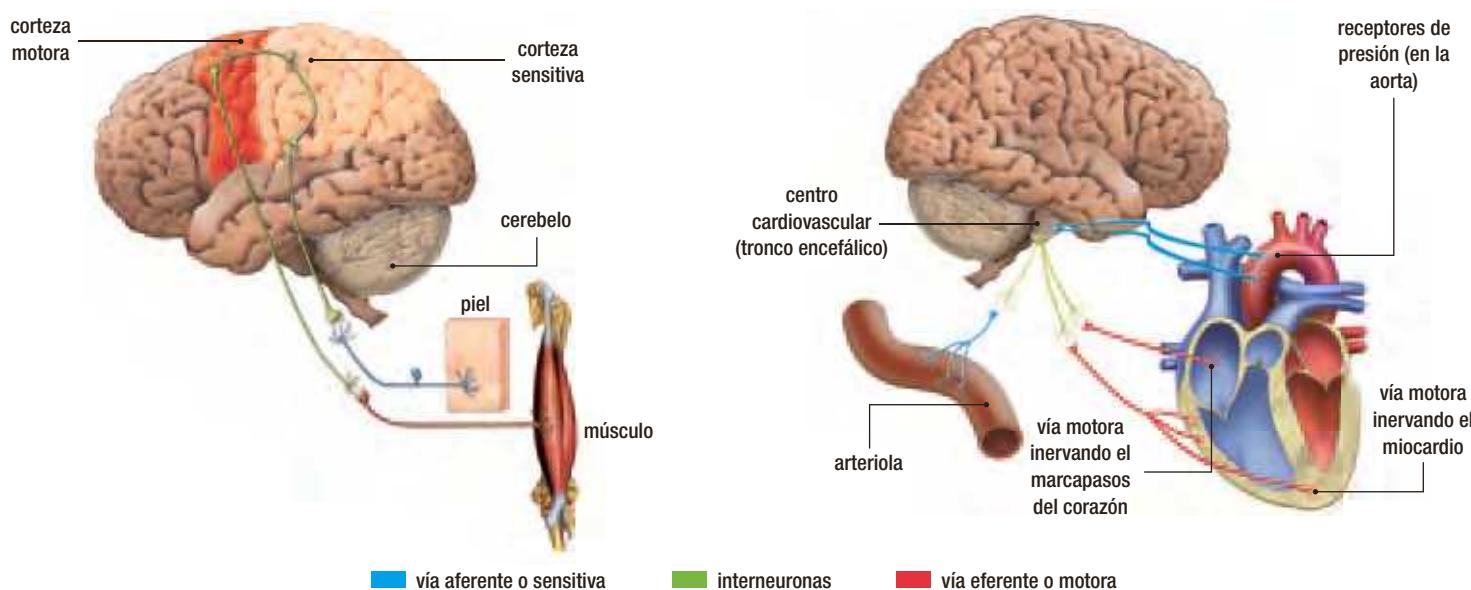
# Las neuronas se organizan para responder a los estímulos externos



▲ El niño “ve” la posición de las piezas de ajedrez, su cerebro piensa la jugada y la corteza motora envía impulsos a los músculos.

En términos generales, las neuronas pueden llevar impulsos al interior de **órganos** o a lo largo de **nervios**. Los órganos nerviosos agrupan millones de neuronas interconectadas entre sí y, entre muchas funciones, coordinan la información proveniente de órganos receptores de estímulos con los órganos que ejecutan las respuestas frente a tales estímulos. Los órganos capaces de relacionar las señales sensitivas con las respuestas correspondientes se llaman **centros integradores** y constituyen el **sistema nervioso central**. El **cerebro**, el **tronco encefálico** y la **médula espinal** son algunos de los órganos principales del sistema nervioso central.

En el ejemplo de la figura lateral, el estímulo visual generado por una jugada de ajedrez es captado por los receptores visuales ubicados en los ojos. Cuando eso ocurre, impulsos nerviosos viajan a través de nervios específicos, desde los ojos hasta el área visual del cerebro. Aquí, los impulsos son traspasados mediante sinapsis hasta el área cerebral motora desde donde parten impulsos hacia la médula espinal y luego son los nervios motores los que llevan impulsos nerviosos hasta uno o más músculos del brazo y la mano. A continuación se esquematizan dos ejemplos de esta organización, uno que contempla actividad motora voluntaria (1) y el otro actividad motora involuntaria (2).



1

Esquema que resume la relación entre los receptores de la piel, la corteza cerebral sensorial, la corteza motora y un músculo esquelético asociado a la piel que fue estimulada.

2

Esquema que resume la relación entre los receptores de presión de la aorta, el tronco encefálico y dos efectores diferentes: el músculo liso de las arteriolas y el músculo cardíaco.

## Actividad

1. A partir de la correcta interpretación de los dos ejemplos, elabora un cuadro comparativo que considere los siguientes criterios:
  - Receptor.
  - Centro integrador.
  - Efector.
2. ¿Qué consecuencia tiene para una persona la interrupción de la vía aferente o sensitiva? Y la interrupción de la vía eferente o motora? Explica.

# El impulso viaja a lo largo de las vías neuronales

En la siguiente figura se explica cómo se produce, transmite y traspasa el impulso nervioso a lo largo de las vías neuronales.

En las tres etapas que se esquematizan hay una porción de entrada, en la que se genera la depolarización umbral (ver página 42); otra porción conductora, que habitualmente es el axón, en que las múltiples depolarizaciones se integran mediante sumación, y la porción de salida, que puede traducirse en la exocitosis de neurotransmisores, o bien en la respuesta generada por el efecto específico.

## Estímulos sensoriales

Un **receptor sensorial**, en este caso un huso muscular (1), sensible al estiramiento sufrido por un músculo, genera depolarizaciones sucesivas en la medida que el receptor capta los estímulos (2). Al alcanzar el umbral, se desencadena el primer potencial de acción en la **neurona sensitiva** (3). Este potencial se transporta como impulso nervioso a lo largo del axón (4), hasta llegar al botón sináptico, donde la depolarización de la membrana gatilla la salida de neurotransmisores (5).

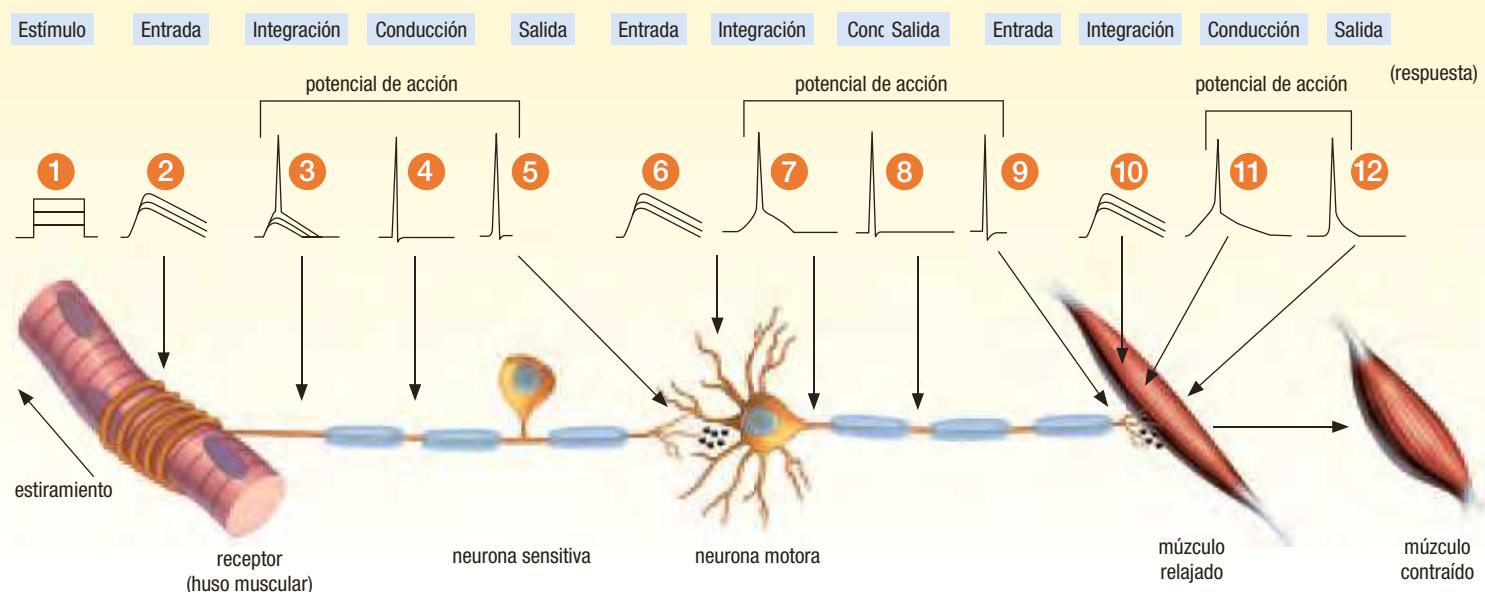
La forma en que un receptor genera depolarización se estudiará en la siguiente unidad.

## Estímulos motores

En la medida en que los botones sinápticos de neuronas sensitivas o interneuronas producen una sumación de potenciales (6), se puede alcanzar el umbral necesario para ocasionar un nuevo “primer potencial de acción” (7). El soma y más específicamente el cono axónico integra las depolarizaciones y define la transmisión del impulso nervioso por el axón (8). Cuando el potencial llega a los botones sinápticos de la **neurona motora**, libera neurotransmisores, esta vez, en la vecindad de la membrana de un músculo (9).

## Estímulos del músculo

Los **músculos** también son sensibles a niveles de depolarización umbral. Si se produce la suficiente liberación de neurotransmisores excitatorios (10), la membrana de la célula muscular puede generar un potencial de acción (11) que provoca una serie de modificaciones citoplasmáticas, capaces de desencadenar la **contracción** longitudinal del músculo (12).



## Ampliando MEMORIA

La **mielina**, sustancia presente en algunas neuronas, actúa como un aislante del axón que acelera entre 5 y 50 veces la velocidad de transmisión del impulso nervioso a través del axón de las fibras mielinizadas.

## Para GRABAR

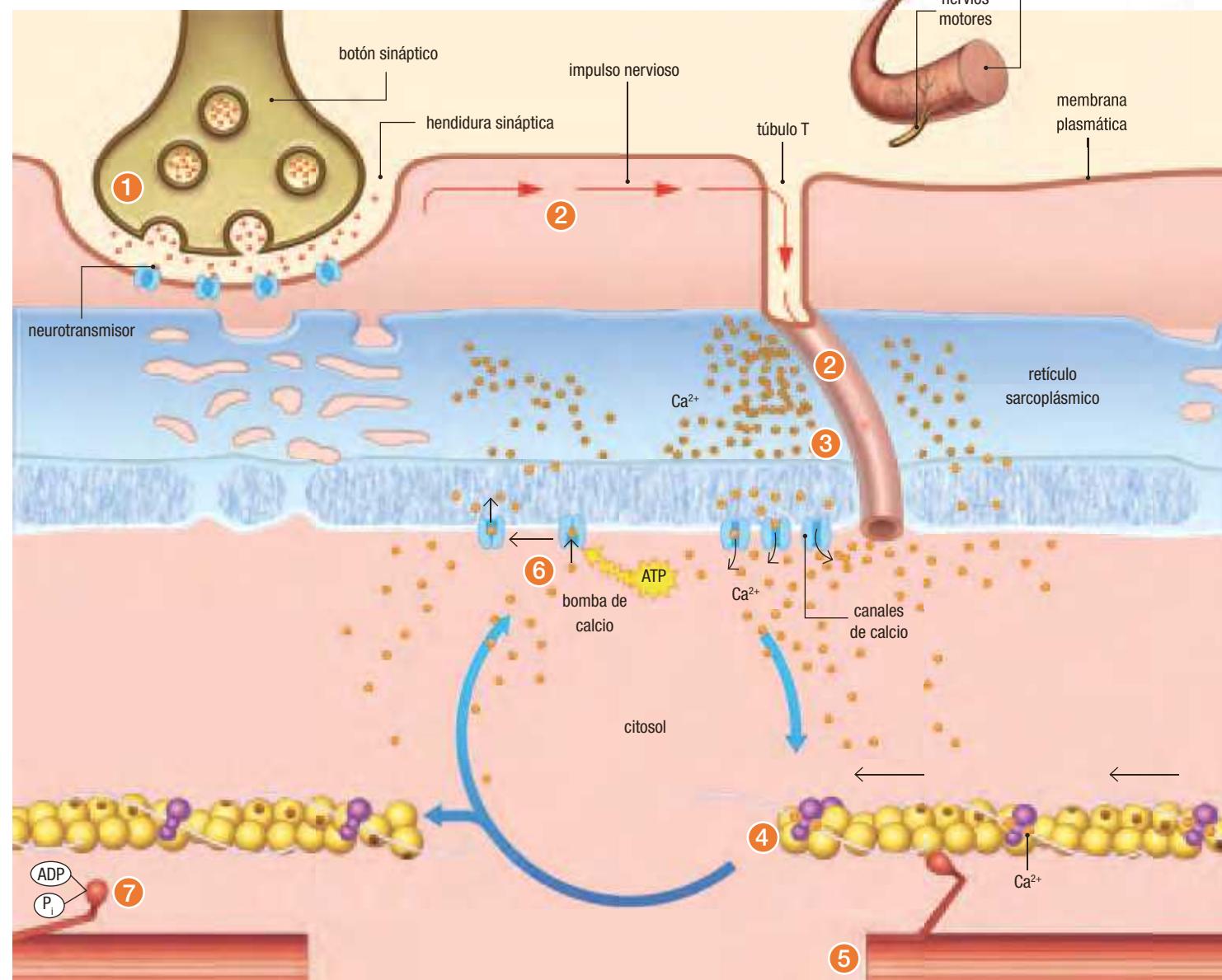
El potencial de acción generado en un receptor podrá transmitirse hasta un músculo siempre y cuando las sinapsis de la vía neuronal alcancen depolarizaciones umbrales.

# La contracción muscular es consecuencia de la sinapsis

## Ampliando MEMORIA

El neurotransmisor que se utiliza en las sinapsis entre neuronas y células musculares esqueléticas es la acetilcolina. Su descubrimiento les valió el Premio Nobel de Fisiología a Henry Dale y Otto Loewi en 1936.

Cuando un botón sináptico libera neurotransmisores en la hendidura sináptica (1), puede producir una depolarización que se propaga como potencial de acción a lo largo de la membrana plasmática de la célula muscular (2). Las células musculares esqueléticas poseen unos conductos membranosos (túbulo T) que transmiten el potencial de acción hasta el retículo sarcoplásmico (retículo endoplasmático liso de las células musculares). Cuando esto ocurre, se abren canales de  $\text{Ca}^{2+}$  regulados por voltaje, con lo que el calcio se traslada desde el retículo hacia el citosol (3). El calcio activa el movimiento de las miofibrillas de actina (4) y miosina (5), estructuras contráctiles del músculo, permitiendo que se desplacen unas respecto a otras. El calcio es recuperado mediante una bomba de vuelta al retículo (6), con lo que deja de estar en contacto con las miofibrillas, liberándolas de su unión temporal (7).



# El sistema nervioso se coordina con el endocrino para regular funciones vitales

Lo que nuestro organismo hace cada mañana al momento de levantarnos de la cama es un buen ejemplo de cómo colaboran mecanismos endocrinos y nerviosos para regular una función tan importante como es la presión sanguínea.

③ El bulbo raquídeo envía impulsos nerviosos directamente al corazón para acelerar la frecuencia cardíaca. También envía impulsos a la médula de la glándula suprarrenal.

④ El hipotálamo estimula a la neurohipófisis o hipófisis posterior a liberar la hormona vasopresina, la que una vez en la sangre podrá entrar en contacto con muchos vasos sanguíneos, especialmente los ubicados en la periferia del cuerpo.

⑤ La médula suprarrenal libera la hormona adrenalina, que actúa sobre el corazón, aumentando la frecuencia del bombeo cardíaco.

② Los receptores de estiramiento ubicados en las arterias aorta y carótida detectan una disminución en la presión arterial y envían impulsos nerviosos al bulbo raquídeo (continuación de la médula espinal) y al hipotálamo (glándula endocrina ubicada en el cerebro).



⑥ La vasopresina induce la contracción de muchos vasos sanguíneos, especialmente vasos periféricos.

① Por efecto de la gravedad, al pasar de la posición horizontal a la vertical la sangre tiende a ser retenida en las extremidades inferiores.

⑦ El aumento de la frecuencia cardíaca y la contracción de los vasos periféricos aumenta la presión sanguínea, neutralizando el efecto del cambio de posición. ¡La respuesta completa dura menos de cinco segundos!

## Actividad

- Considerando el ejemplo anterior de regulación, **identifica** al menos una vía neuronal completa, **describiendo** desde el estímulo inicial hasta la respuesta generada por el efector.

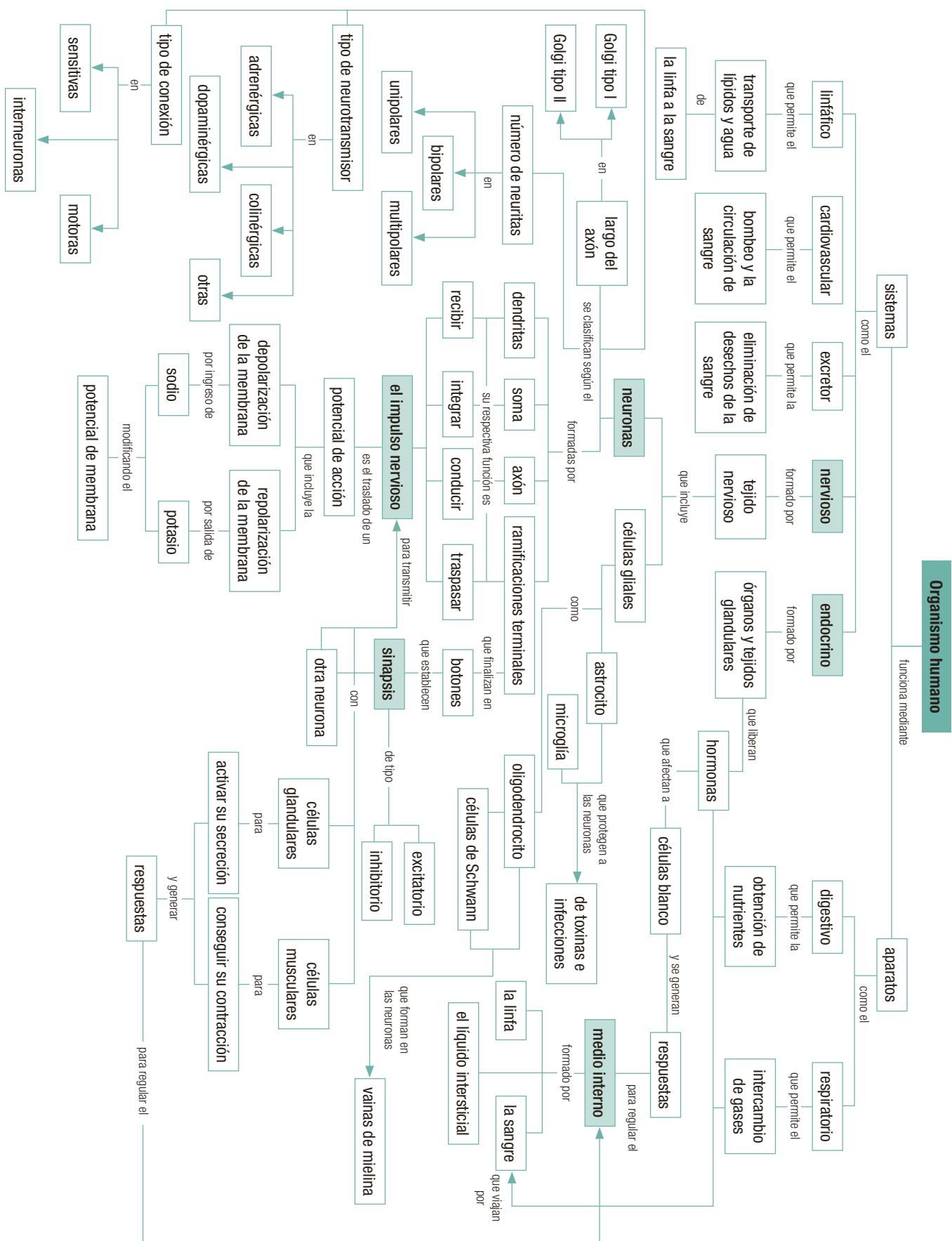
En la siguiente tabla se resumen las principales diferencias entre el modo de responder que tiene el sistema nervioso en relación al endocrino.

	Sistema nervioso	Sistema endocrino
Tipo de señal.	Impulso nervioso.	Hormona.
Medio de transporte.	Membranas axonales.	Sangre.
Rapidez de la señal.	Centésimas de segundo.	Segundos a minutos.
Duración.	Menos de un segundo.	Usualmente minutos.
Especificidad de la respuesta.	Muy específica (células independientes).	Tejidos u órganos completos.

Más allá de las diferencias en sus mecanismos de acción, tal como hemos visto a lo largo de la unidad, los sistemas nervioso y endocrino son los encargados de coordinar, regular e integrar el funcionamiento de todos los sistemas del cuerpo humano.

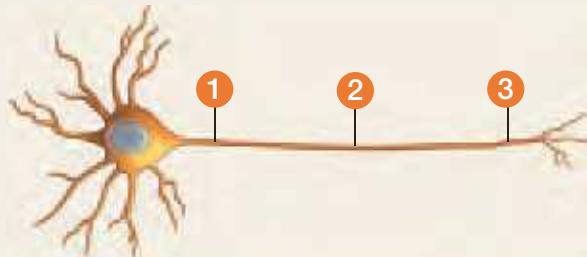
# Organizando favoritos

El siguiente organizador gráfico resume las relaciones entre los principales conceptos abordados en la unidad.



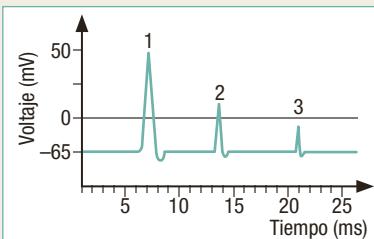
Te invitamos a resolver el siguiente ejemplo de pregunta de análisis que tiene relación con la propagación del impulso nervioso.

1. Luego de gatillarse un potencial de acción al comienzo de un axón de algunos milímetros de largo, el impulso nervioso pasa por los puntos 1, 2 y 3, en los que se mide el voltaje de la membrana en relación al tiempo.

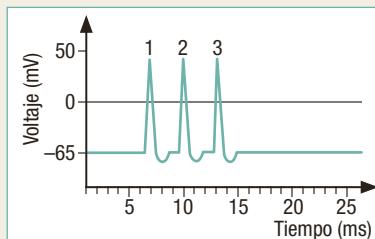


Considerando que la distancia entre 1 y 2 es la misma que entre 2 y 3, ¿cuál de los siguientes gráficos representa correctamente la medición del voltaje de membrana en estos tres puntos en relación al tiempo?

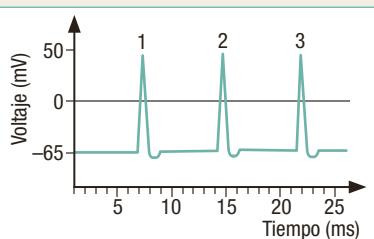
A.



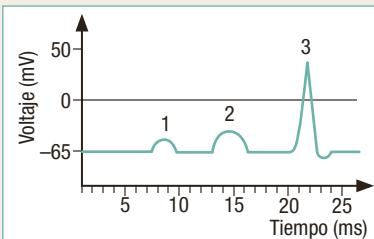
B.



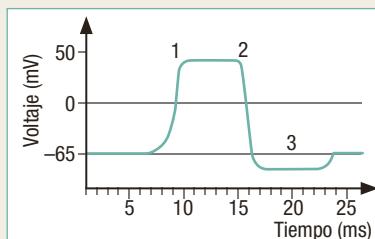
C.



D.



E.



A continuación analicemos las respuestas.

- A. **Incorrecta.** En este gráfico se muestran tres oscilaciones de voltaje, cada una correspondiente a una de las tres mediciones realizadas. Sin embargo, el nivel de depolarización disminuye entre mediciones, lo que no es coherente con la forma de avanzar de un potencial de acción.
- B. **Incorrecta.** Efectivamente se espera que en cada medición se registre el paso de un potencial de acción como los que aparecen en este gráfico. Sin embargo, los tres potenciales de acción aparecen muy próximos unos con otros, si se considera la distancia total recorrida por el impulso nervioso y el hecho de que cada potencial de acción dura menos de 3 ms.

- C. **Correcta.** Se espera que los potenciales de acción aparezcan en las tres mediciones a intervalos regulares, superiores a 3 ms.
- D. **Incorrecta.** El gráfico muestra una suerte de sumación de potenciales del 1 al 3. Pero un potencial de acción se traslada con las mismas características a lo largo del axón.
- E. **Incorrecta.** Cada medición debería detectar potenciales de acción diferentes, pues una depolarización se puede medir en forma aislada respecto de la anterior. Este gráfico, en cambio, muestra una especie de gran potencial de acción que se prolonga por más de 20 ms, cuestión que no es posible.

Entonces la alternativa correcta es C

A	B	C	D	E
1	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

# V

## verificando disco

I. Marca la alternativa que consideres correcta.

1. ¿Cómo se denomina el sistema responsable de trasladar nutrientes de forma tal que todos los órganos puedan realizar su metabolismo?

- A. Linfático.
- B. Digestivo.
- C. Endocrino.
- D. Respiratorio.
- E. Circulatorio.

2. ¿Qué características comunes poseen los sistemas nervioso y endocrino?

- I. Utilizan mediadores químicos.
- II. Sus células pueden ser activadas por impulsos nerviosos.
- III. Ambos pueden activar la secreción de células glandulares.

- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo I y II.
- D. Solo II y III.
- E. I, II y III.

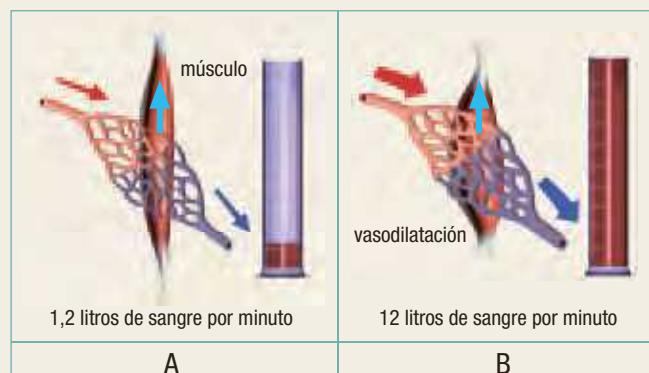
3. ¿Por qué se debería suponer que la pigmentación de la piel es un proceso controlado por hormonas y no por el sistema nervioso?

- A. Porque las células de la piel están en contacto con la sangre.
- B. Porque la pigmentación no es un fenómeno realmente vital.
- C. Porque las hormonas provienen de una zona interna del cuerpo.
- D. Porque se regula solo en determinados momentos del año.
- E. Porque es una actividad que no necesita activarse en forma instantánea.

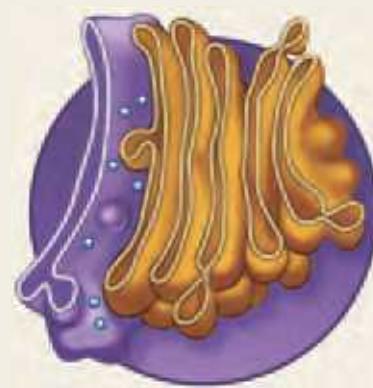
4. ¿Cuál de las siguientes respuestas frente al estrés facilita la pérdida de calor desde el cuerpo?

- A. Activación de la glándula tiroides.
- B. Relajación de la musculatura torácica.
- C. Incremento de la liberación de glucosa.
- D. Aumento de la sangre de vasos periféricos.
- E. Estimulación de la glándula suprarrenal.

5. En relación con la figura, ¿en qué caso un músculo pasa de la situación A a la B?



- A. Cuando pasa de retener a liberar calor.
  - B. Cuando requiere mayor suministro de oxígeno.
  - C. Cuando se requiere disminuir la presión arterial.
  - D. Cuando aumenta su almacenamiento de glucosa.
  - E. Cuando su activación cambia de endocrina a nerviosa.
6. En las neuronas, ¿qué estructuras son elaboradas a partir del organelo representado a continuación?

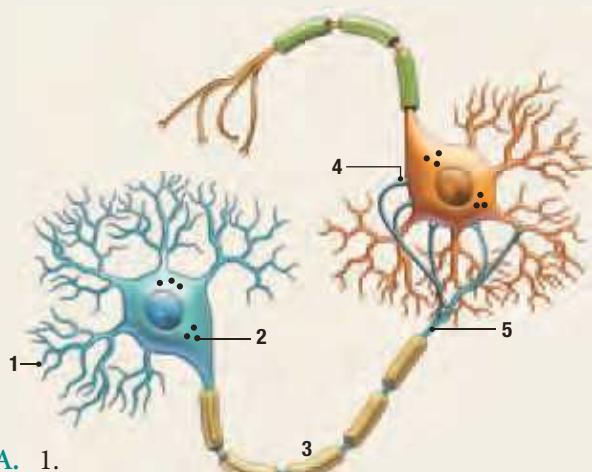


- A. Neurofilamentos.
  - B. Vainas de mielina.
  - C. Botones terminales.
  - D. Vesículas sinápticas.
  - E. Bombas de sodio-potasio.
7. ¿Por dónde viajan los impulsos nerviosos?
- A. Por los neurofilamentos.
  - B. Por el citoplasma del axón.
  - C. A través de los canales iónicos.
  - D. A lo largo de la membrana axonal.
  - E. A través de las vesículas sinápticas.

8. ¿Cuál de las siguientes características celulares sería exclusiva de las neuronas?

- A. Núcleo grande, rodeado de citoplasma.
- B. Extensiones sostenidas en el citoesqueleto.
- C. Capacidad para producir y secretar sustancias.
- D. Posibilidad de elaborar membranas de fosfolípidos.
- E. Prolongaciones capaces de enviar señales a largas distancias.

9. Se quiere saber si una neurona está utilizando el neurotransmisor acetilcolina para comunicarse con otras neuronas. ¿Desde dónde sería necesario tomar una muestra para averiguarlo?



- A. 1.
- B. 2.
- C. 3.
- D. 4.
- E. 5.

10. ¿Qué se debe estimular en una sinapsis para generar un potencial postsináptico inhibitorio?

- A. La abertura de canales de cloro.
- B. El cierre de canales de potasio.
- C. El cierre de canales de sodio.
- D. La abertura de canales de calcio.
- E. El cierre de canales de potasio.

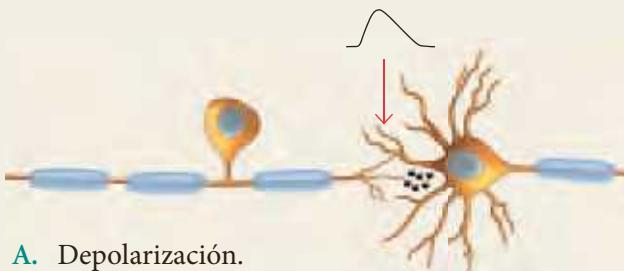
11. ¿El intercambio de qué sustancia es responsable de que la polaridad de la membrana cambie de +50 a -70 mV durante un potencial de acción?

- A. Ion sodio.
- B. Ion calcio.
- C. Ion cloruro.
- D. Ion potasio.
- E. Proteínas intracelulares.

12. Selecciona la alternativa que ordene correctamente los hechos producidos en una sinapsis excitatoria:

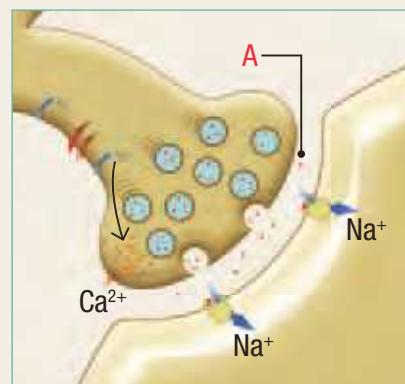
- I. Abertura de canales de sodio.
  - II. Liberación de neurotransmisores a la hendidura sináptica.
  - III. Unión entre el neurotransmisor y sus receptores.
  - IV. Abertura de canales de calcio.
- A. I, II, III y IV.
  - B. IV, II, III, I.
  - C. I, III, II y IV.
  - D. II, III, IV y I.
  - E. II, III, IV y I.

13. ¿Qué fenómeno se representa en la siguiente figura?



- A. Depolarización.
- B. Hiperpolarización.
- C. Transporte de iones.
- D. Potencial inhibitorio.
- E. Potencial de reposo.

14. ¿Qué ocurriría en una sinapsis si una sustancia externa se adhiriera a las moléculas indicadas con la letra "A"?



- A. Ingresaría calcio al botón sináptico.
- B. Dejarían de transportarse las vesículas.
- C. Aumentaría el ingreso de sodio a la dendrita.
- D. Las vesículas perderían sus neurotransmisores.
- E. Los receptores canal dejarían de unirse a los neurotransmisores.

## II. Analiza la siguiente situación procedural y luego responde.

### Planteamiento del problema

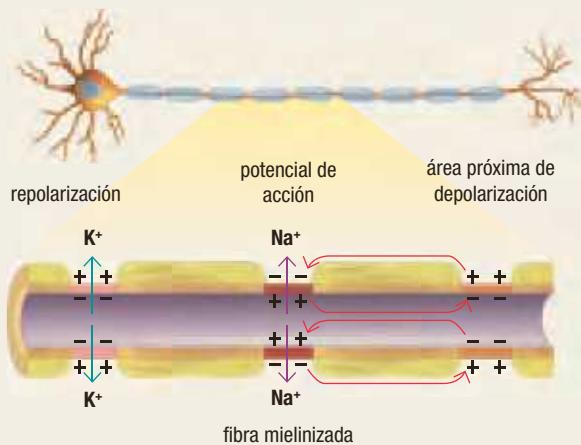
Un grupo de investigadores estudiaba la conducción del impulso nervioso en distintos tipos de axones neuronales.

- Lee las siguientes etapas y anota en tu cuaderno cuál es el problema específico que podría guiar la investigación.

### Formulación de hipótesis

Los investigadores contaban con dos suposiciones que debían probar:

- Como el impulso nervioso es un proceso que ocurre a lo largo de la membrana plasmática y en el que participan iones que se ubican en su proximidad, entonces los axones más delgados deberían facilitar el intercambio de iones.
- Además, sabían que los axones mielinizados (presentes en vertebrados) solo podían intercambiar iones en porciones estrechas llamadas nodos de Ranvier, tal como se muestra en la figura, lo que podría favorecer la velocidad del impulso nervioso.



Si los investigadores querían estudiar la velocidad de la conducción nerviosa en diferentes tipos de axones, según los antecedentes aportados anteriormente, qué hipótesis podrían establecer, considerando:

- La relación entre grosor y velocidad.
- La relación entre mielinización y velocidad.

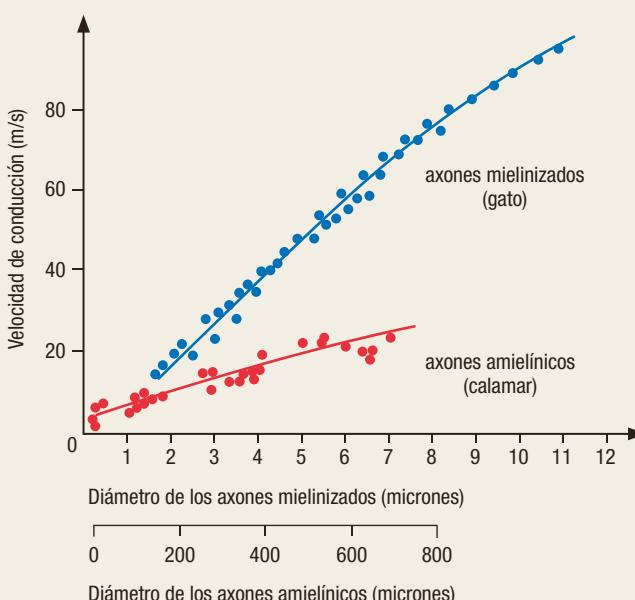
### Procedimiento experimental

Utilizando axones mielinizados de un gato (vertebrado) y amielínicos (sin mielina) de un calamar (invertebrado), en ambos casos de diversos calibres, obtuvieron registros

de potenciales de acción mediante la metodología definida por Huxley y Hodgkin. Para calcular la velocidad, ubicaron parejas de microelectrodos en dos posiciones de distancia conocida, tal como se describe en la página 33 de la unidad.

### Obtención e interpretación de resultados

El gráfico muestra los resultados obtenidos para los dos tipos de axones. Cada punto azul o rojo en el gráfico es un cálculo de velocidad independiente.



Se observa que la velocidad de conducción de axones mielinizados es siempre mayor que la observada en los axones amielínicos. Asimismo, se observa que a mayor grosor de los axones (sean mielinizados o amielínicos), mayor es la velocidad de conducción, en una relación que parece ser directamente proporcional.

### Elaboración de conclusiones

Se valida la hipótesis sobre la mayor velocidad de conducción de los axones mielinizados, resultado que es coherente con la mayor complejidad de los procesos nerviosos que son capaces de realizar los organismos vertebrados que los poseen, en relación con los invertebrados. No se valida, sin embargo, la hipótesis acerca del grosor, ya que los datos muestran que la velocidad es directamente proporcional al grosor del axón. Esto obligaría a replantear la hipótesis: un mayor grosor podría facilitar la transmisión de los potenciales eléctricos en la medida que esos axones poseen una mayor densidad de canales iónicos por unidad de superficie.

- Tomando lo anterior como referencia, plantea una hipótesis alternativa y escríbela en tu cuaderno.

# Cerrar sesión

## I. Revisa tus respuestas de alternativas.

Pregunta	Contenido evaluado	Habilidad	Clave	Mi revisión			Logro alcanzado
				Correctas	Incorrectas	Omitidas	
1	Integración orgánica. Páginas 14 a 23.	Comprender					/ 5
2		Comprender					
3		Comprender					
4		Comprender					
5		Analizar					
6	Células nerviosas. Páginas 24 a 29.	Recordar					/ 4
7		Recordar					
8		Recordar					
9		Aplicar					
10	Impulso nervioso y sinapsis. Páginas 32 a 43.	Recordar					/ 5
11		Comprender					
12		Comprender					
13		Analizar					
14		Analizar					

## II. Revisa los criterios que se consideran para la respuesta correcta de la situación procedural.

Etapa del método	Criterios
Planteamiento del problema.	La respuesta debe considerar los pasos conocidos de la investigación, especialmente el procedimiento experimental y los resultados. Debe ser formulada como una pregunta específica. El problema identificado debe incluir las dos variables estudiadas, en los dos contextos de estudio.
Formulación de hipótesis.	a. La respuesta debe relacionar la variable grosor del axón y velocidad del impulso nervioso. b. La respuesta debe relacionar la variable mielinización del axón y velocidad del impulso nervioso.
Formulación de hipótesis alternativa desde las conclusiones.	La respuesta debe aportar una explicación diferente a la planteada en el paso <i>Formulación de hipótesis</i> sobre la relación entre grosor y velocidad del impulso nervioso. Puede incluir la pista señalada en el paso <i>Elaboración de conclusiones</i> .

### Mi ESTADO

Anota el nivel de logro de tus aprendizajes de la unidad según la categoría de desempeño dada: 1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

- Reconocí el papel que le corresponde a la formulación de preguntas e hipótesis en una investigación.
- Conocí algunas investigaciones científicas clásicas relacionadas con el conocimiento actual de nuestro sistema nervioso.
- Describí procesos de coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a las demandas del medio.
- Comprendí la relación entre la unidad y diversidad de las células nerviosas, respecto a tareas específicas de recepción, conducción y salida de impulsos nerviosos, así como de protección y aislamiento.
- Expliqué el origen del potencial de acción, la forma en que se transmite a lo largo de una neurona y su traspaso a otras células excitables a través de la sinapsis.
- Expliqué de qué manera el funcionamiento coordinado de neuronas y tejidos glandulares logra dar respuesta a tareas aparentemente simples del diario vivir.

# Percibiendo el ambiente que nos rodea

A B  
C D

## MENÚ de inicio

### ¿Qué aprenderás?

### ¿Para qué?

### ¿Dónde?

Relación entre procedimientos experimentales y resultados obtenidos.	Reconocer cómo se relacionan los resultados obtenidos en una investigación con el procedimiento experimental seguido.	Páginas 56, 57, 70, 71 y 94
Adaptación del organismo a los cambios del entorno.	Describir los mecanismos que utiliza el organismo para percibir las fluctuaciones del ambiente, permitiendo su adaptación y respuesta.	Páginas 58 a 71
Construcción del conocimiento científico.	Identificar los procedimientos utilizados en investigaciones científicas clásicas, comparando sus resultados con los obtenidos en investigaciones contemporáneas.	Páginas 68 y 69
Estructura y función del ojo como un receptor sensorial.	Explicar la estructura y el funcionamiento del ojo, incluyendo la estimulación de receptores específicos y la transmisión e integración de señales nerviosas.	Páginas 72 a 79
Alteraciones en el sistema nervioso por efecto del consumo de sustancias químicas.	Describir los efectos que genera en el sistema nervioso el consumo de sustancias químicas.	Páginas 82 a 89



## ABRIR SESIÓN

Sentir, oler, percibir, degustar y mirar nuestro entorno es lo que nos permite adaptarnos a las condiciones del ambiente y generar respuestas adecuadas.



Los seres vivos estamos insertos en un ambiente cambiante; sin embargo, debemos ser capaces de vivir en él. En esta unidad veremos cómo el sistema nervioso puede percibir estos cambios del entorno y generar respuestas adecuadas para mantener un ambiente interno estable. A continuación te invitamos a responder algunas preguntas relacionadas con este tema.

1. ¿Cuáles son los órganos de los sentidos y qué estímulos pueden captar?
2. ¿Qué son los receptores sensoriales y dónde se ubican?
3. ¿Conoces trastornos que puedan afectar la visión de las personas? ¿Cómo se denominan y en qué consisten?
4. ¿Cómo crees que puede verse afectado el sistema nervioso por el consumo de fármacos?



► ¿Qué ejemplos de estímulos puedes mencionar?



► ¿Cómo puede tu cuerpo responder ante todos los estímulos que permanentemente recibe?

## ETAPAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
- 3. Procedimiento experimental.**
- 4. Obtención de resultados.**
5. Interpretación de resultados.
6. Elaboración de conclusiones.

## ¿CÓMO SE RELACIONAN LOS RESULTADOS CON EL PROCEDIMIENTO?

Los resultados de una investigación se obtienen al poner en práctica un procedimiento experimental que fue previamente definido. Usualmente, los resultados son registrados en tablas o gráficos, recursos que facilitan su posterior interpretación.

## PASOS PARA DESARROLLAR UN PROCEDIMIENTO Y OBTENER RESULTADOS

**Paso 1:** plantear y/o conocer el problema de investigación.

**Paso 2:** formular una hipótesis relacionando las variables del problema.

**Paso 3:** tener claros los objetivos del experimento y, según eso, determinar los materiales y procedimientos necesarios para su cumplimiento.

**Paso 4:** llevar a cabo el procedimiento y registrar los datos obtenidos.

**Paso 5:** representar estos datos, estableciendo patrones y tendencias.

Hasta el siglo XIX, los antecedentes que tenían los científicos respecto de las funciones del sistema nervioso eran muy escasos. La mayor parte de la información era recabada de lesiones que sufrían los pacientes en las distintas áreas del cerebro y se establecían relaciones a partir de las consecuencias que estas lesiones traían para el funcionamiento del organismo.

En este contexto, estudiaremos un experimento muy conocido del científico ruso Ivan Petrovich Pavlov. El año 1870 ingresó a la Universidad de San Petersburgo en la unidad de Ciencias Naturales, para posteriormente integrar la Academia de Medicina y Cirugía, no con el fin de hacerse médico, sino para obtener el grado de doctor en Medicina y así poder optar a una cátedra en Fisiología. Pavlov se dedicó a investigar la regulación nerviosa de la circulación y las secreciones digestivas; específicamente quería resolver el problema sobre cuánto tiempo demora la respuesta de la secreción gástrica ante el estímulo de la ingesta de alimento. Sin embargo, una casualidad lo hizo cambiar el rumbo de su investigación y de paso quedar en la historia de la biología.



▲ Ivan Pavlov (1849-1936). En el año 1904 recibió el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus investigaciones.

**Planteamiento del problema**

¿Has notado que los perros cuando están en presencia de su alimento aumentan la producción de saliva de manera visible? En el año 1897, Pavlov casualmente observó que uno de los perros usados en sus experimentos comenzaba a salivar cuando escuchaba los pasos del ayudante que le traía su comida, antes de que pudiera observar su alimento.

El organismo, en este caso el perro, respondía aumentando la salivación ante un estímulo, que es el alimento, antes de estar directamente en contacto con él. ¿Cómo era esto posible? A raíz de esta observación, Pavlov quiso estudiar y describir en detalle este nuevo fenómeno del cual había tomado conciencia. A estas respuestas, Pavlov las llamó en un comienzo “secreciones psíquicas”, ya que no se encontraban razones fisiológicas que las justificaran.

Esto lo llevó a formularse una serie de preguntas:

¿Qué sucederá con la respuesta de salivación al exponer al perro a otro estímulo asociado a la comida y luego presentárselos por separado? ¿Responderá ante el segundo estímulo como si fuera la comida?



▲ Los reflejos son respuestas automáticas e involuntarias ante un estímulo determinado.

Para responder estas preguntas Pavlov y sus colaboradores diseñaron una serie de experimentos en los que manipularon las distintas variables en estudio.

**Formulación de hipótesis**

A partir de sus observaciones, Pavlov predijo que:

*Si un estímulo particular, como un sonido, estaba presente cuando al perro se le proporcionara su comida, entonces este estímulo se asociaría al estímulo de la comida y luego podría provocarle al perro una respuesta de salivación por sí mismo.*

¿Cuál es la explicación tras esta hipótesis?

La presentación de un estímulo condicionado (sonido) produce la activación de neuronas en una región de la corteza cerebral, que lo vincula a la región activada del cerebro por el estímulo incondicionado (comida); de este modo, ambos centros nerviosos quedan relacionados generando la misma respuesta.

## Procedimiento experimental

Para poner a prueba esta hipótesis, Pavlov diseñó el siguiente experimento.

<p><b>Fase 1:</b> expuso al perro a un estímulo directo para que salivara (estímulo incondicionado), como es un plato de comida, sin ningún otro estímulo asociado.</p> <p><b>Resultado:</b> al colocar el plato de comida a la vista del perro, este comenzaba a salivar. Es decir, ante un estímulo (comida) se generó una respuesta incondicionada (salivación).</p>	<p><b>Fase 2:</b> expuso al perro al estímulo de un sonido, como una campana, que corresponde a un estímulo neutro. ¿Qué quiere decir esto? En este caso, es algo que normalmente no produce salivación por sí solo.</p> <p><b>Resultado:</b> al hacer sonar la campana no hay respuesta de salivación por parte del perro.</p>
<p><b>Fase 3:</b> expuso al perro al estímulo directo que genera salivación, la comida, junto con el estímulo neutro, el sonido de la campana.</p> <p><b>Resultado:</b> el perro observa su comida y saliva (respuesta incondicionada), al mismo tiempo que se hace sonar la campana.</p>	<p><b>Fase 4:</b> expuso al perro al sonido generado por la campana.</p> <p><b>Resultado:</b> al escuchar el ruido de la campana sin haber comida presente, el perro comienza a salivar (respuesta condicionada).</p>

## Obtención de resultados

Los resultados se resumen en la siguiente tabla. Estos fueron obtenidos a través de la anotación del comportamiento y de las respuestas fisiológicas a los diferentes estímulos.

Fase	Estímulo	Respuesta
1	Estímulo incondicionado: alimento.	Respuesta incondicionada: salivación.
2	Estímulo neutro: sonido de la campana.	Respuesta: no hay salivación.
3	Estímulo condicionado: campana y estímulo incondicionado: alimento.	Respuesta incondicionada: salivación.
4	Estímulo condicionado: campana.	Respuesta condicionada: salivación.

## Interpretación de los resultados

Analizando los resultados obtenidos, contesta las siguientes preguntas.

- ¿Cuáles son las variables de este experimento?
- ¿Por qué es necesario exponer al perro al sonido de la campana en la fase 2?
- ¿Qué efecto tiene sobre el animal la exposición a la comida?
- ¿Cómo cambia la respuesta del animal ante el sonido de la campana, luego de condicionar su respuesta?

## Elaboración de conclusiones

Según los experimentos realizados y descritos, responde.

- ¿Qué se puede concluir respecto de la hipótesis planteada?
- En los seres humanos también existen respuestas condicionadas. ¿Podrías dar un ejemplo?

### Mi ESTADO

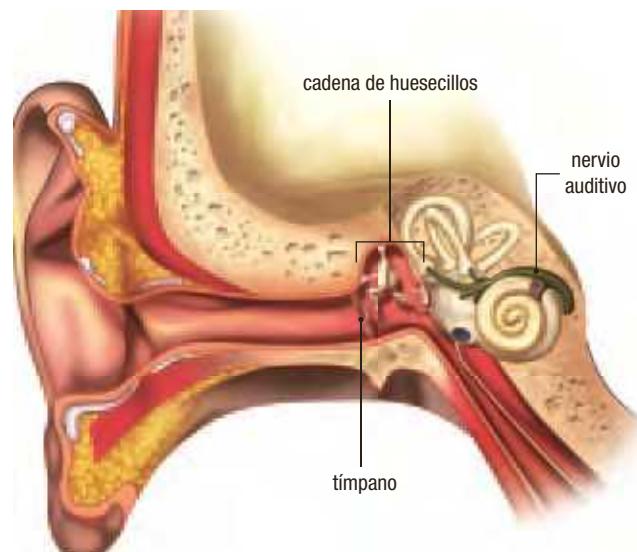
- ¿Cómo podrías relacionar el procedimiento experimental con la hipótesis de Pavlov?
- ¿Cómo se relacionan los resultados obtenidos con la hipótesis planteada?
- ¿Qué importancia tuvo la primera observación que realizó Pavlov, y cómo podrías relacionarla con la forma en que se genera el conocimiento científico?

# Los órganos de los sentidos trabajan de manera integrada

Los seres vivos son capaces de percibir los diferentes estímulos que los rodean. El ser humano tiene una serie de receptores que le permiten captar distintas señales físicas y químicas del ambiente externo e interno. A partir de esta información, el organismo toma decisiones de manera tal de generar respuestas que le permitan adecuarse, de la mejor manera posible, a dicho cambio.

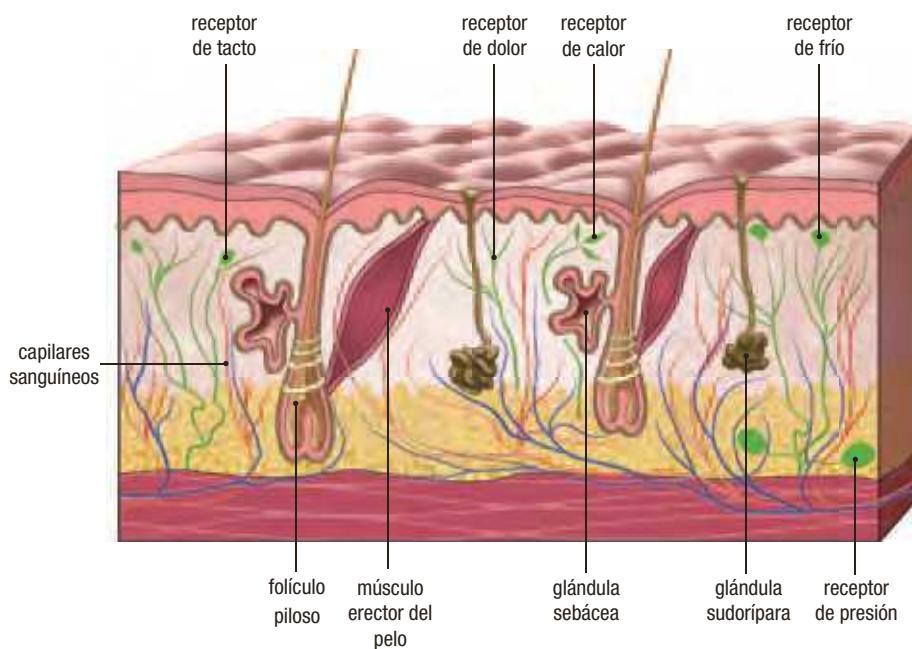
## Audición

Además de proporcionarnos la audición, los oídos detectan la posición y el movimiento de la cabeza y son esenciales para la mantención del equilibrio.



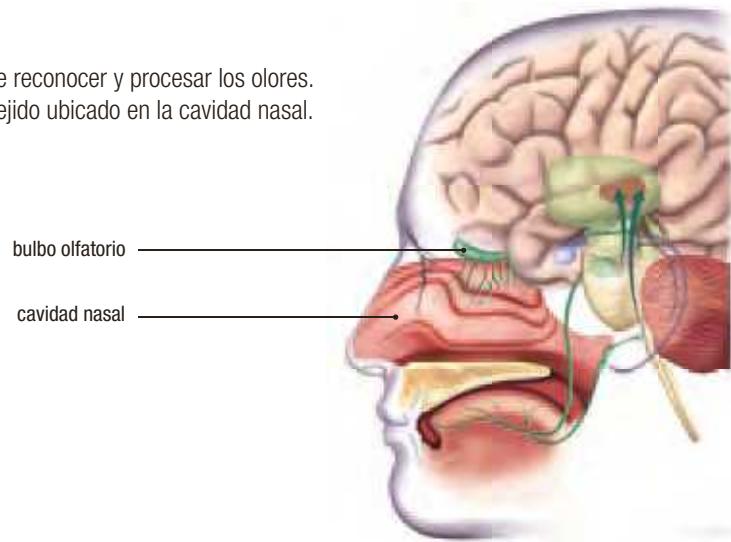
## Tacto

La piel no solo es el órgano sensorial del tacto, sino que es el nexo más importante entre nuestro organismo y el exterior. En la piel encontramos receptores específicos, encargados de captar distintos estímulos del medio, como el calor, el frío, el dolor, la presión y el tacto.



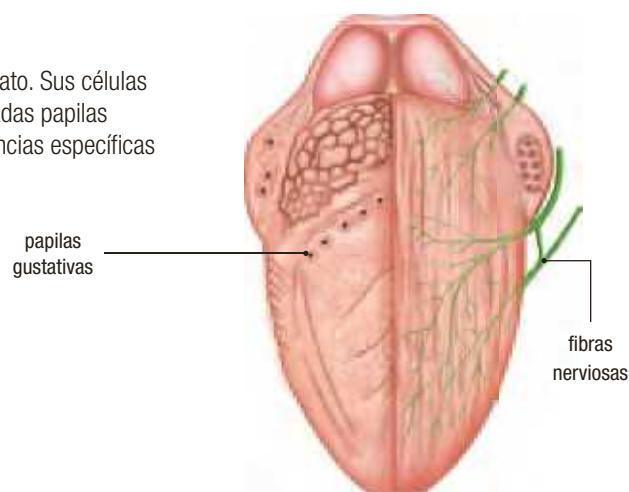
## Olfato

Es el sentido encargado de reconocer y procesar los olores. El epitelio olfatorio es un tejido ubicado en la cavidad nasal.



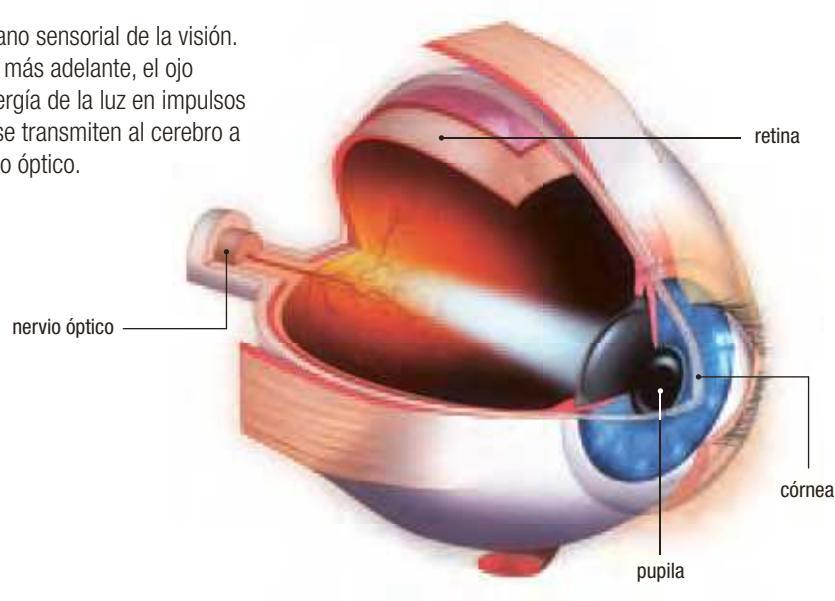
## Gusto

El gusto funciona de modo similar al olfato. Sus células receptoras, agrupadas en las denominadas papilas gustativas de la lengua, detectan sustancias específicas disueltas en la saliva.



## Visión

El ojo es el órgano sensorial de la visión. Como veremos más adelante, el ojo convierte la energía de la luz en impulsos nerviosos que se transmiten al cerebro a través del nervio óptico.



Para GRABAR

Sentido	Órgano
Audición	Oído
Tacto	Piel
Olfato	Nariz
Gusto	Lengua
Vista	Ojo

# ¿Qué hace nuestro cuerpo cuando hace frío?



Marmota.



Monito del monte.

▲ Estos mamíferos, tal como nosotros, producen su propio calor internamente y se les denomina **endotermos**. En el caso de los animales **ectotermos**, como los reptiles, su temperatura corporal depende de la temperatura ambiental.

## Ampliando MEMORIA

Durante los períodos de hibernación aparece en la sangre una sustancia llamada HIT (*Hibernation Inducement Trigger*). Esta sustancia se vuelve activa cuando las horas de luz solar disminuyen, lo que actúa sobre el hipotálamo para que desencadene los cambios fisiológicos de la hibernación.

Los seres vivos han sido capaces de vivir en todas las regiones del planeta Tierra. El ser humano, en particular, es capaz de establecerse en lugares con climas muy diversos y extremos, algunos muy calurosos, como el de Pica, en la Región de Tarapacá, donde en el verano pueden registrarse 39 °C, a muy fríos, como el de Puerto Williams, en la Región de Magallanes, donde en la misma fecha las temperaturas no superan los 10 °C. A pesar de ello, la temperatura corporal de las personas que viven en Pica y en Puerto Williams varía, en condiciones de salud, solo entre 36,3 °C y 37,1 °C, en promedio.

Como ya vimos en la unidad anterior, para que el organismo mantenga relativamente constante su temperatura corporal, debe existir un control de la temperatura interna. En el cerebro, el **hipotálamo** es el encargado de regular, entre otras cosas, esta temperatura corporal. Sin embargo, para ello requiere recibir información sobre las condiciones térmicas en las que se encuentra el organismo, es decir, debe saber a qué temperatura externa está. Para ello tiene sensores de temperatura en el hipotálamo y recibe información de otras partes del cuerpo, sobre todo de la piel. Así, el hipotálamo compara ambos valores y pone en marcha los mecanismos necesarios para mantener constante su temperatura.

Si la temperatura cutánea es baja, quiere decir que el organismo está en un ambiente frío y que conviene conservar el calor, así que el hipotálamo pone en marcha los mecanismos correspondientes antes de que la temperatura al interior del cuerpo empiece a disminuir.

Por el contrario, si la temperatura cutánea es alta, es interpretado como que el organismo está en un ambiente caluroso y, por lo tanto, conviene liberar calor usando mecanismos como la transpiración para enfriar la piel.

Para muchos animales se hace difícil encontrar comida durante el invierno, por lo que deben pasar esa estación en un estado de suspensión llamado **hibernación**, para ahorrar energía. Una de las especies que realizan este proceso es la marmota. Durante el período de hibernación reduce su temperatura corporal cerca de 10 °C. De esta manera, sus funciones biológicas se enlentecen hasta casi detenerse, lo que se refleja en que baja su frecuencia cardíaca a dos o tres latidos por minuto y respira una vez cada cinco minutos. Con esto, el consumo de energía disminuye significativamente, lo que permite que la marmota esté seis meses sin ingerir alimentos, gastando solo las reservas de grasa que ha acumulado durante el verano.

En Sudamérica tenemos un mamífero que hiberna llamado monito del monte (*Dromiciops gliroides*), cuyo período de hibernación puede durar una o dos semanas, logrando un estado profundo de sopor para reducir su metabolismo. De esta forma, baja su temperatura corporal de 37 a 10 °C. Uno de los encargados de regular estos períodos de hibernación es el hipotálamo. Se ha visto que animales que presentan lesiones a este nivel pierden su capacidad de hibernar.

Los seres humanos no hibernamos; sin embargo, se pueden aplicar técnicas específicas que permiten disminuir la temperatura corporal hasta 21 - 24 °C, por ejemplo, en procedimientos quirúrgicos prolongados, para así minimizar el daño a los tejidos y luego poder recuperar la temperatura corporal normal.

# ¿Cómo reacciona nuestro cuerpo al comer algo salado?

La sal es un condimento muy utilizado en la cocina. El gusto por ella es muy variado entre las personas. Así, para algunos un alimento puede estar salado y en cambio para otros puede aún necesitar más sal.

Antiguamente la sal era muy usada para conservar los alimentos, ya que impide que se desarrollen y reproduzcan las bacterias. Recuerda que los refrigeradores se inventaron a principios del siglo XX y llegaron a Chile en 1956. Así, por medio de la sal se podía conservar el pescado y la carne por varios días y meses. Incluso hoy en día, las carnes y los jamones ahumados son sometidos a un proceso de salazón completa durante quince días.

La sal es indispensable para el organismo, ya que el sodio que contiene es esencial para mantener el balance de los líquidos internos del cuerpo. Nuestro organismo no es capaz de producirla; por lo tanto, la manera de adquirirla es a través de los alimentos. A pesar de lo anterior, tendemos a consumir más sal de la que necesitamos.

La sal está formada, principalmente, por dos elementos: sodio (40%) y cloro (60%), aproximadamente. La sal es nuestra fuente de sodio número uno. Pero, cuidado, normalmente el cuerpo humano adulto necesita menos de 500 mg de sodio por día, es decir, 0,5 g y, para que lo tengas presente, en una cuchara pequeña de té caben aproximadamente 4,6 g de sal.

¿Qué sensación te queda en la boca cuando consumes un alimento alto en sal? Recuerda la última vez que comiste algún alimento salado, como papas fritas, maní o galletas saladas. En general, cuando comemos demasiada sal se produce una sensación de sed que se alivia con el consumo de líquido. Esta sal pasa a la sangre a través del sistema digestivo. Como resultado se genera una retención de líquido y esto a su vez produce un incremento del volumen sanguíneo. Esto se puede transformar en un alza de la presión sanguínea que, en el largo plazo, desencadenaría una hipertensión arterial. El aumento del volumen sanguíneo también produce efectos en el sistema renal, que, como vimos en la unidad anterior, es el encargado de eliminar este exceso por la orina. En síntesis, el cuerpo debe detectar los cambios de volumen y presión sanguínea para proteger el funcionamiento de los órganos internos. Por ello, lo más importante es evitar el consumo excesivo e innecesario de sal, teniendo en cuenta que según la encuesta del Ministerio de Salud 2009/2010, el 26,9% de la población chilena tiene hipertensión arterial, con una presión promedio mayor o igual a 140/90 mmHg, considerando que la presión normal es de 120/70 mmHg.

## Actividad

- Observa las etiquetas nutricionales de esta página.
- Completa la tabla y **compara** la cantidad de sodio que presentan en una porción, en 100 gramos de alimento y en el envase completo. Se entrega el primer ejemplo desarrollado.

Alimento	¿Cuál es la cantidad de sodio en una porción?	¿Cuál es la cantidad de sodio en 100 g?	¿Cuántos gramos son una porción?	¿Cuánta sal tiene el envase completo?
Jamón en cubitos	331 mg	828 mg	40 g	1.986 mg
Cabritas				
Papas fritas				
Galletón				

- Busca otros productos que consumas habitualmente y realiza el mismo ejercicio.

- En función de tu comparación, ¿cuánto sodio estás ingiriendo diariamente, considerando lo que tu organismo necesita?
- ¿Qué alimentos te sorprendieron por sus índices de sodio?



- Los alimentos tienen en sus envases una etiqueta nutricional. Esta información nos permite tomar decisiones respecto de qué alimentos consumir y en qué cantidad.

# Mecanismos de adaptación de los organismos a las variaciones del entorno

## Ampliando MEMORIA

La presión total de una mezcla de gases, como el aire, es la suma de las **presiones parciales** de cada gas en la mezcla y la presión de cada gas es proporcional a su concentración.

Los seres vivos estamos sometidos a constantes variaciones ambientales; sin embargo, a pesar de esto, las condiciones internas deben mantenerse estables. Entre los problemas que enfrenta un organismo y a los cuales debe dar solución está, como ya hemos visto, la regulación de variables como la temperatura corporal, la cantidad de agua y sales en los líquidos intracelulares, pero también influye la cantidad de luz, de pH, el estrés al cual está sometido, la concentración de azúcar sanguínea, los niveles de oxígeno disponibles y la eliminación de productos de desecho, entre muchos otros factores.

En cada caso, debe existir un mecanismo que informe al organismo cómo están las condiciones y cuáles son las variaciones internas y externas. Para ello existen **receptores** tanto externos como internos, que captan la información y la conducen al sistema nervioso. Este último toma decisiones respecto de la información recibida y envía la mejor respuesta a los **efectores**, los que llevan a cabo la respuesta elaborada por el sistema nervioso.

## ¿Cómo el organismo regula su medio interno ante los cambios de altitud?

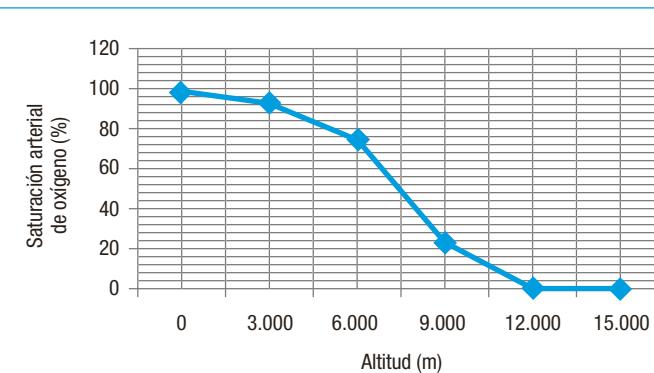
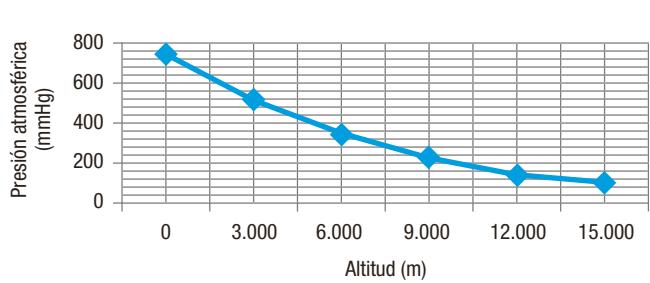
El aire que respiramos contiene una diversidad de gases en diferentes proporciones, entre los que se encuentra el oxígeno ( $O_2$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), nitrógeno ( $N_2$ ), vapor de agua, entre otros. La cantidad de oxígeno que tiene el aire depende, entre otras cosas, de la presión atmosférica. La atmósfera es la capa de gases que rodea a la Tierra y, por supuesto, tiene peso. El aire que se encuentra sobre ti presiona tu cuerpo hacia abajo con su peso, es decir, te aplasta. La presión que ejerce la atmósfera sobre todos los objetos que se encuentran en la Tierra se llama **presión atmosférica**.

La presión atmosférica se mide con un barómetro. El primero lo inventó Evangelista Torricelli en el siglo XVII. ¿En qué consistió su invención?

El científico tomó un tubo de cerca de un metro de longitud, que se encontraba abierto en un extremo y cerrado en el otro, lo llenó con mercurio y lo puso boca abajo sobre un recipiente de vidrio. Como es de esperar, el mercurio se comenzó a salir, pero en un momento se detuvo y quedó con una altura estable e inmóvil de 76 cm. Torricelli dedujo que la presión atmosférica que aplastaba al mercurio en el recipiente era igual a la presión que ejercía una columna de mercurio de ese tamaño.

Si te encuentras en un lugar alto, hay menos aire sobre ti, por lo tanto la presión atmosférica es menor. Si estás en la playa, la presión es mayor porque tienes más aire ejerciendo una fuerza sobre tu cuerpo.

Observa los siguientes gráficos:



A nivel del mar (0 metros de altitud), la presión atmosférica es de 760 mmHg y la saturación arterial de oxígeno es de 97 - 100%. ¿Qué sucede con la saturación de oxígeno si estamos en Putre, a 3.500 metros de altitud (Región de Arica y Parinacota) o en la cima del Volcán Isluga, a 5.218 metros de altitud (Región de Tarapacá)? Cuando el organismo se encuentra en niveles de baja concentración de oxígeno, se habla de hipoxia. Los efectos agudos de la hipoxia comienzan a los 4.000 metros de altitud y consisten en fatiga mental y muscular, cefaleas, náuseas, entre otros. Estos síntomas se agudizan a mayor altura y sobre los 7.600 metros de altitud se puede generar un estado de coma. El organismo responde ante esta baja concentración de oxígeno como resultado de un proceso llamado **aclimatación**. De manera inmediata, aumenta la ventilación pulmonar, que puede llegar a un 65% por sobre lo normal. Si la persona permanece varios días a gran altura, ella puede aumentar hasta cinco veces por sobre lo normal. La hipoxia también estimula la producción de glóbulos rojos y de hemoglobina; sin embargo, esta respuesta se comienza a observar a las dos semanas y se completa luego de transcurridos varios meses en que la persona ha estado expuesta a la misma condición.

Los habitantes de lugares como los Andes y los Himalayas desarrollan una aclimatación natural que consiste, entre otras adaptaciones, en un incremento del tamaño del tórax y una menor talla corporal, con lo que aumenta la relación entre la capacidad ventilatoria y la masa corporal. Además, el corazón (especialmente el lado derecho) es de mayor tamaño y su sangre tiene mayor cantidad de hemoglobina, con lo que estas personas logran tener más oxígeno en la sangre arterial.

## Actividad

1. Te sugerimos esta actividad práctica para que le des respuesta al siguiente problema de investigación: **¿En qué dirección crecen las raíces?**
2. Para realizar esta actividad necesitas los siguientes materiales: dos frascos transparentes, semillas (de lenteja, poroto, trigo o rábano), papel absorbente y algodón.
3. Coloca en la base de cada frasco papel absorbente. Para ello, deberás recortarlo del tamaño que tiene la base.
4. Sobre el papel absorbente coloca algodón y agrega agua hasta que el papel quede saturado.
5. Pon las semillas en un poco de agua por 24 horas y luego traspásalas al algodón, previamente mojado. Fíjate que las semillas queden en distintas posiciones (horizontales, verticales y diagonales).
6. Deja los frascos a la vista, con luz, pero que no les llegue directamente la luz del Sol. Procura que el papel absorbente siempre esté mojado.

En algunos días germinarán las semillas. Observa los resultados.

### Primera semana

- a. ¿Cuál es la dirección de crecimiento de las raíces y del tallo, en las diferentes semillas?
- b. ¿Hay alguna diferencia entre las semillas colocadas en diferentes posiciones?

Coloca los frascos de manera vertical durante una semana; recuerda agregar agua de manera tal que siempre estén húmedos. Observa los resultados.

### Segunda semana

- a. ¿Qué sucede con el crecimiento de las raíces y del tallo de estas plantas? **Explica.**
- b. ¿Qué **conclusión** puedes sacar de esta actividad?
- c. ¿Qué hipótesis habrías **planteado** para dar respuesta a la pregunta original?

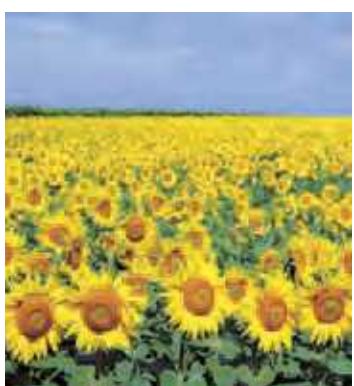
Es importante tener presente que las plantas poseen la capacidad de responder a los cambios del entorno. A veces tenemos la idea de que las plantas son estáticas; sin embargo, un mecanismo para responder y adaptarse ante los cambios del ambiente es por medio del crecimiento de hojas, tallos y raíces.



▲ En la montaña, la presión atmosférica es menor que a nivel del mar.

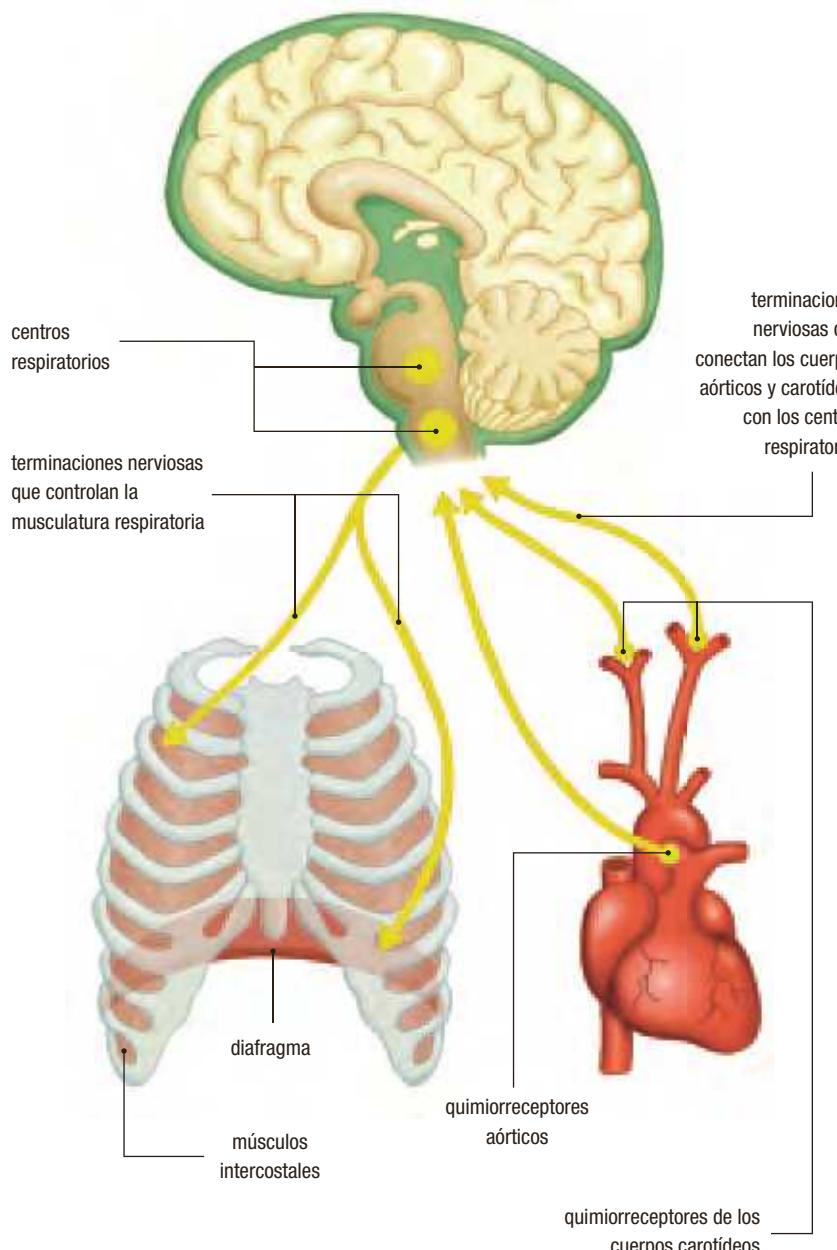
## Ampliando MEMORIA

La flor de los girasoles, como dice su nombre, puede girarse hacia el Sol. Así, en las plantaciones de girasoles se puede apreciar que todas las flores durante el día están abiertas y van girando en función del recorrido del Sol.



## ¿Cómo el organismo regula las variaciones de los gases respiratorios?

Para mantener constante el aporte de oxígeno a las células y la eliminación de dióxido de carbono desde ellas, es fundamental que existan centros nerviosos de control de la ventilación, los que regulan la frecuencia y amplitud de la respiración. Estos centros se encuentran en el tronco encefálico y se denominan **centros respiratorios**.



Las moléculas de oxígeno y dióxido de carbono disueltas en la sangre ejercen una presión parcial que se denota como  $\text{PO}_2$  y  $\text{PCO}_2$ , respectivamente.

¿Cómo perciben los centros respiratorios los cambios de  $\text{PCO}_2$  y  $\text{PO}_2$  en la sangre para controlar así la ventilación pulmonar? Estas variaciones son captadas por quimiorreceptores especializados.

Los **quimiorreceptores** son células especializadas en la captación de cambios en las concentraciones de  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}^+$  de la sangre cuando estas se encuentran fuera de los parámetros normales. Estos receptores se ubican en los cuerpos carotídeos y aórticos. Esta organización anatómica y funcional asegura que la sangre que llegue tanto al cerebro como al resto del cuerpo tenga una  $\text{PCO}_2$  adecuada que no interfiera con su normal funcionamiento. No debemos olvidar que las funciones superiores del organismo están controladas principalmente por el encéfalo. Por lo tanto, un control inadecuado de los niveles de  $\text{PCO}_2$  y  $\text{PO}_2$  en estas zonas causaría problemas gravísimos.

La  $\text{PCO}_2$  normal en la sangre arterial es de 38 a 40 mmHg. Aumentos de la  $\text{PCO}_2$  por sobre este valor constituyen estímulos importantes a quimiorreceptores ubicados en los cuerpos carotídeos y aórticos. La estimulación de estos centros determina el envío de información a los centros respiratorios para aumentar la frecuencia y profundidad de la respiración, así como el volumen por minuto de aire que ingresa a los pulmones.

Una disminución de la  $\text{PCO}_2$  arterial produce una inhibición en los centros respiratorios y, por tanto, una frecuencia respiratoria menor, que incluso cesa por períodos muy breves cuando la  $\text{PCO}_2$  desciende a menos de 35 mmHg.

La acumulación de  $\text{CO}_2$  en la sangre ocasiona indirectamente un aumento de protones ( $\text{H}^+$ ); esto acidifica la sangre (descenso del pH), lo que resulta ser un estímulo para los centros respiratorios y, por tanto, un incremento de la frecuencia respiratoria. Con esto se elimina el  $\text{CO}_2$  en exceso de la sangre y todo vuelve a los parámetros normales.

# ¿Cómo llega la información del entorno al sistema nervioso?

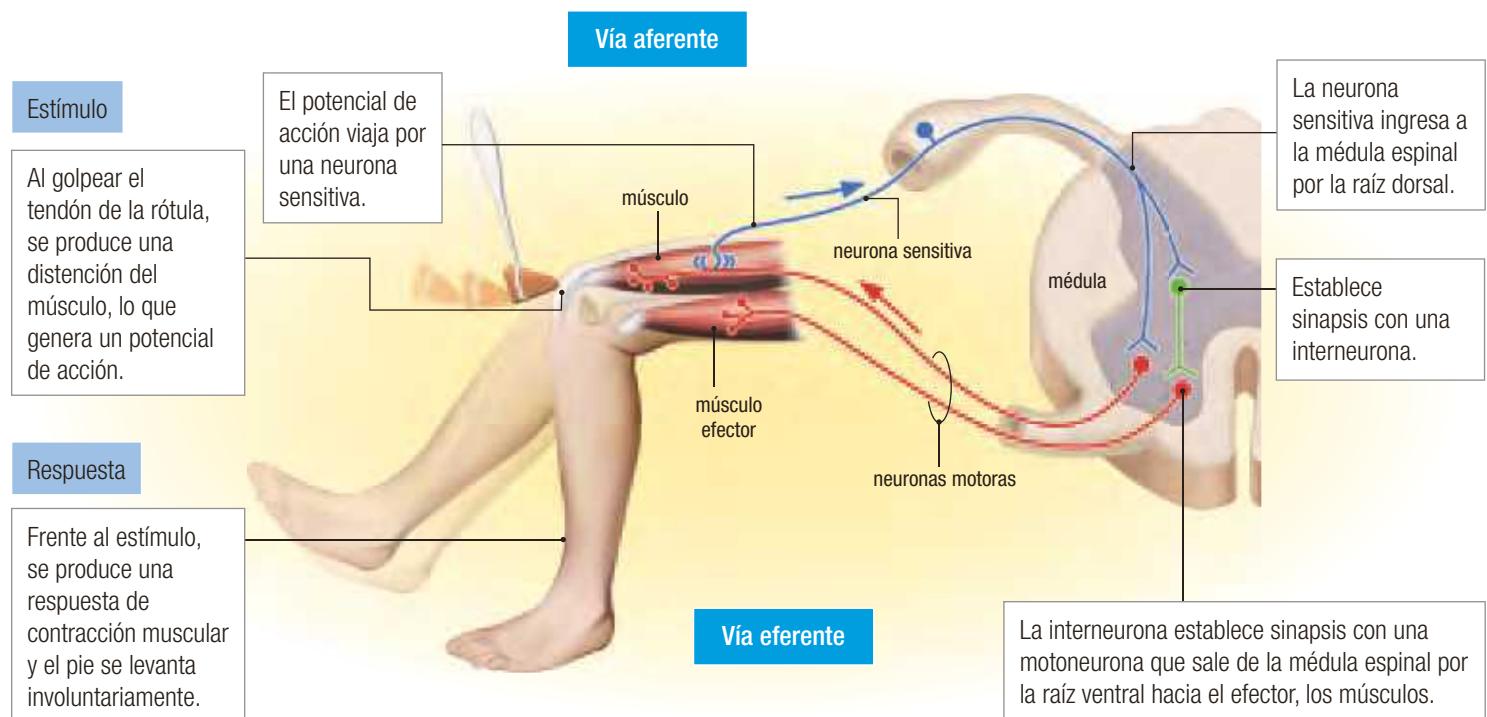
El mecanismo que usa nuestro organismo para llevar información a través del sistema nervioso y generar una respuesta se establece por medio de **vías aferentes o sensitivas** y **vías eferentes o motoras**. Como vimos en la unidad anterior, un **estímulo** es captado por un **receptor** que envía una señal a través del sistema nervioso por una **neurona sensitiva** y la respuesta elaborada es enviada por una **neurona motora** a un **efector** que realiza la acción en respuesta al estímulo inicial. Este circuito se denomina **arco reflejo**.

¿Cómo funciona un arco reflejo?

Es importante distinguir que un arco reflejo es un tipo de vía neuronal estrictamente medular. Un **acto reflejo** se produce mediante un arco reflejo habitualmente monosináptico, es decir, donde entre la neurona aferente y eferente solo se intercala una sinapsis. Veamos un ejemplo en el siguiente esquema:



Los reflejos son respuestas del sistema nervioso que se manifiestan de manera involuntaria ante estímulos específicos. Al tocar la palma de la mano de un recién nacido, este la cerrará con fuerza, acto conocido como reflejo de presión.



## Actividad

### 1. Lee la siguiente información.

Al pasar una fuente de luz delante del ojo, este responde disminuyendo el diámetro de su pupila, ya que las fibras circulares del iris se contraen. Una vez que disminuye la cantidad de luz, las fibras circulares del iris se relajan, por lo que la pupila nuevamente aumenta de diámetro.



### 2. Identifica:

- a. El estímulo.
- b. La respuesta.

## Para GRABAR

Las respuestas a las variaciones de la presión atmosférica y de las concentraciones de los gases respiratorios son ejemplos de cómo las vías nerviosas aferentes y eferentes intervienen para mantener estables las condiciones internas del cuerpo.

# ¿Qué son las sensaciones y sensibilidades?

¿Te ha pasado que entras a tu casa y tienes la sensación de que vas a comer algo rico a la hora de almuerzo? Si es así, ¿cómo has podido saberlo si aún no has probado ningún alimento? Esto se explica porque tus receptores olfatorios fueron activados con los olores provenientes de la cocción de los alimentos. En este caso, la **sensación** del olor se produce gracias al procesamiento cerebral primario proveniente del estímulo olfatorio. Esta sensación genera una representación mental de los olores de ese alimento que el sistema nervioso debe seleccionar, organizar e interpretar. Este proceso se llama **percepción**, la que permite dotar de significado a dicho olor y, por lo tanto, en este caso recordamos que en otra oportunidad que olimos ese aroma comimos algo rico.

## Sensibilidad



Con tus dedos, estimula la planta del pie y observa si hay o no reacción.



Determina el grado de sensibilidad de la mano.

La sensación de los estímulos y su percepción también dependen de la **sensibilidad**. En otras palabras, el sistema nervioso puede detectar las variaciones físicas o químicas del ambiente (externo o interno) mediante los órganos sensoriales (receptores), pero esta detección va a depender de la cantidad y de la especialización de los receptores. Así, en la yema de los dedos de las manos tenemos mayor sensibilidad al tacto que en la yema de los dedos de los pies.

En el ambiente, los estímulos tienen distintas intensidades; por ejemplo, cuando estás en una florería puedes sentir el aroma de las flores, pero si te llevas una flor y la dejas en el patio del colegio, lo más probable es que ya no sientas bien su aroma, aun cuando sea la misma flor. ¿Qué ha sucedido? Algunos estímulos tienen una intensidad tan baja que nuestros receptores no logran captarlos. La intensidad más baja percibida por un individuo se llama **umbral**. Esta puede variar entre una persona y otra, es decir, si el individuo A tiene un umbral para cierto olor más bajo que el individuo B, ante la misma intensidad de ese aroma A lo captará, mientras que B aún no lo sentirá.

El umbral de audición representa el volumen mínimo de un sonido para que pueda ser percibido por el oído humano. Un sonido de 70 decibeles (dB) produce efectos psicológicos negativos en tareas que requieren concentración y atención, mientras que entre 80 y 90 dB puede producir reacciones de estrés, cansancio y alteraciones del sueño. Los ruidos entre 100 y 110 dB caen dentro del denominado umbral tóxico y pueden llegar a ocasionar lesiones del oído medio, mientras que los ruidos superiores a los 120 dB ya forman parte del umbral de dolor.

## Actividad

- Lee la información de la siguiente tabla y **reconoce** a qué rango de sonido (dB) te ves expuesto(a) durante un día de clases y un día de fin de semana.

Fuente de sonido	Decibeles (dB)
Susurro, respiración normal.	10
Rumor de las hojas en el campo al aire libre.	20
Murmullo, oleaje suave en la costa.	30
Biblioteca, habitación en silencio.	40
Tráfico ligero, conversación normal.	50
Oficina grande en horario de trabajo.	60
Conversación en voz alta, gritería, tráfico intenso en la ciudad.	70
Timbre, camión pesado moviéndose.	80
Aspiradora funcionando, maquinaria de una fábrica trabajando.	90
Banda de música rock.	100
Explosión de petardos o cohetes empleados para actos de pirotecnia.	110
Bocina de un auto.	110
Avión durante el despegue a un metro.	150
Motor de un cohete espacial durante el despegue.	180

- Identifica** cuántas de estas situaciones cotidianas pueden resultar nocivas para tu salud.

## Ampliando MEMORIA

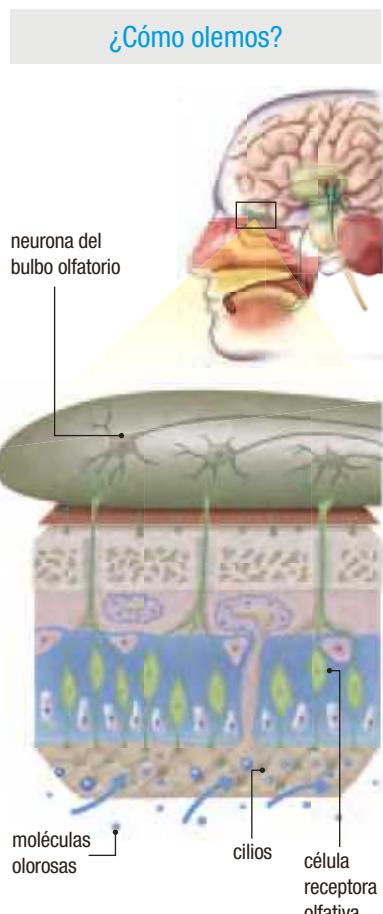
La exposición permanente a decibeles elevados produce la fatiga o el daño definitivo del órgano receptor de la audición; por lo tanto, con los años vamos perdiendo la capacidad de escuchar. Entre más tiempo estamos expuestos a ruidos fuertes, corremos el riesgo de quedar sordos a más temprana edad.

# ¿Cómo es interpretado un estímulo por el sistema nervioso?

Los receptores son capaces de traducir estímulos físicos, térmicos, lumínicos o químicos en impulsos nerviosos. Como ya mencionamos, en el ser humano uno de los receptores que perciben las sustancias químicas del medio externo están ubicados en los epitelios olfatorios, situados en la parte alta de la cavidad nasal. Las sustancias químicas presentes en el aire entran en contacto con los cilios de las células receptoras olfativas que se comunican con neuronas del bulbo olfatorio y transmiten los impulsos nerviosos desde los nervios olfatorios al cerebro.

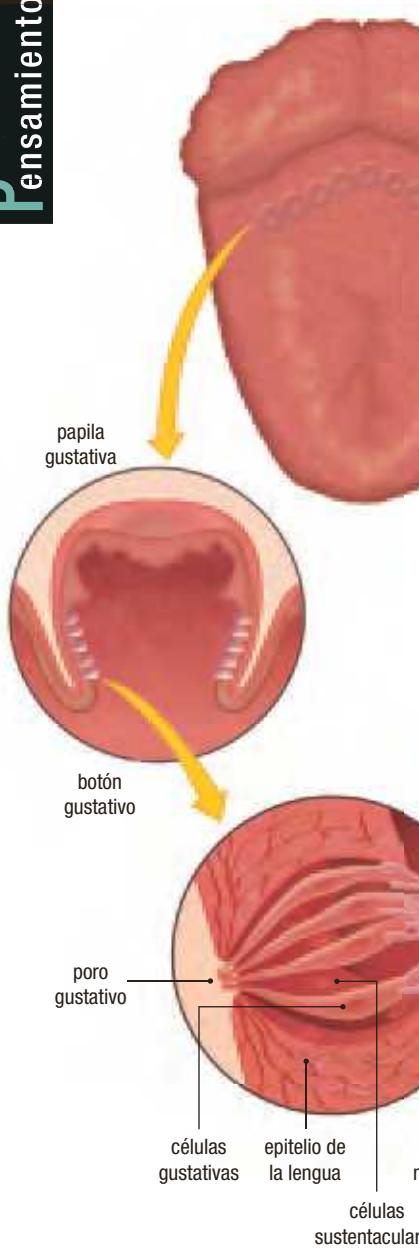
La información de los distintos receptores es enviada al sistema nervioso central para su procesamiento e interpretación. Para realizar esta traducción, las células receptoras poseen proteínas de membrana, que pueden ser canales iónicos en sí mismos, o producir la apertura de canales iónicos adyacentes. Como vimos en la unidad anterior, cuando se abren los canales iónicos, por ejemplo canales de  $\text{Na}^+$ , se produce el movimiento de iones desde donde hay mayor concentración hacia donde hay menor concentración. Esto significa que en la membrana de la neurona se genera un movimiento de iones entre el extracelular y el intracelular, lo que modifica la polaridad de la membrana. Este cambio en la polaridad desencadena la transmisión del impulso nervioso. De esta manera, cuando alguien te toca el hombro, esa presión estimula a los mecanorreceptores y se produce la apertura de canales iónicos, lo que depolariza la neurona y esto envía una señal al sistema nervioso central, el que procesa dicha información e interpreta que “alguien te llama”. El sistema nervioso genera una respuesta, lo que hace que el cuerpo gire hacia donde se produjo dicho estímulo.

En la siguiente figura se muestran diferentes mecanismos de activación de los receptores. Los mecanorreceptores y termorreceptores tienen una activación directa, es decir, es el mismo estímulo el que produce la apertura de los canales iónicos. Los quimiorreceptores y fotorreceptores, en cambio, presentan un mecanismo indirecto de activación, es decir, el estímulo produce un cambio en el receptor, que es captado por una segunda proteína (proteína G), que genera un segundo mensaje, el que produce la apertura de canales iónicos. Los termorreceptores tienen un mecanismo intermedio de activación. Es directo, pero a través de una proteína que está asociada directamente a un canal iónico.



Mecanorreceptores	Termorreceptores	Electrorreceptores	Quimiorreceptores	Fotorreceptores
La presión abre un canal iónico.	La temperatura influye sobre una proteína de membrana, que es un canal iónico o está estrechamente asociada con un canal.	Una carga eléctrica abre un canal iónico.	Una molécula se une a un receptor, lo que inicia una señal que controla a los canales iónicos a través de una cascada de segundos mensajeros.	La luz estimula a una proteína receptora, lo que inicia una cascada de señales que controlan a un canal iónico.
<b>Fuera de la célula</b>				
<b>Interior celular</b>				
Los mecanorreceptores son responsables de captar estímulos relacionados con la presión, el tacto y la vibración.	Los termorreceptores son responsables de captar estímulos relacionados con la detección del frío y del calor.	Los electrorreceptores son responsables de detectar energía eléctrica. No están presentes en los seres humanos, y en los peces están asociados a funciones de orientación.	Los quimiorreceptores son responsables de captar estímulos olfatorios, del gusto y algunas feromonas.	Los fotorreceptores son responsables de captar estímulos lumínicos.

# Al comer un alimento, ¿sentimos todos lo mismo?



## Quimiorreceptores del gusto, coherencia entre resultados y conclusiones

Los quimiorreceptores nos permiten detectar las sustancias químicas de los alimentos, el agua y el aire. En los mamíferos, entre ellos los seres humanos, el gusto es una función realizada principalmente por los **botones gustativos** de la boca. Cada botón está formado por alrededor de 50-100 células epiteliales modificadas, entre las que encontramos células de sostén, llamadas **células sustentaculares**, y otras llamadas **células gustativas**. Estas últimas se ubican alrededor de un pequeño poro, llamado **poro gustativo**. De sus extremos sobresalen varias microvellosidades que se extienden a través del poro gustativo hasta la superficie de la lengua, donde son bañadas en saliva. Estas microvellosidades constituyen la superficie receptora para el gusto. Son las células gustativas las que estimulan una serie de fibras nerviosas que envían la información al sistema nervioso central.

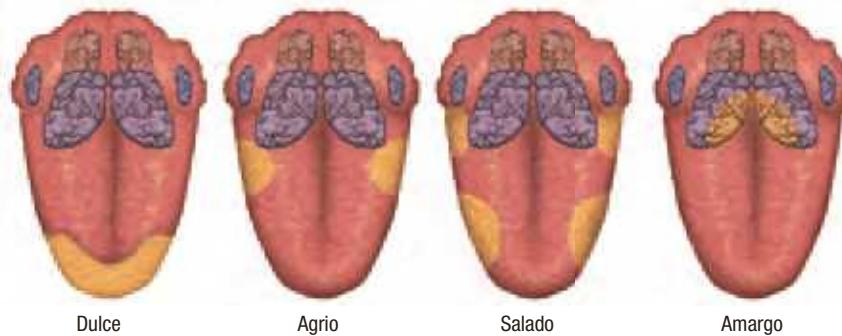
Los botones gustativos se encuentran en tres tipos de **papillas gustativas** al interior de la lengua.

- **Papillas calciformes:** se ubican en una línea en forma de V sobre la superficie posterior de la lengua.
- **Papillas fungiformes:** se localizan en la parte anterior de la lengua.
- **Papillas filiformes:** se encuentran en los pliegues a lo largo de la superficie lateral de la lengua.

En general, los adultos poseen entre 3.000 y 10.000 botones gustativos, mientras que los niños tienen un número mayor. Con la edad, los botones gustativos degeneran, por lo que la sensación de gusto disminuye en los adultos mayores.

Respecto del sabor, tradicionalmente se reconocen cuatro sabores básicos: dulce, agrio, salado y amargo. Aun cuando en el caso humano se ha postulado que la máxima sensibilidad a cada uno de estos sabores se localiza en una zona determinada de la lengua, estudios recientes ponen en duda el patrón descrito. ¿Pero qué es el sabor? Es la impresión que nos causa un alimento o una bebida y está determinado por la combinación entre la estimulación química nasal (olfato) y la oral (gusto). ¿Quieres ponerlo a prueba? Tápate ambas fosas nasales y toma un sorbo de una bebida de sabor conocido. Determina la intensidad del sabor. Después de dos sorbos destapa tu nariz e intenta reconocer si percibes algún sabor. Finalmente, toma la bebida como de costumbre con la nariz destapada y aprecia su sabor. ¿Diferente? Esto se debe a que mientras masticas, lo ingerido libera sustancias químicas que ascienden y estimulan a los receptores olfativos. Es importante destacar que el sabor no solo depende de los cuatro sabores básicos, sino que es la combinación de estos con su olor, textura y temperatura.

## Esquema tradicional de la percepción de los sabores en la lengua



## Antecedentes de una investigación

En el año 1931, en la compañía DuPont, en Delaware, Estados Unidos, el químico norteamericano Arthur Fox trabajaba en su laboratorio en la síntesis de un compuesto llamado feniltiocarbamida, reconocido por sus siglas en inglés como PTC. Cuando manipulaba esta sustancia, que era un polvo blanco, se produjo una corriente de aire que espolvoreó la PTC al ambiente. En el mismo laboratorio se encontraba un colega, con quien estableció el siguiente diálogo:

Noller (colega): ¿Qué estás haciendo allí? ¿Por qué permitiste que algo tan amargo se pusiera en contacto con el aire? ¡Me dan ganas de vomitar!

Fox: ¿Qué quieres decir?

Noller: Esa sustancia con la que trabajas debe haber llegado hasta acá.

Fox: No estoy trabajando con algo amargo. Es la PTC, y tomando con el dedo una muestra se la colocó en la boca y le dije: —¡Mira! Es insípida.

Noller tomó algunos cristales de PTC y colocándolos en su lengua exclamó: —¡Es súper amarga!

Fox quedó intrigado por lo que había sucedido con su colega. ¿Por qué su colega encontraba la PTC tan amarga y él no le sentía ningún sabor?

¿Qué hizo Fox?

Ante esta inquietud, Fox fue a la reunión anual de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (AAAS) en el año 1932 y llevó los cristales de la PTC. Les pidió a los participantes que voluntariamente probaran la PTC y a partir de sus percepciones obtuvo los siguientes resultados.

	Gusta insípido	Gusta amargo	Gusta otro sabor	Total
Nº de personas	698	1.652	150	2.500
%	28%	66%	6%	100%



► Votación realizada por Fox para recopilar los resultados de su investigación.

## ¿Qué conclusión obtuvo Fox con estos resultados?

A partir del análisis de los resultados se pudo comprobar que la detección del sabor de la PTC no estaba relacionada ni con el sexo, ni con la edad, ni con la etnia, ni con ningún otro atributo evidente de las personas. Aproximadamente un cuarto de la muestra no distinguía el sabor, y el resto sí, en distinto grado. Los resultados de esta investigación fueron tomados posteriormente por otros científicos que empezaron a explorar la manera como algunos rasgos o caracteres se distribuían en forma distinta entre los seres humanos.

Investigaciones posteriores demostraron que la capacidad de percibir el sabor de la PTC se heredaba como un rasgo dominante de padres a hijos, y con otra sustancia similar, un compuesto llamado PROP, se agudizaba el sabor amargo. Estos estudios hacen pensar que el 25% de la población es muy sensible a estas sustancias, el 50% es regularmente sensible y el 25% es insensible.

En los últimos años se ha encontrado que las personas que son muy sensibles a sustancias como la PTC evitan el consumo de crucíferas (brócoli, bruselas, coles), así como de otras hortalizas y frutos amargos.

### Actividad

1. A partir de los antecedentes entregados, responde.
  - a. ¿Todas las personas gustan los alimentos de igual forma? **Explica.**
  - b. ¿Qué tipo de papilas son las que detectan la PTC?
  - c. Utilizando un destacador, subraya qué frases de la conclusión se relacionan con los resultados obtenidos.
2. De acuerdo a las últimas investigaciones que relacionan la sensibilidad a sustancias como PTC y PROP con el consumo de crucíferas, **analiza**.
  - a. ¿Cómo podrían probar la existencia de esta relación?
  - b. **Describe** el procedimiento de ese experimento.



► Se ha encontrado que personas sensibles a sustancias como la PTC evitan el consumo de ciertos alimentos, ya que los consideran amargos.

## ETAPAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
- 3. Procedimiento experimental.**
- 4. Obtención de resultados.**
5. Interpretación de resultados.
6. Elaboración de conclusiones.

## ¿CÓMO SE RELACIONAN LOS RESULTADOS CON EL PROCEDIMIENTO?

Los resultados de una investigación se obtienen al poner en práctica un procedimiento experimental que fue previamente definido. Usualmente, los resultados son registrados en tablas o gráficos, recursos que facilitan su posterior interpretación.

## PASOS PARA DESARROLLAR UN PROCEDIMIENTO Y OBTENER RESULTADOS

- Paso 1: plantear y/o conocer el problema de investigación.
- Paso 2: formular una hipótesis relacionando las variables del problema.
- Paso 3: tener claros los objetivos del experimento y, según eso, determinar los materiales y procedimientos necesarios para su cumplimiento.
- Paso 4: llevar a cabo el procedimiento y registrar los datos obtenidos.
- Paso 5: representar estos datos, estableciendo patrones y tendencias.

En esta unidad hemos revisado algunos de los órganos más comunes que poseen los animales, y en especial el ser humano, para percibir el ambiente que los rodea. Sin embargo, dentro de la biodiversidad del planeta existen muchos otros tipos de órganos a través de los cuales se puede percibir el ambiente. Uno de los más interesantes son los órganos de **electropercepción** o **electrorreceptores** de los tiburones y las rayas.

**Planteamiento del problema**

En 1935 se describió la electropercepción en los elasmobranquios (tiburones y rayas). Luego, a partir de la década de los 50, los científicos demostraron que había pequeños órganos, llamados ampollas de Lorenzini, que eran sensibles a campos eléctricos muy débiles, como los que emanan de los organismos vivos. Sin embargo, hasta 1971 no se había demostrado que estos órganos realmente se usaran en la percepción del ambiente. Ese mismo año, el biólogo marino holandés A. Kalmijn realizó una serie de experimentos para responder la siguiente pregunta:

¿Es la electropercepción un mecanismo a través del cual los tiburones y las rayas pueden percibir a sus presas?

**Formulación de hipótesis**

Ante la pregunta planteada, Kalmijn propuso a través de su hipótesis la siguiente explicación: “*La especie de tiburón Scyliorhinus canicula puede percibir el campo electromagnético de su presa (un pez semejante al lenguado) a través de su órgano de electropercepción, las ampollas de Lorenzini*”.

**Procedimiento experimental y obtención de resultados**

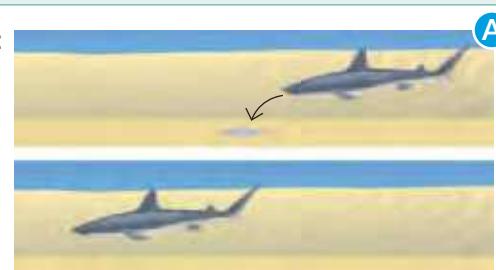
Una vez que Kalmijn planteó su hipótesis, debió generar predicciones que pudieran ser puestas a prueba, para lo cual diseñó una serie de experimentos.

**Predicción 1.** Si el tiburón percibe a su presa por medio de un órgano de electropercepción, entonces al poner obstáculos al uso de sus otros sentidos (por ejemplo, el olfato y la vista), el tiburón de todas formas debería poder detectar a su presa.

Para corroborar esta predicción realizó dos experimentos:

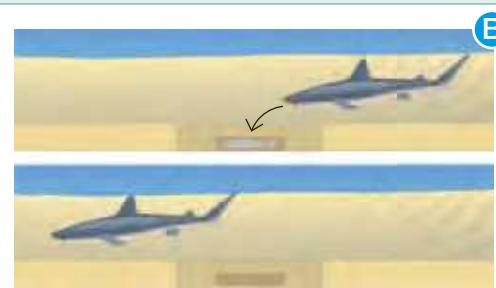
Colocó una presa (pez) debajo de la arena, de tal forma que el tiburón al pasar sobre ella no pudiese observarla.

¿Qué sucedió? El tiburón al pasar por sobre el pez fue capaz de detectarlo, aunque estaba bajo la arena; es decir, lo detectó sin necesidad de verlo.



Se podría pensar que en A no pudo verlo, pero tal vez lo olfateó. Entonces puso la presa bajo la arena en una cápsula con agar, la que impidió que se liberaran sustancias químicas al agua que pudiesen ser detectadas por el olfato del tiburón.

¿Qué sucedió? El tiburón al pasar por sobre el pez fue capaz de detectarlo, aunque estaba bajo la arena; es decir, lo detectó sin verlo y sin poder olfatearlo.



**Predicción 2.** Si el tiburón percibe a su presa por medio de un órgano de electopercepción, entonces al poner una presa muerta (que no genera campos eléctricos) y no permitir la percepción por otros sentidos (visión y olfato) el tiburón no debería poder detectarla.

Para corroborar esta predicción realizó el siguiente experimento:

Colocó una presa (pez muerto, en este caso) debajo de la arena y al interior de la caja con agar.

¿Qué sucedió? El tiburón al pasar por sobre el pez muerto no percibió a su presa. Solo mostró una conducta de ataque más adelante de la presa, donde pudo percibir el olor de los trozos de alimento.



**Predicción 3.** Si el tiburón percibe a su presa por medio de un órgano de electopercepción, entonces al poner obstáculos al uso de los tres sentidos (olfato, vista y electopercepción) el tiburón no debería poder detectar a su presa.

Para corroborar esta predicción realizó el siguiente experimento:

Colocó una presa debajo de la arena y en la caja con agar, pero, además, protegida por una capa aislante que impedía tanto el paso de sustancias químicas como de ondas eléctricas.

¿Qué sucedió? El tiburón al pasar por sobre la presa no la percibió.



**Predicción 4.** Si el tiburón percibe a su presa por medio de un órgano de electopercepción, entonces al poner electrodos que simulan el campo electromagnético de una presa, el tiburón debería mostrar una conducta de ataque.

Para corroborar esta predicción generó un campo electromagnético y el tiburón reaccionó como si se tratara de una presa.



## Interpretación de resultados

Los resultados de los experimentos realizados por el biólogo A. Kalmijn muestran que los tiburones pueden detectar a sus presas a través de las ondas electromagnéticas que ellas emiten, gracias a la presencia de órganos electrorreceptores, actualmente conocidos como ampollas de Lorenzini.

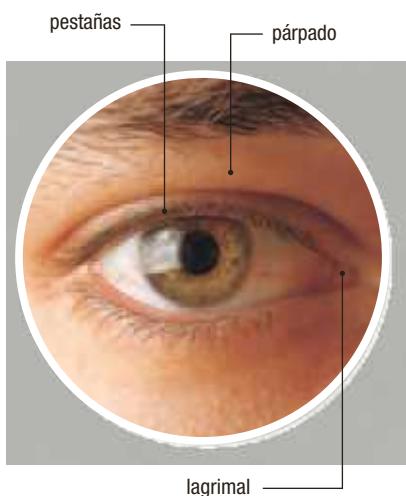
## Elaboración de conclusiones

El investigador pudo concluir que era altamente probable que la especie de tiburón estudiado percibiera a sus presas a través de los distintos órganos de los sentidos que posee, lo cual le permitiría habitar diferentes ambientes (por ejemplo, sin luz) y ser más eficiente en la detección de sus presas.

- ¿Qué resultado experimental permite afirmar que estos animales poseen receptores electromagnéticos?
- Al analizar los resultados podríamos suponer que los tiburones solo perciben a sus presas mediante sus receptores electromagnéticos (las ampollas de Lorenzini). Diseña un experimento que permita poner a prueba dicha predicción.



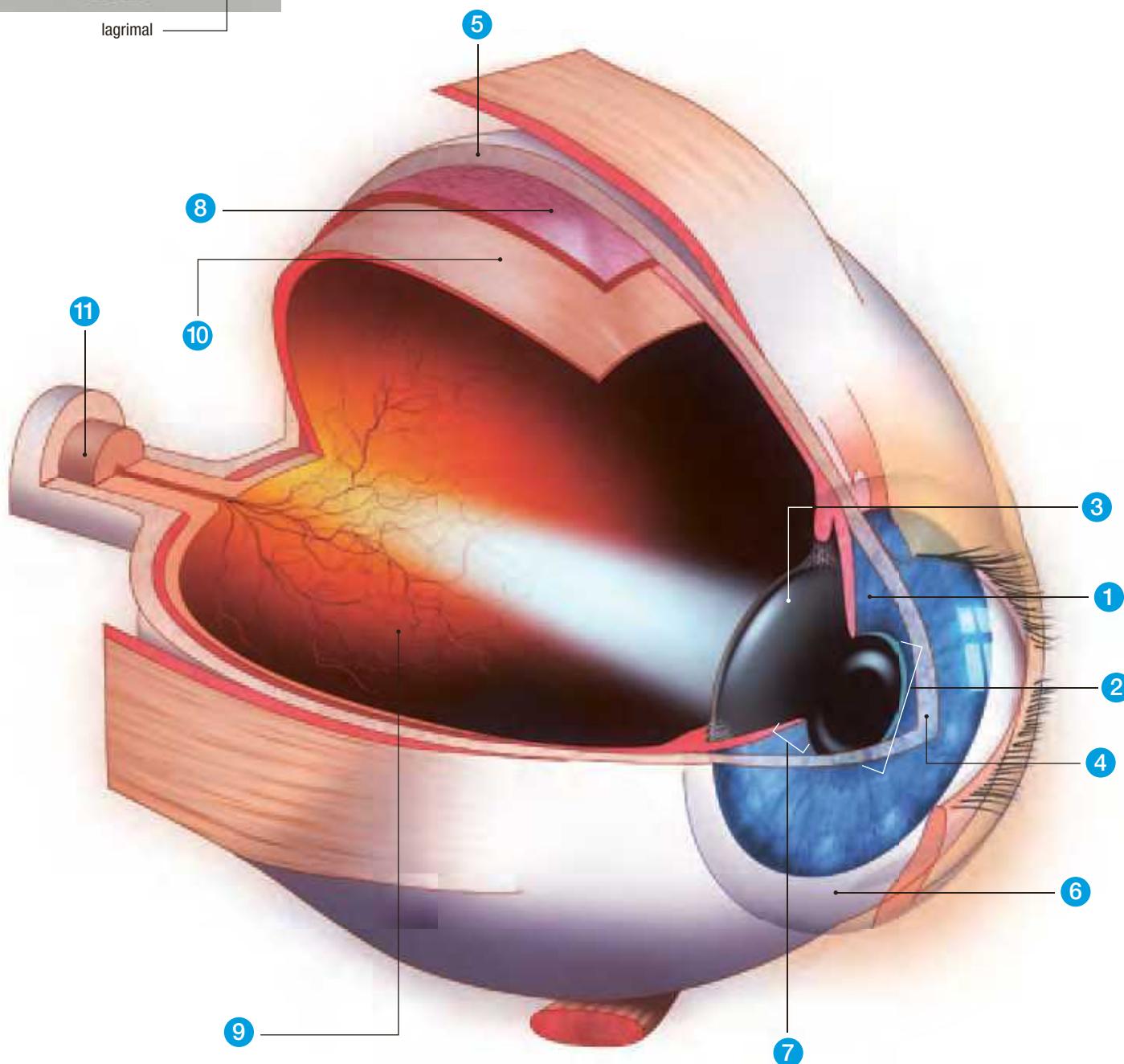
# El ojo humano



Los ojos están protegidos por tres estructuras, principalmente. Por fuera, los cubre un pliegue de piel llamado **párpado**, que permite su apertura y cierre. Otro componente externo son las **pestañas**, que se ubican en el borde de los párpados y protegen a los ojos del ingreso de cuerpos extraños. Por dentro de los ojos están los **lagrimales**, que los lubrican y humedecen permanentemente.

En términos muy generales y como iremos viendo a lo largo de estas páginas, la secuencia de la visión comienza con los rayos de luz que entran al ojo por la córnea, la zona anterior, abombada y transparente del globo ocular, atraviesan distintas partes del ojo hasta que llegan a los fotorreceptores ubicados en la retina y de ahí la información viaja como impulsos nerviosos a la corteza visual, ubicada en el cerebro.

Comencemos viendo cuáles son las estructuras internas del ojo y qué funciones cumplen.



## Estructuras oculares

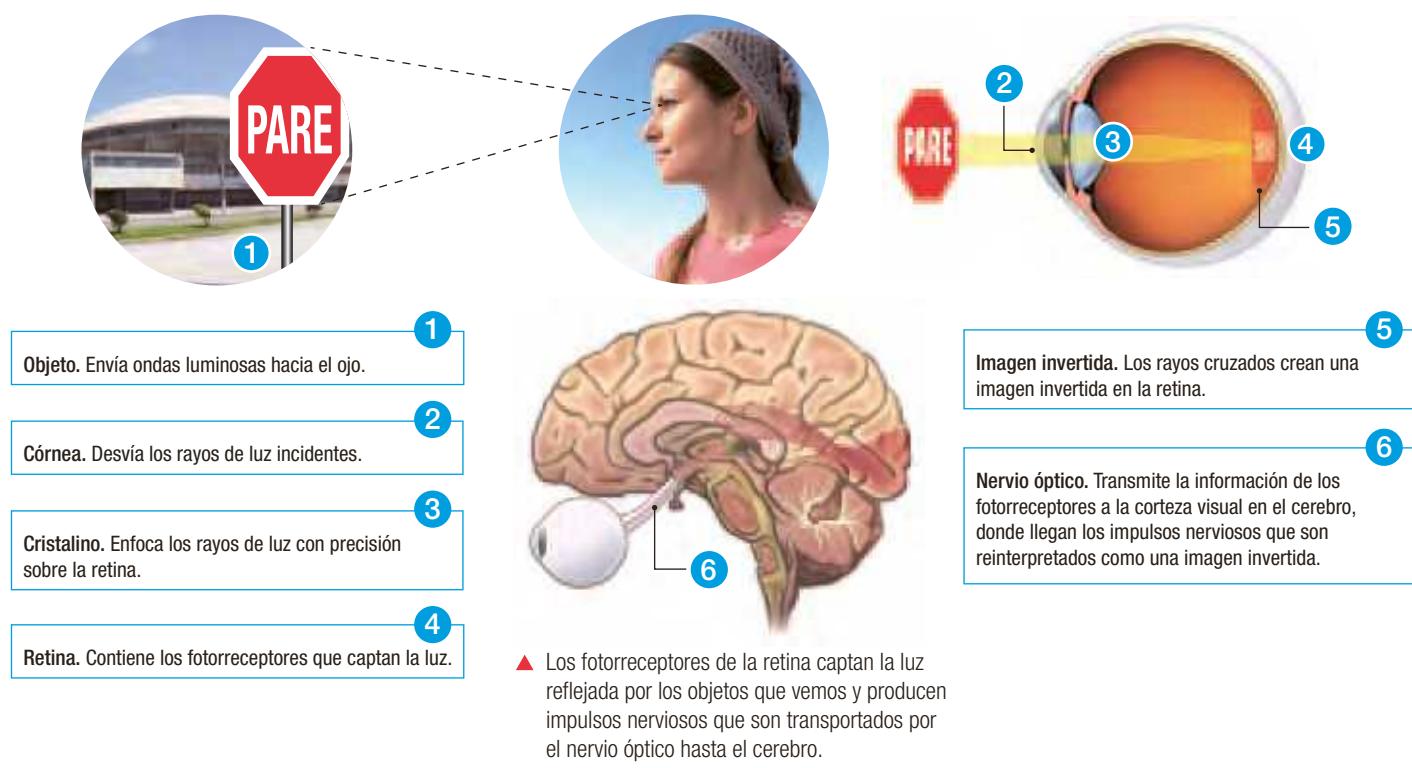
- (1) **Iris:** disco muscular pigmentado, que permite abrir y cerrar la pupila. Su función principal es regular la cantidad de luz que ingresa al interior del ojo, modificando el tamaño de la pupila, como un diafragma.
- (2) **Pupila:** corresponde al orificio que se encuentra en el centro del iris.
- (3) **Cristalino:** es un cuerpo sólido, elástico y transparente, que tiene una curvatura que puede ser ajustada de acuerdo a la distancia a la que se encuentra la imagen. Actúa como un lente.
- (4) **Córnea:** es una membrana transparente, forma parte de la esclerótica y se ubica en la zona anterior del ojo.
- (5) **Esclerótica:** corresponde a la membrana externa del globo ocular que le otorga forma y consistencia al ojo. Es la que le da el color blanco al ojo.
- (6) **Conjuntiva:** delicada membrana que cubre y lubrica a la esclerótica.
- (7) **Humor acuoso:** es un líquido transparente, ubicado en la parte anterior del ojo, entre el cristalino y la córnea. Entre sus funciones está proporcionar tono o presión al globo ocular.
- (8) **Coroides:** es una membrana intermedia del globo ocular. Presenta vasos sanguíneos; por lo tanto, su función se asocia principalmente con el suministro de nutrientes al ojo.
- (9) **Humor vítreo:** corresponde a un líquido gelatinoso y transparente. Se encuentra detrás del cristalino y está limitado por la retina.
- (10) **Retina:** corresponde a la capa más interna del globo ocular. En ella se encuentran los fotorreceptores o receptores de luz.
- (11) **Nervio óptico:** se forma a partir de las células ganglionares, sale desde los ojos y lleva la información de los fotorreceptores al sistema nervioso central.

### ¿Cómo se forman las imágenes en nuestro sistema nervioso?

Para poder ver, es imprescindible que la luz llegue a los fotorreceptores que se encuentran en la parte posterior de los ojos; por lo tanto, las estructuras oculares deben ser transparentes y permitir su paso.

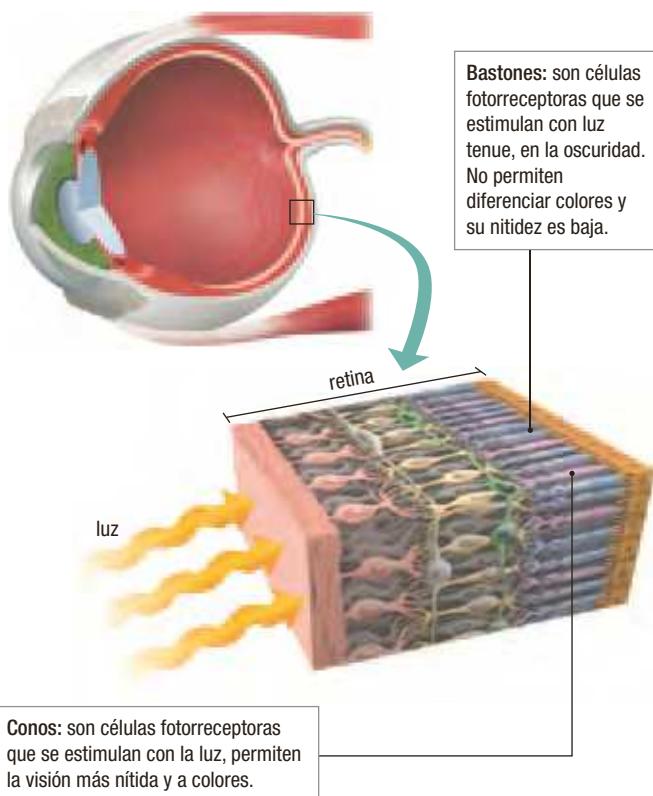
Los estímulos lumínicos atraviesan todo el ojo y llegan a su parte posterior, llamada retina. Las imágenes al pasar por el cristalino se

invierten; por lo tanto, la información recibida por los fotorreceptores de la retina está “al revés”. Esta misma imagen invertida es llevada a la corteza visual, donde debe ser interpretada como una imagen correcta, es decir, debe reinvertirse.



# Los fotorreceptores

Nuestros ojos nos permiten percibir los estímulos lumínicos que nos rodean. Para ello tenemos células especializadas en la retina, capaces de captar las diferentes longitudes de onda de la luz y enviar dicha información al sistema nervioso central. En el cerebro esta información es procesada, lo que nos permite realizar interpretaciones de lo que estamos viendo. El mecanismo de interpretación de los estímulos se inicia por medio de dos tipos de células fotorreceptoras: los **bastones** y los **conos**. Los bastones se estimulan a baja luminosidad (penumbra) y se inhiben con alta luminosidad (luz de día); los conos, en cambio, son los responsables de la visión a color y se estimulan con alta luminosidad y no se activan si no hay luminosidad suficiente. Estos fotorreceptores forman sinapsis con neuronas bipolares (interneuronas), que a su vez hacen sinapsis con otras neuronas y transmiten los impulsos nerviosos al cerebro.

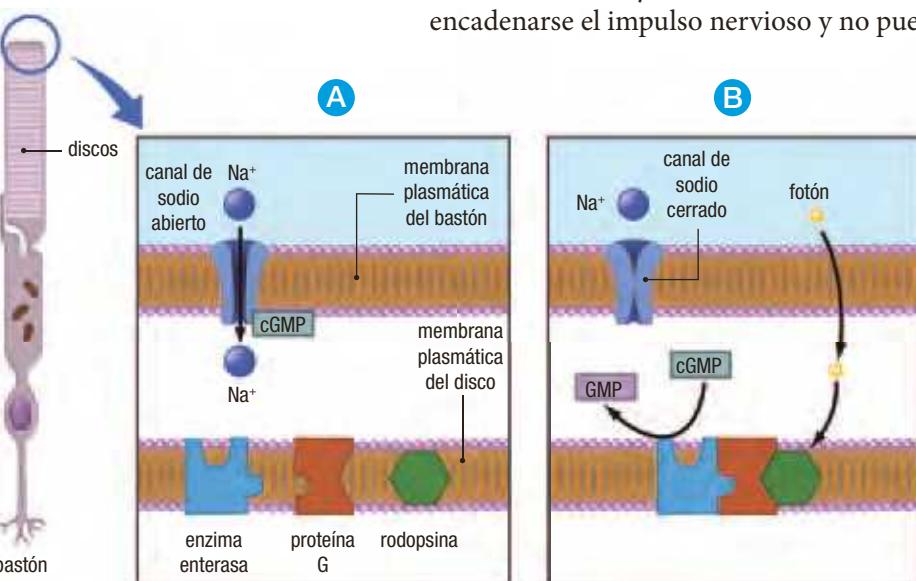


Los fotorreceptores responden a la luz en función de los pigmentos visuales que poseen (opsinas). Los bastones contienen **rodopsina** (un tipo de opsin) y presentan mayor sensibilidad hacia la longitud de onda de los 500 nm (luz verde azulada). Los conos, por su parte, tienen otros tres tipos de **opsinas**. Un tipo presenta mayor sensibilidad para las longitudes de onda larga (luz roja), otro es sensible a las longitudes de onda media (luz verde) y el otro tipo tiene mayor sensibilidad a las longitudes de onda corta (luz azul). Cada uno de los tipos de conos posee solo uno de los tres pigmentos de color, lo que determina su sensibilidad selectiva a colores distintos: azul, verde o rojo.

¿Por qué los bastones no funcionan en presencia de luz de día?

Cuando la retina está en condiciones de oscuridad, se abren una serie de canales iónicos que permiten fundamentalmente la entrada de iones sodio a los bastones. Este ingreso depolariza parcialmente sus membranas, lo que permite que se desencadenen impulsos nerviosos que serán enviados al cerebro.

En cambio, cuando la luz estimula a la molécula de rodopsina presente en los bastones, ubicada en unas estructuras membranosas llamadas discos, se producen una serie de cambios que van a provocar el cierre de los canales iónicos permeables al sodio. Por lo tanto, cesa la entrada de sodio y la membrana de los bastones se hiperpolariza, con lo que deja de desencadenarse el impulso nervioso y no pueden seguir conduciendo información al cerebro.



**A Penumbra.** La oscuridad estimula la apertura de canales de Na<sup>+</sup> y cambia el potencial de reposo de la membrana, lo que a su vez estimula la apertura de canales de sodio voltaje dependientes y se produce la transmisión del impulso nervioso.

**B Luz de día.** Las longitudes de onda generadas por la luz estimulan a la rodopsina y esta se une a una proteína G. Como resultado, se cierran los canales de Na<sup>+</sup>, lo que inhibe la transmisión de información desde estas células fotorreceptoras.

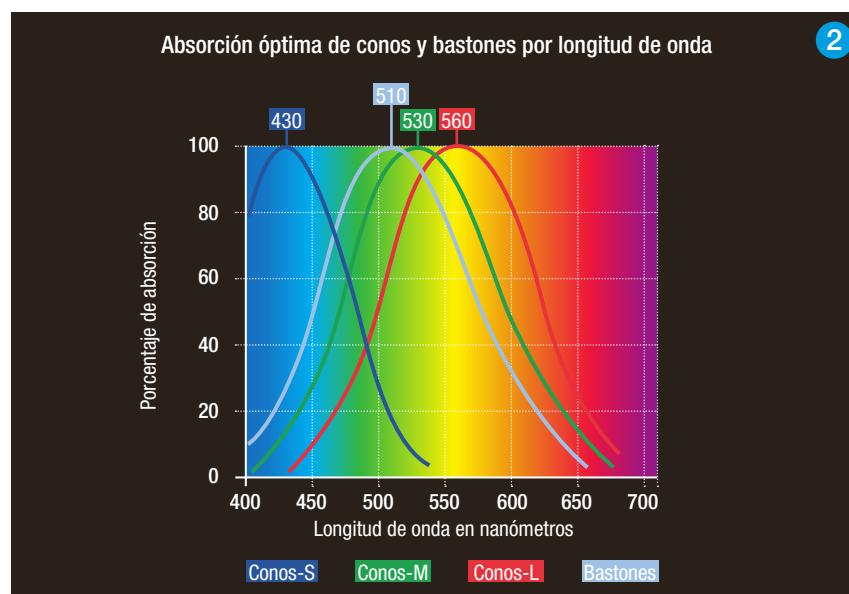
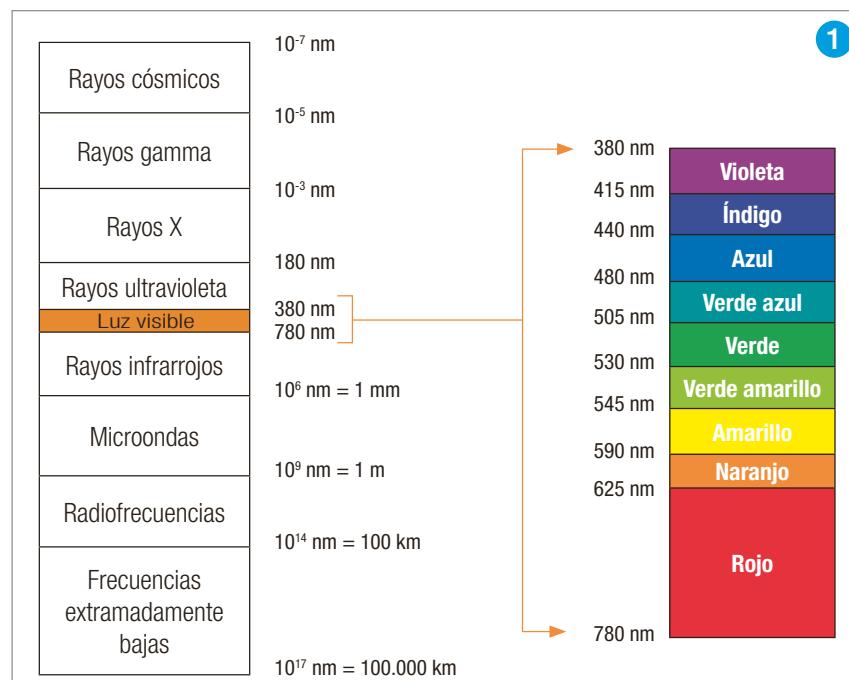
# Visión a colores

Nuestro Universo está rodeado por ondas electromagnéticas de distintas longitudes. La **luz visible** es una porción de este espectro capaz de estimular a los **fotorreceptores**.

Este espectro visible va desde los 380 nm, que corresponde al ultravioleta, hasta los 780 nm del infrarrojo. Entre ambos valores se encuentran las longitudes de onda de todos los colores visibles (1).

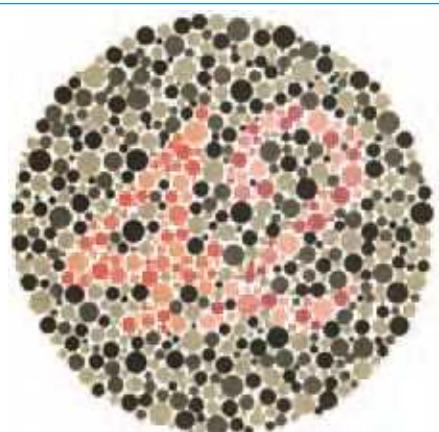
Como ya mencionamos, nuestra retina presenta dos tipos de células receptoras: los bastones y los conos. Encontramos tres tipos de conos capaces de percibir estímulos en diferentes longitudes de onda: conos rojos, verdes y azules, los que permiten la visión a color (2). Por ejemplo, la luz monocromática anaranjada (580 nm) estimula a los conos rojos en un 99%, a los verdes en un 42% y a los azules en un 0%. De esta forma, el sistema nervioso interpreta este grupo de valores como una sensación de naranja. Por su parte, la luz monocromática azul (450 nm) estimula a los conos azules en un 97% y a los verdes y rojos en un 0%, por lo que el sistema nervioso interpreta este grupo de valores como una sensación de azul. Finalmente, la luz blanca, que es una combinación de todas las longitudes de onda del espectro, estimula por igual a los tres tipos de conos.

Como vimos anteriormente, el dicho “en la noche todos los gatos son negros” está relacionado con que en la oscuridad no somos capaces de distinguir bien los colores ni las formas nítidamente. Así, cuando en la noche vamos al baño y no prendemos la luz, si bien reconocemos formas, como una mesa, no somos capaces de ver el detalle de las cosas que hay sobre ella. Esto se debe a que las células fotorreceptoras que se estimulan a baja luminosidad son los bastones y no los conos.



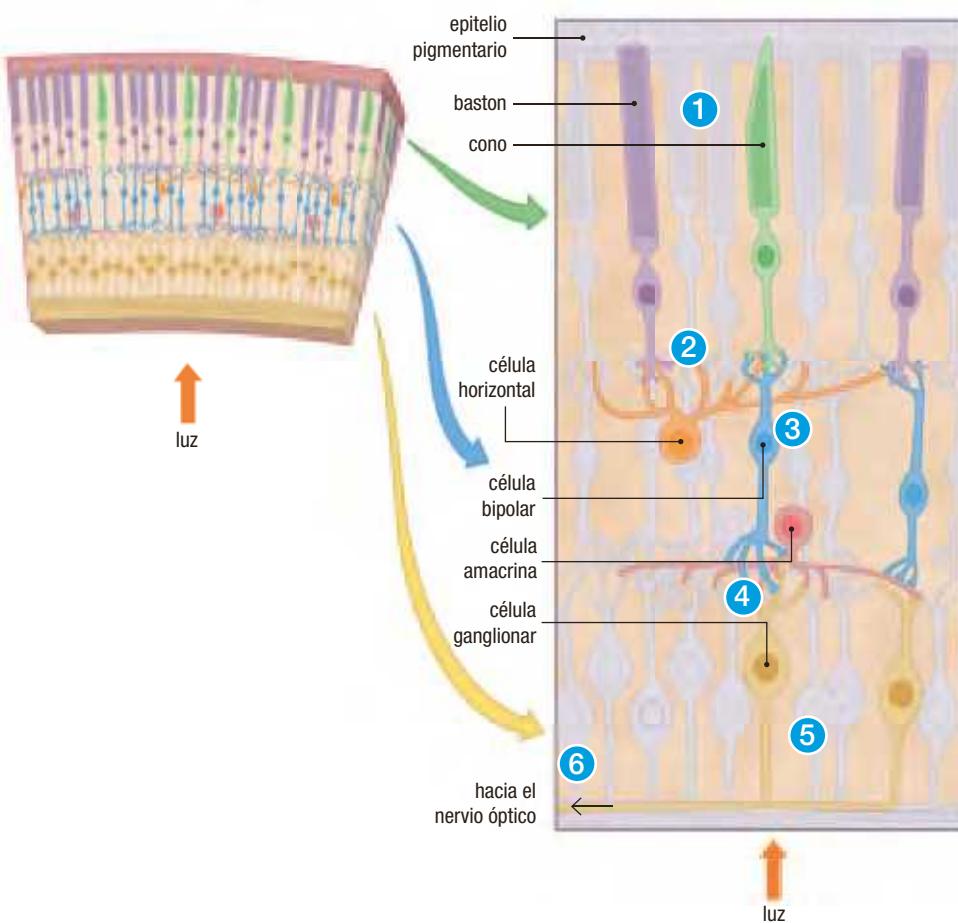
El **daltonismo** es una condición genética que aparece casi exclusivamente en varones y es un tipo de herencia asociada al cromosoma X. Se estima que alrededor de un 8% de las mujeres son portadoras del gen para este trastorno. Se incluye dentro del daltonismo a distintas anomalías de la visión de colores. Veamos un ejemplo:

“Cuando Esteban fue a sacar documentos para conducir le hicieron una serie de pruebas médicas asociadas a la visión. Entre ellas debió observar una fotografía y mencionar los números que en ella aparecían. Esteban miró fijamente la imagen y dijo que veía el número 2. Ante el asombro del oftalmólogo, este le solicitó que mirara nuevamente y Esteban reafirmó su primera impresión”. ¿Qué le sucede? Algunas personas carecen de conos rojos o verdes, con lo cual no pueden distinguir el rojo del verde, y se dice que padecen daltonismo. En el caso de Esteban, padece de ceguera para el rojo, por lo que no puede ver el número 4. Si hubiese visto el 4 en vez del 2, habría padecido ceguera para el verde. Una persona con visión normal puede ver el número 42. ¿Qué ves tú?”



# Procesamiento visual

Como ya dijimos, es nuestro sistema visual el que nos permite distinguir los objetos del entorno. Para ello, la luz debe atravesar varias capas de células y así alcanzar a los fotorreceptores, bastones y conos, que tapizan el interior del ojo. Los bastones están dispersos por la retina y, como ya vimos, son sensibles a la luz tenue, pero no diferencian los colores. Los conos se concentran en la **fóvea**, una pequeña depresión de la retina donde llegan los rayos de luz. Esta zona solo posee conos y está especialmente capacitada para la visión aguda y detallada.

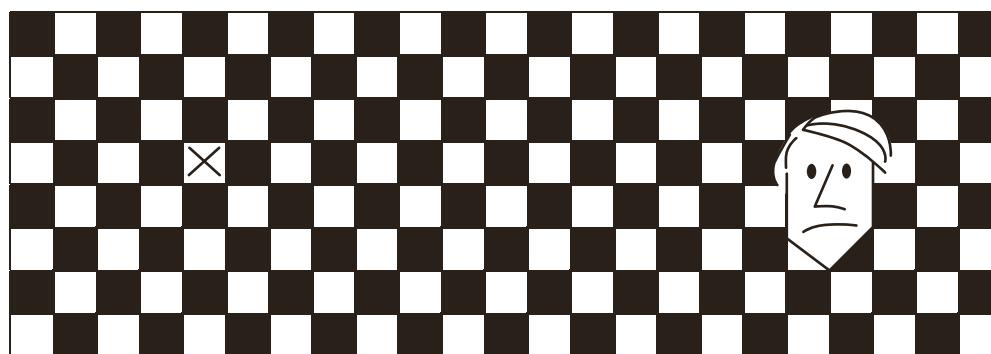


En la retina ocurre un considerable procesamiento de la información antes de ser transmitida al cerebro. Tanto las fibras nerviosas de los conos como las de los bastones conectan con las del nervio óptico a través de células intermedias de la retina. Veamos esa secuencia de manera simplificada. Tal como se observa en la figura, las señales que envían las células fotorreceptoras estimuladas por la luz (1) son transmitidas luego a las células horizontales (2). Estas envían señales hasta las dendritas de las células bipolares (3), neuronas que luego hacen sinapsis con células ganglionares y amacrinas (4), cuyos axones convergen a las células ganglionares (5) y de ahí al nervio óptico (6), el que transmite la imagen a la corteza visual del cerebro.

Todos los axones de las neuronas ganglionares salen de la retina y en la parte posterior del globo ocular pasan por un **punto ciego**, zona denominada así porque no tiene células fotorreceptoras, sino solo fibras nerviosas. Descubre tu punto ciego al realizar la siguiente actividad.

## Actividad

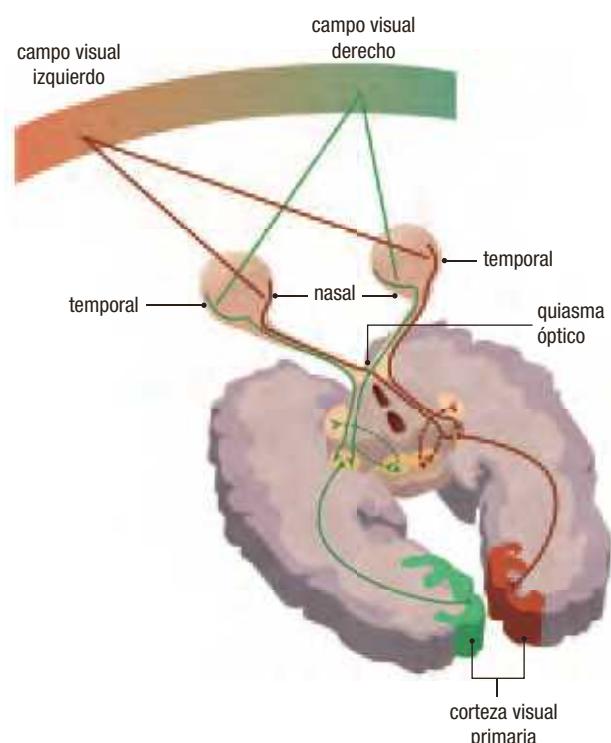
1. Cierra el ojo izquierdo y fija tu mirada con el ojo derecho en la cruz. Procura que la distancia con el libro sea de aproximadamente 25 cm. ¿Qué sucede con la imagen de la cara? **Descubre tu punto ciego.**



## Quiasma óptico

Las fibras que conforman el nervio óptico nacen de las células ganglionares ubicadas en la retina de cada ojo y se dirigen a la corteza visual ubicada en el cerebro. En la figura se observa que a nivel del **quiasma óptico**, el 50% de las fibras nerviosas de un ojo pasa al lado opuesto. Así, la mitad de las fibras del ojo derecho pasan al lado izquierdo, y lo mismo sucede a la inversa con la mitad de las fibras del lado derecho. La corteza visual se ubica en el lóbulo occipital del cerebro, en ambos hemisferios. Por lo tanto, al entrecruzarse las fibras nerviosas, a la corteza del hemisferio derecho llega la información proveniente del campo temporal del ojo derecho y del campo nasal del ojo izquierdo y a la corteza del hemisferio izquierdo llega la información proveniente del campo temporal del ojo izquierdo y del campo nasal del ojo derecho.

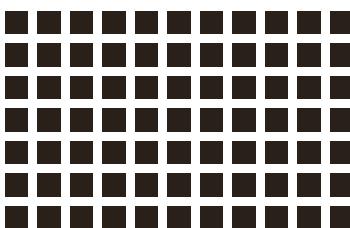
Los campos visuales de ambos ojos se superponen justo delante del rostro y solo los objetos que están en esa zona forman una imagen en cada ojo, lo que permite que la corteza visual las compare para evaluar su distancia y profundidad. La combinación de las imágenes de ambos ojos en una sola se llama **visión binocular**, lo que le da una sensación de tridimensionalidad a los objetos que observamos.



## Ilusiones ópticas

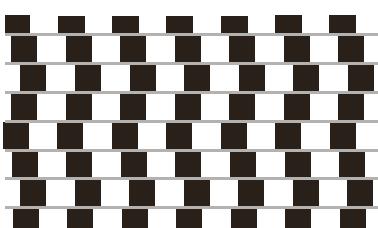
Si consideramos que el cerebro hace una reconstrucción de la realidad, podemos decir que todo lo que vemos es una ilusión óptica. Para hacer estas reconstrucciones, el cerebro compara lo que ve con lo que sabe y a partir de eso elabora respuestas y logra comprender lo que “está afuera”. Veamos algunos ejemplos donde la información puede resultar un tanto confusa.

¿Ves las manchas grises?



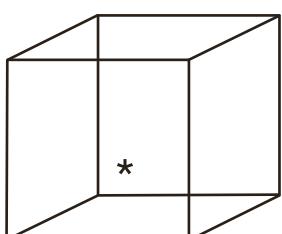
Basta tapar los cuadrados negros para ver que las bandas blancas son homogéneas y no hay manchas grises. Esta ilusión se relaciona con el modo en que procesamos los contrastes.

¿Las líneas son paralelas?



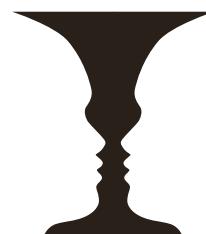
Estas líneas horizontales no parecen en absoluto paralelas, pero en realidad lo son. Es la posición de los cuadrados negros la responsable de este efecto. Compruébalo tú mismo con una regla.

¿Desde qué perspectiva ves el cubo?



Este es uno de los ejemplos más típicos de lo que es una ilusión óptica. Al traer hacia adelante uno de los vértices (\*) se ve el cubo desde arriba y al llevarlo hacia atrás se ve de frente. Si lo miramos durante un rato, ambas perspectivas se irán alternando.

¿Qué ves?

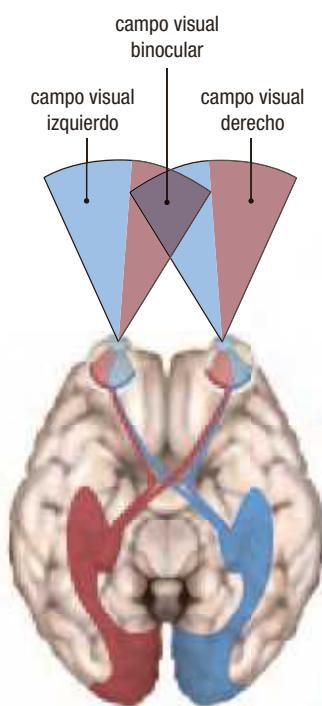


Esta ilusión enfrenta al cerebro al dilema de decidir qué define como fondo. Uno de los mecanismos es reconocer los lugares donde hay cambios bruscos de color y considerarlos como bordes de separación para decidir cuáles están en primer plano y cuáles no. ¿Rostros enfrentados o una copa?

# ¿Cuánto podemos ver?



▲ El campo visual es lo que abarca la mirada cuando se dirige hacia algún punto fijo.



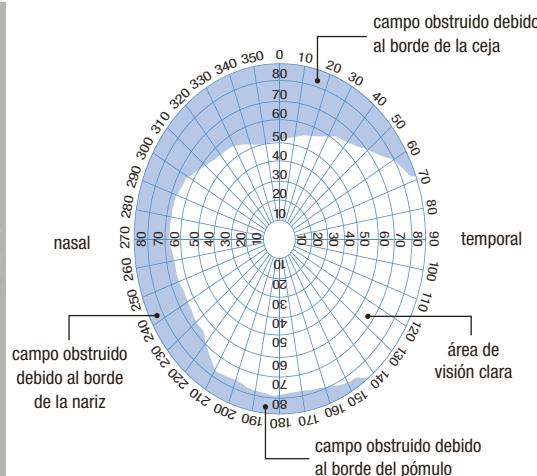
▲ Los seres humanos tenemos visión binocular.

Los seres humanos tenemos los ojos hacia adelante, lo que nos permite ver los objetos que se encuentran en un determinado rango de visión y si están fuera de este espacio no podemos verlos. Al mirar hacia adelante, el espacio que podemos “observar” se llama campo visual. La extensión del **campo visual** de cada ojo en una persona está limitada por la nariz, el borde de las cejas y la mejilla. Es en la región central, donde la visión de ambos ojos se superpone extensamente.

El campo visual de una persona puede ser medido mediante un examen que debe solicitar un oftalmólogo, llamado **campimetría**. Durante el procedimiento se medirá el campo de cada ojo de manera independiente. Para ello, el paciente deberá cerrar uno de sus ojos y con el otro deberá mirar fijamente hacia adelante. El tecnólogo le pedirá que le indique cuándo ve y cuándo deja de ver un haz luminoso que irá desplazando a lo largo del campo visual del ojo estudiado. Posteriormente, se repetirá la misma maniobra con el otro ojo. A partir de los resultados se elabora un mapa que grafica el campo visual de cada ojo. Para ver si el campo visual de una persona varía, se puede comparar el resultado de dos campimetrías obtenidas en momentos distintos.



▲ Examen de campimetría.



▲ Mapeo del campo visual.

Los **glaucomas** son un grupo de trastornos que afectan a los ojos y que se caracterizan por una pérdida progresiva de las fibras nerviosas de la retina y cambios en el aspecto del nervio óptico. Como resultado de esta afección, disminuye el campo visual de la persona, pudiendo llegar a una pérdida total de la visión. Este padecimiento se caracteriza porque no presenta síntomas perceptibles en las primeras fases de la enfermedad y cuando estos aparecen, muchas veces la patología está en un punto avanzado de su evolución.

## Ampliando MEMORIA



El campo visual de los animales es variado. Los conejos, por ejemplo, tienen un campo visual cercano a los 360°, aunque su visión estereoscópica o tridimensional es muy deficiente, a diferencia de la nuestra.



▲ Visión normal.



▲ Glaucoma avanzado.



▲ Inicio de un glaucoma.



▲ Glaucoma extremo.

# Alteraciones de la visión



Viviana fue a la playa con sus familiares y frente a ellos vio que otro grupo de personas paseaba.

¿Qué sucede en este caso?



Como ya vimos, cuando se observa una imagen, la luz entra por la pupila, pasa por el humor acuoso y luego por el cristalino. Aquí se produce la inversión de la imagen que llega hasta la retina, donde están los fotorreceptores que envían dicha información al sistema nervioso.

Aunque para Viviana la imagen de la familia y del entorno en la playa era muy clara y nítida, no sucedió lo mismo con el resto de las personas que la acompañaban.



La hermana mayor de Viviana mira y aunque ve nítidamente a la familia, que está muy cerca de ellos, no logra apreciar el paisaje que hay atrás. Es decir, la imagen lejana la ve muy borrosa.

¿Qué sucede en este caso?



La hermana de Viviana sufre de **miopía**. Cuando ella observa la imagen, la luz también entra por la pupila, pero la información no alcanza a llegar a la retina y la imagen se forma delante de ella. Como resultado, la retina capta una imagen borrosa y deformada.

Esto puede producirse por causas congénitas, hereditarias o desarrollarse durante la infancia. Puede ocurrir producto de una elongación anormal del ojo, o por un aumento en la capacidad de refracción (cambio de dirección de la luz) de la córnea, del cristalino o del humor acuoso. Por último, también puede producirse por cambios en la curvatura del cristalino, aunque es menos frecuente.

¿Cómo se corrige?



La miopía se corrige con un **lente divergente cóncavo**.



El primo, que estaba tendido en la toalla, se incorpora y no logra visualizar con nitidez a la familia. La imagen la ve borrosa, aunque en este caso, él sí logra visualizar el paisaje lejano con claridad.

¿Qué sucede en este caso?



El primo sufre de **hipermetropía**. Cuando él observa la imagen, la luz pasa por el humor acuoso y por el cristalino, pero la información de la imagen tampoco confluye en la retina, sino que detrás de ella. Por lo tanto, a nivel de la retina la imagen que se forma es borrosa.

En la mayoría de los casos este problema se asocia a ojos pequeños, con un diámetro menor de lo normal. También se puede deber a alteraciones de la curvatura de la córnea o del cristalino. Esto puede ser adquirido de manera congénita o hereditaria.

¿Cómo se corrige?

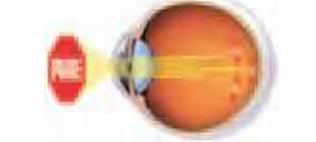


La hipermetropía se corrige con un **lente convergente convexo**.



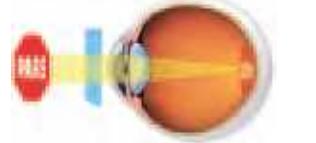
El abuelo mira desde su silla y realmente no logra apreciar lo que le indica la nieta. Para él, tanto la familia cercana como el paisaje lejano se ven borrosos y distorsionados.

¿Qué sucede en este caso?



El abuelo sufre de **astigmatismo**. En sus ojos la córnea no tiene la curvatura normal, por lo tanto, al observar la imagen la luz ingresa al ojo de manera deformada. Así, la información de la imagen cae en diferentes partes: antes de la retina, en la retina y después de la retina, lo que genera una imagen borrosa. Esto puede producirse por causas hereditarias y presentarse desde el nacimiento o aparecer con los años debido a la pérdida de flexibilidad de la córnea. Otras causas pueden ser por un traumatismo o como consecuencia de operaciones a los ojos.

¿Cómo se corrige?



El astigmatismo se corrige con un **lente cilíndrico**.

# A analizando disco

## I. Responde las preguntas de alternativas.

### Adaptación al entorno

1. A partir de la información que aparece en la etiqueta nutricional es correcto afirmar que:

Datos nutricionales	
Tamaño de la porción 1 taza (228 g)	Porciones por envase 2
Cantidad por porción:	
Calorías 260	Calorías provenientes de grasas 120
	% del valor diario*
Grasa total 13 g	20%
Grasas saturadas 5 g	25%
Colesterol 660 mg	10%
Sodio 660 mg	28%
Total de carbohidratos 31 g	10%
Fibra dietaria 0	0%
Azúcares 5 g	
Proteínas 5 g	

\* El porcentaje de los valores diarios está basado en una dieta de 2.000 calorías.

- A. El envase contiene 5 g de grasas.
  - B. El consumo del envase aporta 260 cal.
  - C. La porción de alimento que está en mayor cantidad es el sodio.
  - D. El consumo del alimento no tiene aporte de hidratos de carbono.
  - E. La porción aporta un 28% del consumo recomendado de sodio en una dieta de 2000 cal.
2. Si viajamos al Altiplano, ¿cómo podría responder nuestro organismo?
- A. Bajando la presión sanguínea.
  - B. Aumentando el tamaño del tórax.
  - C. Disminuyendo el volumen sanguíneo.
  - D. Disminuyendo el consumo de oxígeno.
  - E. Aumentando la ventilación pulmonar.
3. Identifica la afirmación que mejor representa la función que cumple la interneurona en el arco reflejo.



- A. Capta el estímulo externo.
- B. Produce la respuesta en el efector.
- C. Determina la intensidad de la respuesta al estímulo.
- D. Transforma la información del receptor en un impulso nervioso.
- E. Establece sinapsis entre la neurona sensitiva y la neurona motora.

4. Los termorreceptores son capaces de captar la temperatura externa. El cambio de temperatura:

- A. Inhibe a una proteína G interna.
- B. Estimula a un receptor de membrana externo.
- C. Estimula directamente a un segundo mensajero.
- D. Inhibe a una proteína de membrana asociada a una proteína G.
- E. Estimula a una proteína de membrana asociada a un canal iónico.

5. ¿Cómo responde una planta a un estímulo luminoso?

- A. Alargando las raíces.
- B. Ensanchando el tallo.
- C. Absorbiendo más agua.
- D. Perdiendo hojas verdes.
- E. Creciendo hacia el estímulo.

6. ¿En qué consiste el reflejo de presión que tienen los bebés?

- A. Al nacer presionan los párpados hacia abajo.
- B. Al tocarle la palma de la mano la cierran.
- C. Al tocarle la planta del pie estiran la pierna.
- D. Al presionarle la espalda arquean el cuerpo.
- E. Al presionarle el empeine doblan la rodilla.

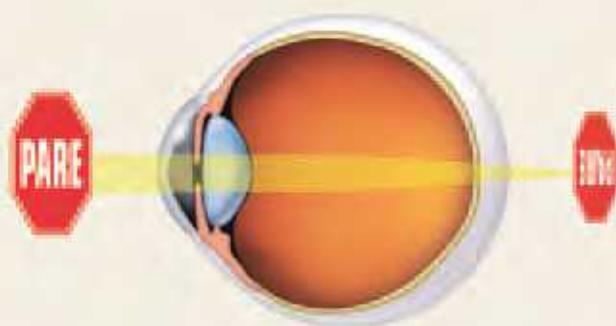
7. ¿Qué consecuencias presentará el bloqueo representado en la figura?



- A. Los centros respiratorios se verán inhibidos ante los estímulos carotideos y aórticos.
- B. Los cuerpos carotideos y aórticos no detectarán los cambios en los niveles de PCO2 sanguínea.
- C. Se bloqueará la comunicación entre los cuerpos carotideos y aórticos, y los centros respiratorios.
- D. La frecuencia respiratoria se mantendrá constante independiente de los valores de PCO2 sanguínea.
- E. No se producirá respuesta de los centros respiratorios a los estímulos de los cuerpos carotideos y aórticos.

**Estructura del ojo**

- 8.** Si pasamos un haz de luz frente a un ojo, podemos observar que:
- Caen lágrimas.
  - Se dilata la córnea.
  - Se abren los párpados.
  - Aumenta el diámetro del iris.
  - Disminuye el diámetro de la pupila.
- 9.** ¿Qué nombre recibe el líquido que se encuentra en la cámara anterior del ojo?
- Plasma.
  - Lágrimas.
  - Humor vítreo.
  - Humor acuoso.
  - Líquido intracelular.
- 10.** Los conos, a diferencia de los bastones:
- Permiten la visión en colores.
  - Se activan con baja intensidad de luz.
  - No se encuentran en la fóvea de la retina.
  - No pueden distinguir la nitidez de lo observado.
  - Son de un solo tipo los que están en la retina.
- 11.** A partir de la siguiente figura es correcto afirmar que se trata de un ojo:

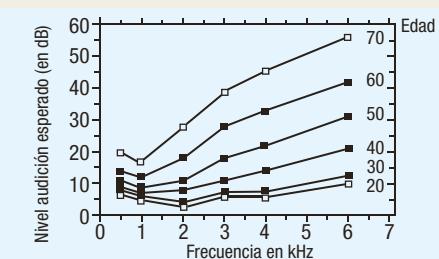


- Normal.
- Con miopía.
- Con glaucoma.
- Con astigmatismo.
- Con hipermetropía.

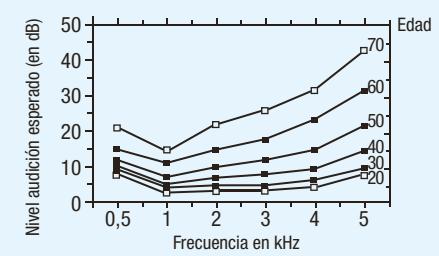
**II. Responde las preguntas de desarrollo.****Integración orgánica**

- 12.** Muchos animales pasan la estación invernal hibernando. ¿Qué características tiene este estado?
- 13.** Analiza la información de los siguientes gráficos y luego responde.

Niveles de audición esperados para hombres en función de la edad



Niveles de audición esperados para mujeres en función de la edad



- ¿Cuál es la principal diferencia entre hombres y mujeres respecto de la pérdida de la audición?
- Compara la audición de hombres y mujeres a los 20, a los 50 y a los 70 años.

**PISTAS**

Analiza los datos de ambos gráficos y compara los niveles de audición para un mismo rango de edad tanto en hombres como en mujeres y luego compara lo que sucede en cada caso con el paso de los años.

**Mi ESTADO**

Anota el nivel de logro de tus aprendizajes hasta ahora según la categoría de desempeño dada: 1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

- Comprendí los mecanismos de respuesta que tiene el organismo ante los cambios del ambiente. (Preguntas 2, 4, 5, 7, 12 y 13).
- Interpreté correctamente la información que entregan las tablas nutricionales. (Pregunta 1).
- Identifiqué los componentes y la función del arco reflejo. (Preguntas 3 y 6).
- Comprendí los componentes del ojo y sus funciones. (Preguntas 8 a 11).

# Sustancias químicas que pueden alterar el sistema nervioso

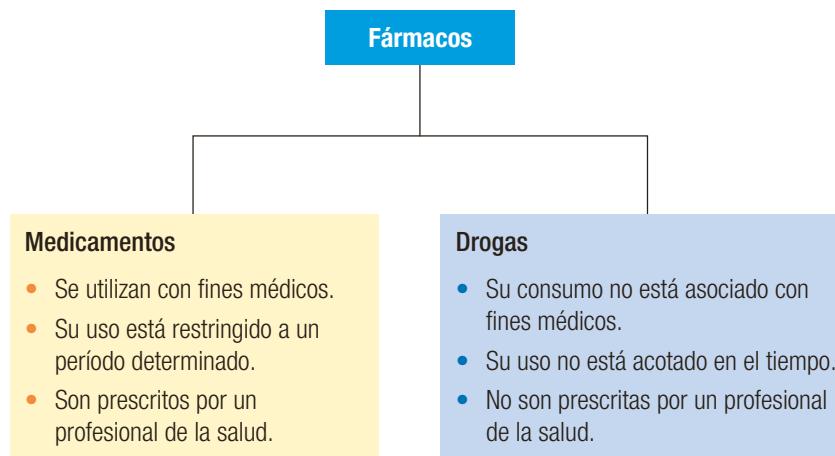
## AYUDA

Recuerda que la **homeostasis** corresponde al conjunto de fenómenos de autorregulación del organismo destinados a mantener constante la composición y las propiedades del medio interno de este.

Como ya hemos visto, el sistema nervioso recibe, integra y procesa información, lo que le permite coordinar diferentes señales y regular múltiples funciones del organismo. Esto incluye una regulación homeostática de los distintos sistemas corporales. Así, el sistema nervioso establece una asociación entre la información proveniente del medio y las respuestas que elabora para adecuarse a estos cambios. De esta manera nos constituimos en quienes somos, con nuestras emociones, pensamientos, con la capacidad de comunicarnos y de aprender.

Durante nuestra vida ingerimos una serie de sustancias químicas que producen diferentes efectos en nuestro cuerpo. Se puede señalar que toda sustancia química que interactúa con el organismo dando lugar a una respuesta ya sea beneficiosa o tóxica para él se denomina fármaco. ¿Cómo se pueden clasificar?

No existe una forma única de clasificar a estas sustancias. Una forma de hacerlo es agruparlas en medicamentos y drogas.



- Los **medicamentos** se emplean habitualmente para tratar o prevenir enfermedades. También son usados para aliviar dolores y el sufrimiento, o para mejorar algún estado fisiológico adverso. Se utilizan por un período acotado y deben ser prescritos por un profesional de la salud. Pero estas sustancias también han sido usadas irresponsablemente e incluso como veneno, ya que mal administradas pueden tener efectos tóxicos que afectan el correcto funcionamiento del organismo.
- Las **drogas**, en tanto, no se consumen con fines médicos y pueden producir cambios en la conducta y en el estado de ánimo de las personas que son tan imprevisibles como extremos. Se les atribuye la capacidad de generar cambios en el funcionamiento físico, sicológico y social de un individuo, susceptibles de producir hábito o dependencia.

Otra forma de agrupar a las sustancias químicas es según el efecto que tienen en el sistema nervioso central. Según esta clasificación se reconocen sustancias depresoras, estimulantes y alucinógenas.

- Las sustancias **depresoras** se caracterizan por inhibir el funcionamiento del sistema nervioso central, enlenteciendo la actividad nerviosa y el ritmo de las funciones corporales. Entre los efectos que producen estas sustancias se puede señalar: relajación, sedación, somnolencia, sueño, analgesia e incluso coma. Algunos ejemplos de sustancias depresoras son el alcohol, el tabaco, la heroína, la morfina y los psicofármacos (como las benzodiazepinas y los barbitúricos).



Con la ayuda de perros especializados en la detección de drogas, Carabineros de Chile controla el tráfico de estupefacientes.

- Las sustancias **estimulantes** provocan una activación general del sistema nervioso central, con lo cual se produce un aumento de las funciones corporales. En este tipo de sustancias se hace la distinción entre aquellas que son estimulantes mayores, como la cocaína y las anfetaminas, y las que son estimulantes menores, como la cafeína, la teína y la nicotina.
- Las sustancias **alucinógenas** o llamadas también perturbadoras del sistema nervioso central generan alteraciones del estado de conciencia del individuo. De esta manera, la persona que las consume experimenta una distorsión de su percepción sensorial. Un ejemplo de este tipo de sustancias es el LSD.
- También se pueden agrupar estas sustancias químicas en función de las restricciones legales que establecen los países de manera particular y que dicen relación con su consumo, producción y venta. En Chile, por ejemplo, las drogas se clasifican según la normativa en legales e ilegales.
- Las **drogas legales** son todas aquellas sustancias cuyo uso no está penalizado por la ley, entre ellas el tabaco y el alcohol. También caen dentro de esta categoría todos los medicamentos que tienen efectos psicotrópicos, es decir, que actúan sobre el sistema nervioso central, y que son usados en un contexto terapéutico. Por último, están aquellas sustancias utilizadas para usos industriales y caseros, llamadas solventes volátiles o inhalables, como son la acetona y eltolueno.
- Se consideran **drogas ilegales** todas las sustancias que producen efectos psicotrópicos y cuya comercialización y uso no están permitidos por la ley, por lo que generalmente se adquieren por medios ilícitos. Entre las drogas que se encuentran en esta categoría están la cocaína y la marihuana, así como también medicamentos con efectos psicotrópicos no asociados a un tratamiento terapéutico.

### ¿Por qué se consideran el tabaco y el alcohol como drogas?

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), “**droga** es toda sustancia que, introducida en el organismo por cualquier vía de administración, puede alterar de algún modo el sistema nervioso central del individuo y es además capaz de crear dependencia, ya sea psicológica, física o ambas”.

### Ampliando MEMORIA

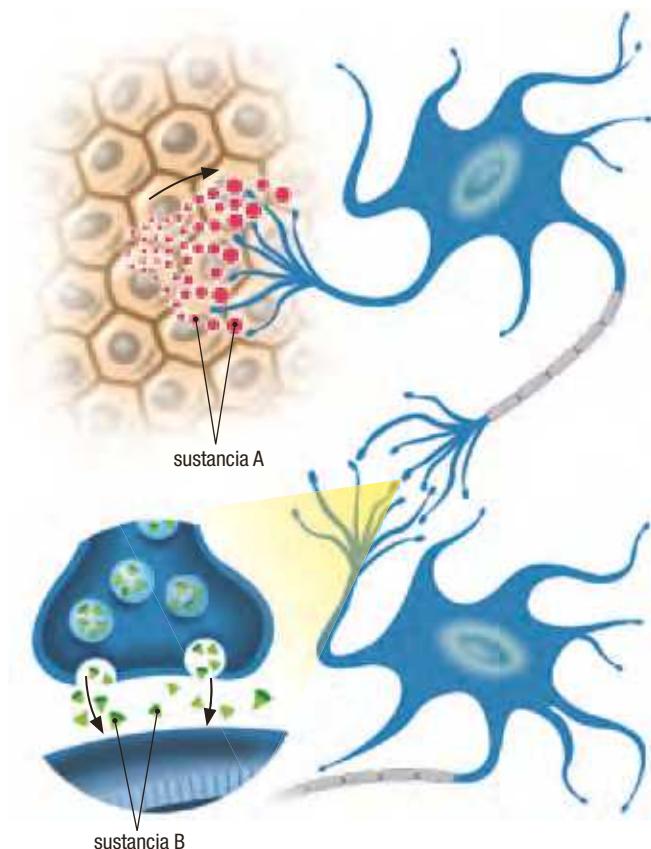
Los **psicotrópicos** son sustancias que actúan sobre el sistema nervioso central (SNC), causando cambios en la percepción, estado de ánimo, de conciencia y comportamiento.

## A ctividad

### 1. Realiza la siguiente actividad de manera individual.

El dolor es una señal de alarma que nos da cuenta de la existencia de lesiones y nos previene ante posibles peligros. ¿Cómo se produce?

- Los tejidos lesionados liberan una sustancia A que actúa sobre los receptores sensitivos del dolor.
  - Estos envían impulsos nerviosos al cerebro.
  - Las neuronas implicadas en la transmisión del mensaje se comunican entre sí, liberando en las sinapsis una sustancia química B.
- a. Sabiendo que la aspirina es un fármaco que inhibe la síntesis de la sustancia A, **explica** por qué se utiliza como analgésico. **Identifica** en el esquema dónde actúa la aspirina.
- b. La morfina bloquea la liberación de sustancia B, pero genera una gran dependencia. Se emplea como analgésico en casos de dolor muy intenso, bajo estricto control médico. **Justifica** su uso y explica por qué es necesario dicho control. **Identifica** en el esquema dónde actúa la morfina.



# Efectos de la dependencia y adicción a los fármacos

26 de junio de 2009

## Fallece el cantante Michael Jackson

El cantante Michael Jackson, de 50 años, falleció el jueves 25 de junio de 2009 tras sufrir un paro cardiorrespiratorio en su casa de Los Angeles. Una llamada producida ese día a las 12:26 minutos, hora californiana, alertó a los servicios médicos para que enviaran una ambulancia en la casa del cantante.

El estudio forense realizado al artista determinó que Jackson recibió una combinación fatal del poderoso anestésico *Propofol* más otros dos anestésicos horas antes de morir en su mansión de Los Angeles. Estos medicamentos tienen como principio básico la benzodiazepina, un compuesto empleado para tratar el insomnio y la ansiedad.

El médico personal del artista le habría administrado dichos medicamentos, ya que Jackson tenía graves trastornos del sueño, sufriendo reiteradas crisis de insomnio y adicción a los fármacos que le permitían dormir.

La adicción de Michael Jackson habría tenido su origen al tratar los fuertes dolores producto de graves quemaduras sufridas en su cabeza. El accidente se produjo en el año 1984 durante las grabaciones de un aviso publicitario. A partir de este incidente, el artista no pudo alejarse del consumo de sustancias depresoras, requiriendo cada vez mayores dosis para lograr los efectos deseados.



▲ Michael Jackson  
(29 de agosto de 1958 – 25 de junio de 2009).

**¿Por qué se produce dependencia a los fármacos?** El consumo de ciertos fármacos, como los opiáceos (opio, heroína, morfina) o las benzodiazepinas, genera en la persona la necesidad de emplearlos de manera continuada. Cuando esta condición se ha desarrollado, la persona se hace **dependiente** de su consumo. Al privarse de su consumo, se producen trastornos psíquicos y físicos como resultado de la **abstinencia**.

**¿Cuándo se produce tolerancia a los fármacos?** Esto ocurre cuando el individuo consume repetidas veces la misma dosis de un fármaco. Con ello, se estimula una mayor degradación metabólica de la sustancia química, por lo que en el tiempo a igual dosis no se produce el mismo efecto. Las personas que padecen de **tolerancia** a un determinado fármaco requieren estar consumiendo cada vez **mayores dosis** para lograr el mismo efecto.

**¿Qué es ser adicto a los fármacos?** Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), es una enfermedad física y psicoemocional, que se refleja en la dependencia hacia una sustancia química. La **adicción** es una condición compulsiva que controla los comportamientos y pensamientos de las personas, que solo desean conseguir dicha sustancia. Para satisfacer su deseo, los adictos producto de la **angustia** pueden distanciarse de sus seres queridos y llegar a poner en riesgo su propia integridad, ya que pierden la noción de la realidad.

**¿Por qué las personas caen en el consumo de drogas?**

Son múltiples los factores asociados al consumo de drogas, por lo tanto, es muy difícil poder determinar una causa única o establecer relaciones simples de causa-efecto. Se podría establecer como responsable a la sustancia química empleada, que puede generar la adicción. Sin embargo, este hecho no podría explicar por sí solo el inicio del consumo. También se podría atribuir a las características del consumidor y de su entorno. Algunos le asignan cierta responsabilidad a la herencia. En este sentido, cobra una gran relevancia la **prevención**. Esta se centra en mantener un estilo de vida saludable, buenas relaciones dentro del núcleo familiar, además de confianza y seguridad en uno mismo, reforzando la autoestima.

## Ampliando MEMORIA

El CONACE (Consejo Nacional para el Control de Estupefacientes) es la entidad del Gobierno de Chile encargada de coordinar, articular y promover las políticas públicas en materia de drogas y ejecutar programas de prevención, tratamiento y rehabilitación.

## Actividad

### 1. Realicen la siguiente actividad de manera grupal.

*En los últimos años, la sociedad ha entrado en un debate respecto de cuáles son los espacios públicos en los que las personas pueden fumar y cuáles deberían quedar libres de humo y proteger así a los no fumadores. Si bien el tabaco es considerado como una droga legal, ya que se permite su consumo a partir de los 18 años, las últimas leyes promulgadas han ido limitando los lugares de venta y los espacios en los cuales se permite fumar para desincentivar de esta manera su consumo. Al respecto existen distintas posturas; algunos creen que los adultos pueden fumar en cualquier espacio público abierto y otros, en cambio, plantean que en los espacios públicos los no fumadores no tienen por qué estar expuestos al humo del tabaco ni a los daños provocados por su inhalación.*



### 2. Los invitamos como curso a organizar un debate al respecto. Su profesor o profesora los distribuirá en los siguientes grupos.

**Grupo A.** Deberá recabar antecedentes y establecer argumentos que permitan tener una postura favorable a limitar los espacios públicos para el consumo de tabaco.

**Grupo B.** Deberá recabar antecedentes y establecer argumentos que permitan sostener una postura contraria a limitar en exceso los espacios públicos para el consumo de tabaco.

**Grupo C.** Deberá dirigir y escuchar los argumentos, evaluando las evidencias de ambos grupos, y finalmente establecer un veredicto respecto de este tema. Para ello debe dar turnos de intervención y de réplica, los cuales deberán quedar establecidos por este equipo antes del debate.

### 3. Antes de empezar: los grupos deberán elaborar un informe donde detallen claramente los argumentos a favor o en contra, entreguen evidencias que sustenten sus argumentos (imágenes, audiovisuales, entrevistas). Así también, el grupo de C deberá establecer por escrito su veredicto. En este debate se respetarán todas las opiniones fundamentadas.

### 4. Para construir sus argumentos tengan presentes las siguientes consideraciones: dar ejemplos, recurrir a datos, buscar relaciones causa-efecto, citar opiniones de expertos y definiciones. A continuación se presentan algunas preguntas que pueden ayudarlos para construir sus argumentaciones:

- ¿Qué efectos tiene el consumo de tabaco para la salud?
- ¿Qué países han restringido los espacios públicos para el consumo de tabaco? ¿Qué argumentos dieron para ello?
- ¿Por qué habría que limitar aún más los espacios públicos al consumo de esta droga? ¿Por qué no?
- ¿Qué efectos, positivos y negativos, tendría limitar aún más los espacios públicos para el consumo de tabaco y para la sociedad?

### 5. Una vez terminado el debate y a modo de síntesis, construyan en conjunto un afiche como parte de una campaña para decir no al consumo de cigarro. Pueden utilizar materiales reciclables e involucrar a toda la comunidad escolar en este desafío.

Pulmón normal



Pulmón de fumador



#### Recomendaciones para el debate

- Los participantes deben hacer intervenciones breves.
- No es necesario que los integrantes de un mismo grupo reiteren las ideas de otro, quitando tiempo a nuevos argumentos.
- Cada grupo debe determinar previamente el tiempo que utilizará para cada una de sus intervenciones.
- Cada grupo deberá evitar que una sola persona intervenga por un tiempo largo, ya que de ese modo dificulta o impide el turno de los demás.
- El propósito de la argumentación es la confrontación de ideas y no de las personas. Por lo tanto, el grupo C deberá establecer una forma de penalización a quien utilice descalificaciones personales en contra de algún integrante del grupo contrario.

# ¿Cómo elimina los fármacos nuestro organismo?

Al consumir un fármaco, el organismo comienza inmediatamente su proceso de eliminación. Para ello, los fármacos son metabolizados en todo el organismo, es decir, experimentan cambios bioquímicos para facilitar su degradación. Algunos órganos tienen funciones especializadas para ello, entre los que se encuentran el **hígado** y los **riñones**. El organismo excreta estas sustancias químicas a través de la orina, de las heces, del sudor y del aire exhalado, entre otras vías. Aquellos fármacos que se elaboran con fines terapéuticos deben ser diseñados de forma tal que alcancen su objetivo de manera eficiente. Esto implica lograr una supervivencia en el organismo hasta “alcanzar su meta”, sin ser degradados antes de ello. Otras sustancias químicas tienen problemas para ser eliminadas por el organismo, siendo acumuladas de manera peligrosa en el cuerpo. Un ejemplo de esto último sucede con el mercurio.

## Para GRABAR

El consumo excesivo de etanol (alcohol) a lo largo de la vida genera graves lesiones al hígado, que como consecuencia irreversible puede derivar en una enfermedad llamada **cirrosis hepática**. Esta puede terminar con un daño general del hígado que requiera de un trasplante para sobrevivir.

Uno de los órganos más importantes en la degradación de los fármacos es el hígado. Tiene una masa aproximada de 1,5 kg y es uno de los órganos más grandes del cuerpo humano. Las principales células del hígado son los hepatocitos, que representan cerca del 90% de su masa.

Entre las funciones del hígado están:

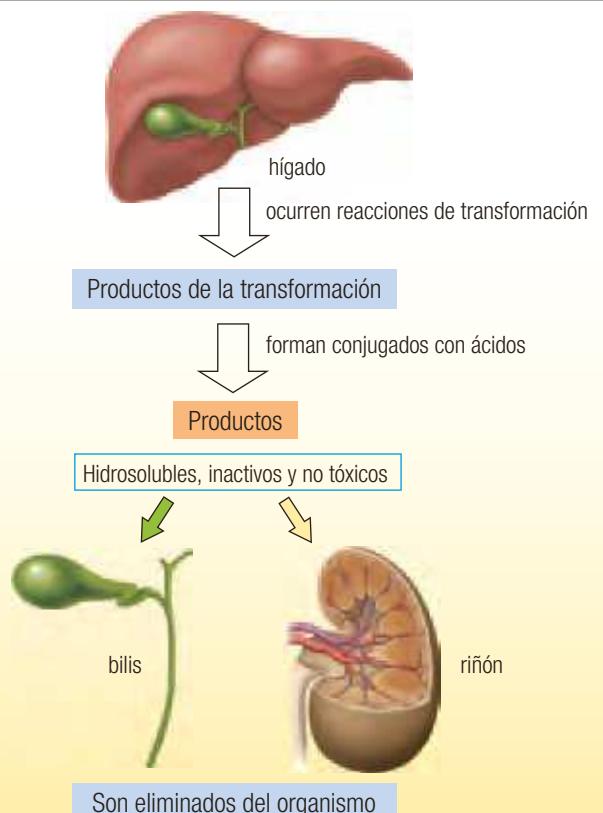
- La captación de nutrientes, que son transportados desde el intestino por la vena porta.
- La biosíntesis de los compuestos del propio organismo, su almacenamiento, transformación y degradación.
- El suministro constante al organismo de metabolitos y otras sustancias.
- La detoxificación de compuestos, tales como las hormonas esteroidales, los fármacos y el etanol, entre otras sustancias.
- La eliminación de sustancias por medio de la bilis.

## Metabolización de los fármacos

Muchas de las sustancias extrañas que se incorporan al organismo, ya sean de origen natural o artificial, son tóxicas, sobre todo en concentraciones elevadas. El hígado dispone de mecanismos muy eficaces para inactivar y eliminar dichas sustancias. Estos mecanismos son similares a los que se usan para transformar enzimáticamente a las sustancias propias del cuerpo.

Fármacos: sustancias poco solubles en agua, biológicamente activas y tóxicas.

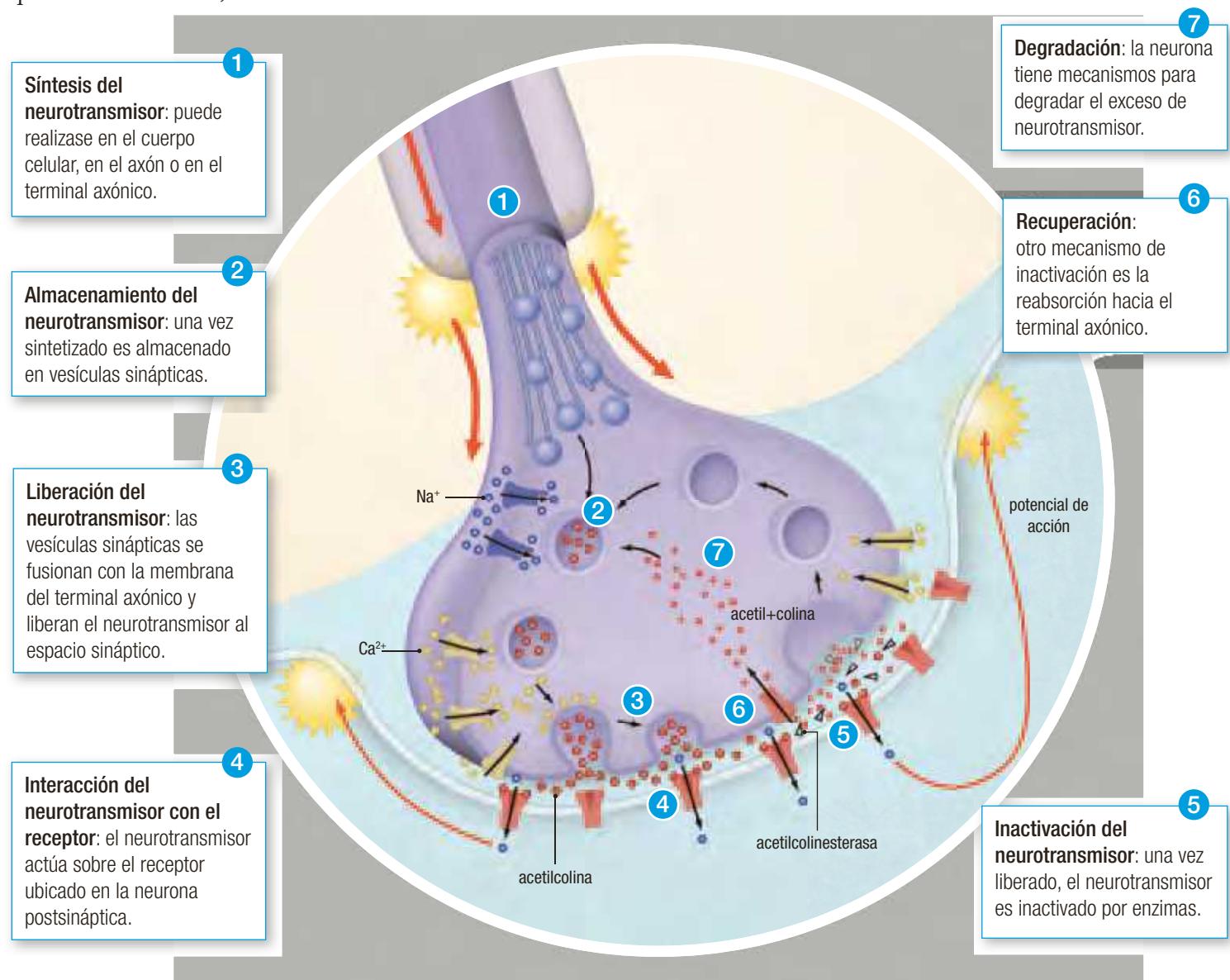
Sustancias extrañas	Sustancias propias
- Medicamentos - Colorantes - Pesticidas - Drogas (etanol)	- Pigmentos - Hormonas



# ¿Qué pasos de la transmisión nerviosa se ven afectados por acción de las drogas?

Al consumir una droga, esta llegará por el sistema circulatorio al sistema nervioso, independientemente de la forma en que se incorpore al organismo. Una vez en el sistema nervioso puede influir, de diferentes maneras, sobre la transmisión sináptica de las neuronas. En la sinapsis podemos reconocer una serie de etapas involucradas en que una neurona presináptica estimule o inhiba a una neurona postsináptica.

En la siguiente figura se describen siete etapas sobre las cuales pueden actuar las sustancias químicas consumidas, alterando su normal funcionamiento.

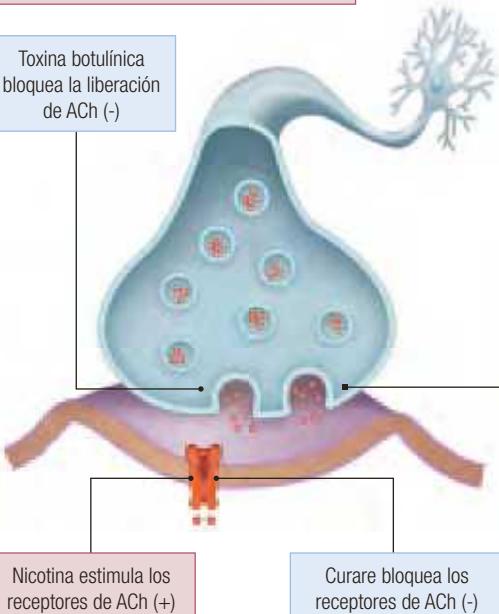


El mecanismo de acción de los fármacos puede incluir dos formas de acción: aumentar la eficacia de la neurotransmisión o disminuirla. Podemos reconocer a los fármacos que aumentan la eficacia de la neurotransmisión como **agonistas** y a los que la disminuyen como **antagonistas**.

Veamos como ejemplo distintas sustancias que pueden afectar la sinapsis que se produce entre una neurona motora y un músculo. En condiciones normales, cuando la neurona es estimulada libera **acetilcolina** y esto produce la contracción del músculo. ¿Pero qué sucede cuando actúan los agonistas y los antagonistas de este neurotransmisor?

Veneno de la araña viuda negra induce la liberación de ACh (+)

Toxina botulínica bloquee la liberación de ACh (-)



### Agonistas de la acetilcolina:

- El veneno que produce la araña viuda negra estimula la liberación de acetilcolina (ACh). El exceso de acetilcolina en las sinapsis neuromusculares puede provocar parálisis e incluso la muerte.
- La nicotina presente en los cigarrillos también puede actuar como agonista de la acetilcolina, ya que su estructura molecular es capaz de estimular a los receptores del neurotransmisor y, por lo tanto, los activa tal como si la acetilcolina estuviese presente.

### Antagonistas de la acetilcolina:

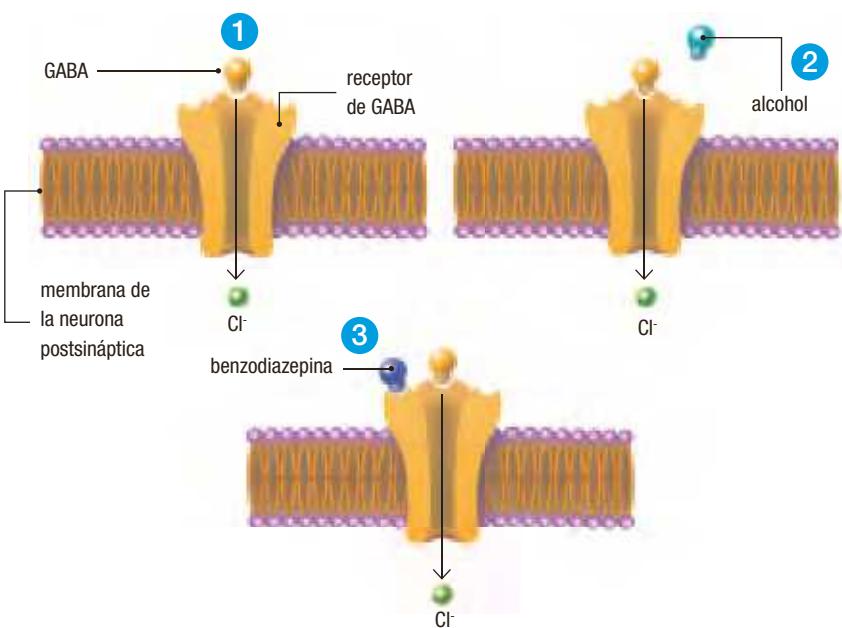
- La toxina botulínica, producida por una bacteria que se puede encontrar en los alimentos enlatados que se han procesado de forma incorrecta, presenta un mecanismo de acción que bloquea la liberación del neurotransmisor. Un caso grave puede provocar parálisis de los músculos que controlan la respiración, y llevar a la muerte.
- El curare es una toxina que se extrae de una planta y que también ocupa el lugar de la acetilcolina en sus receptores, pero su acción no produce su estimulación sino el bloqueo de los receptores e impide que la acetilcolina actúe sobre ellos. Altas dosis inhiben los movimientos respiratorios, lo que puede ocasionar la muerte.

### Ampliando MEMORIA

El **curare** era utilizado por algunos pueblos originarios del Amazonas para cazar pequeños animales. Aplicaban curare en sus flechas y así lograban inmovilizar a sus presas.

## Mecanismos de acción de las sustancias químicas depresoras

A partir de diferentes investigaciones se ha podido establecer que las sustancias químicas depresoras actúan principalmente sobre el **receptor de GABA**. El GABA (ácido gamma aminobutírico) es el neurotransmisor inhibidor más importante del sistema nervioso. En condiciones normales (1), cuando se libera el neurotransmisor de la neurona presináptica, se une a su receptor en la neurona postsináptica, lo que provoca la entrada de cloruro ( $\text{Cl}^-$ ). Con esto aumenta la concentración de iones negativos al interior de la neurona postsináptica y se genera una hiperpolarización, por lo que se hace menos probable que se pueda enviar un impulso nervioso. En otras palabras, la hiperpolarización aleja a la neurona de su umbral de disparo. Así se inhibe la descarga eléctrica de la neurona postsináptica. Una de las sustancias que se unen a este receptor de GABA es el **alcohol** (2). Mientras mayor sea la dosis ingerida, mayor será su efecto inhibidor sobre las neuronas.



Otra sustancia química que se une a este receptor son las **benzodiazepinas** (3). Este ansiolítico tiene como mecanismo de acción aumentar los efectos de unión del GABA a su receptor; por lo tanto, aumenta la entrada de  $\text{Cl}^-$ . Con el uso prolongado de las benzodiazepinas, el cerebro deja de producir su propio GABA y es la **droga** la que comienza a manejar las funciones de estos químicos naturales del cerebro, es decir, el organismo empieza a depender de las benzodiazepinas para funcionar "normalmente".

Como los mecanismos de acción de estas sustancias, alcohol y benzodiazepinas, son diferentes, nunca deben consumirse juntas. La combinación de estas sustancias puede causar un estado de coma e incluso la muerte, ya que permite que entre demasiado  $\text{Cl}^-$  a las células.

## Mecanismos de acción de las sustancias químicas estimulantes

Uno de los mecanismos de acción de estas sustancias químicas es actuar como un agonista (aumentar la eficacia) del neurotransmisor **dopamina**. Este neurotransmisor pertenece a un grupo llamado catecolaminas y es sintetizado por ciertas células nerviosas a partir de la tirosina, un aminoácido presente en las proteínas que consumimos. Su efecto en la neurona puede ser inhibitorio o excitatorio, dependiendo de los canales iónicos controlados por los receptores postsinápticos. La dopamina está involucrada en distintas funciones importantes, entre las que se incluyen el movimiento, la atención y el aprendizaje.

La **esquizofrenia** es una enfermedad mental que se caracteriza por presentar alteraciones de la percepción y de la noción de la realidad, lo que produce en el individuo pensamientos desorganizados, delirios, alucinaciones, trastornos afectivos y cambios de conducta. Los investigadores están estudiando la relación entre este trastorno y los excesos de dopamina, además de señalar que el uso prolongado de anfetaminas y de cocaína puede conducir al desarrollo de síntomas muy parecidos a los de esta enfermedad.

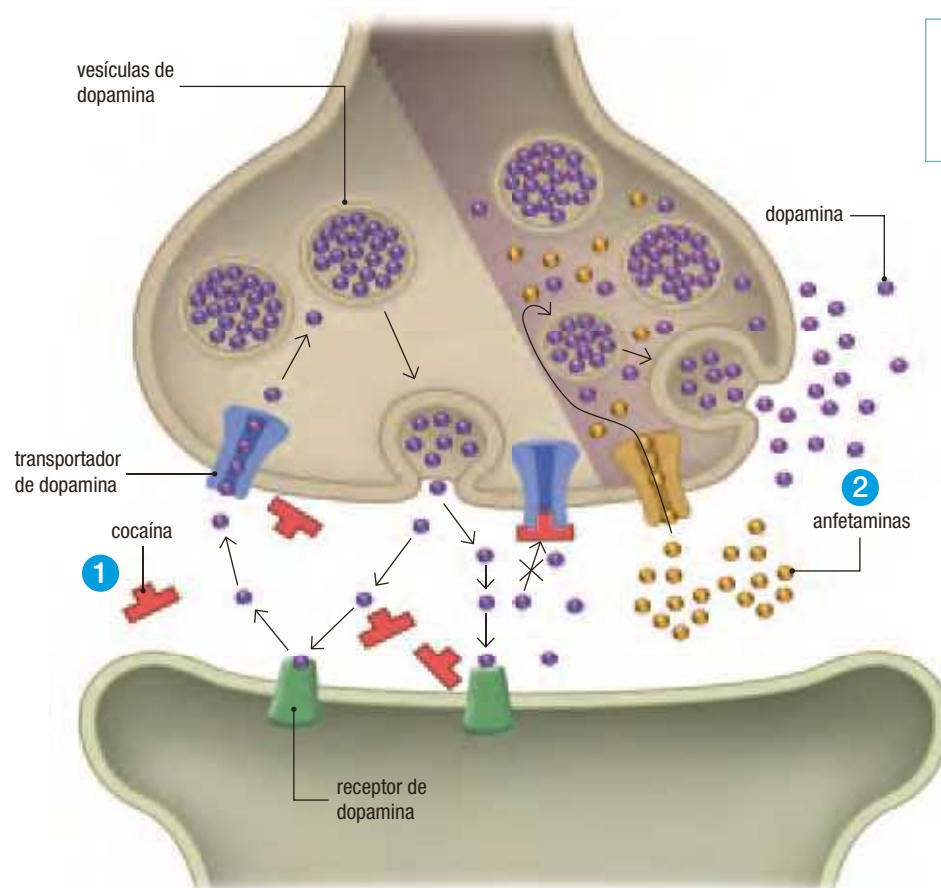
La cocaína (1) bloquea la recuperación de la dopamina desde la hendidura sináptica y las anfetaminas (2) estimulan la síntesis de dopamina por la neurona presináptica. Ambos mecanismos aumentan la cantidad de dopamina disponible para los receptores, abundancia que puede desencadenar síntomas similares a los asociados con la esquizofrenia.

### Para GRABAR

- El que una droga sea legal no significa que resulte menos peligrosa. Basta el ejemplo del alcohol, que está considerado como una de las drogas más perjudiciales, sobre todo entre los jóvenes.
- Respeta y cuida tu cuerpo, hazte cargo de tus actos y no olvides que en todas las decisiones tú tienes la última palabra y siempre puedes decir no.

### Actividad

1. A partir de lo estudiado, completa la información de los siguientes recuadros.



Las \_\_\_\_\_ estimulan la síntesis de \_\_\_\_\_.

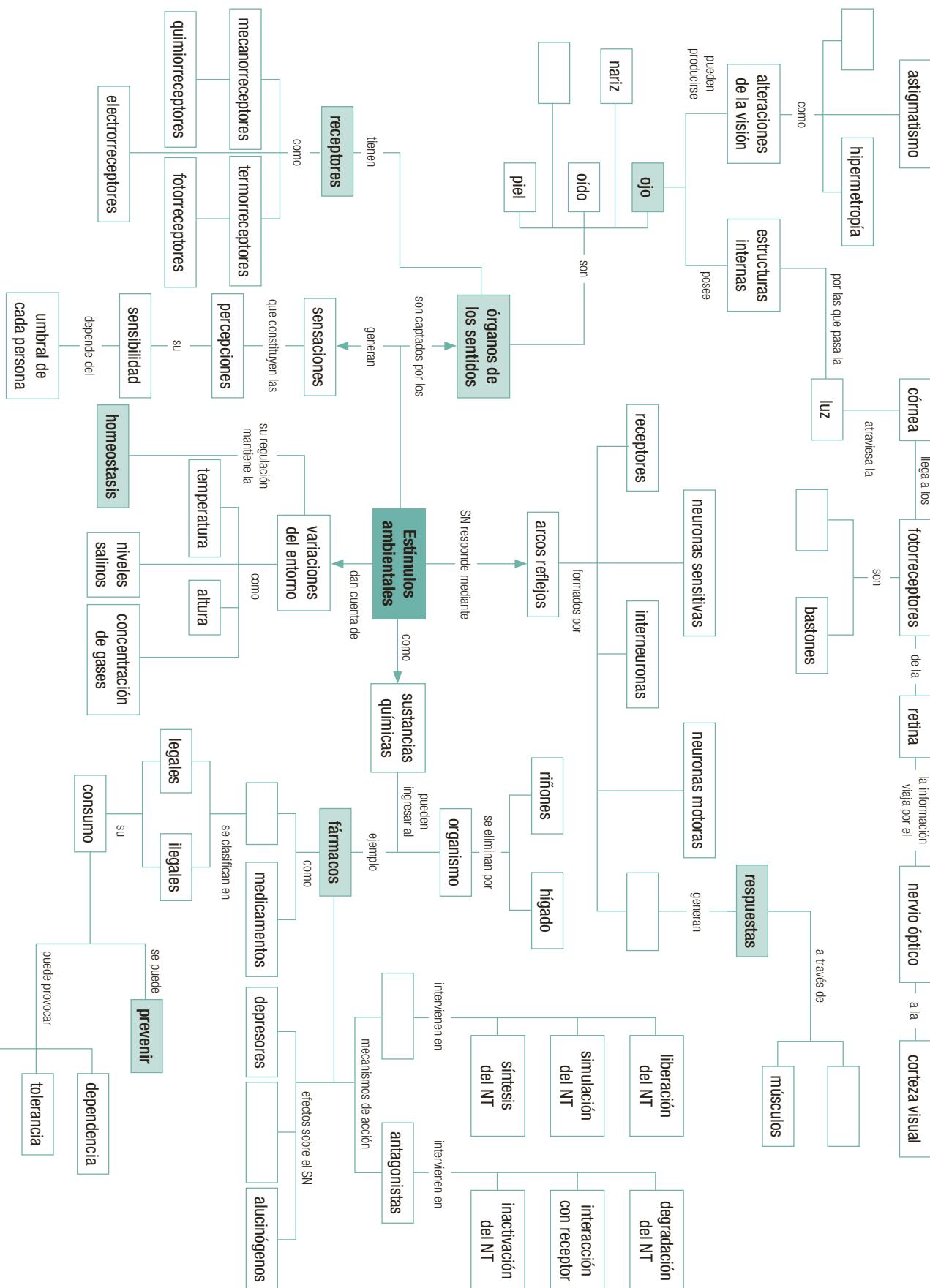
La \_\_\_\_\_ actúa bloqueando la recuperación de la \_\_\_\_\_, lo que \_\_\_\_\_ su concentración en la hendidura sináptica.

2. Identifica en el esquema dónde actúan las anfetaminas y la cocaína.

Síntesis

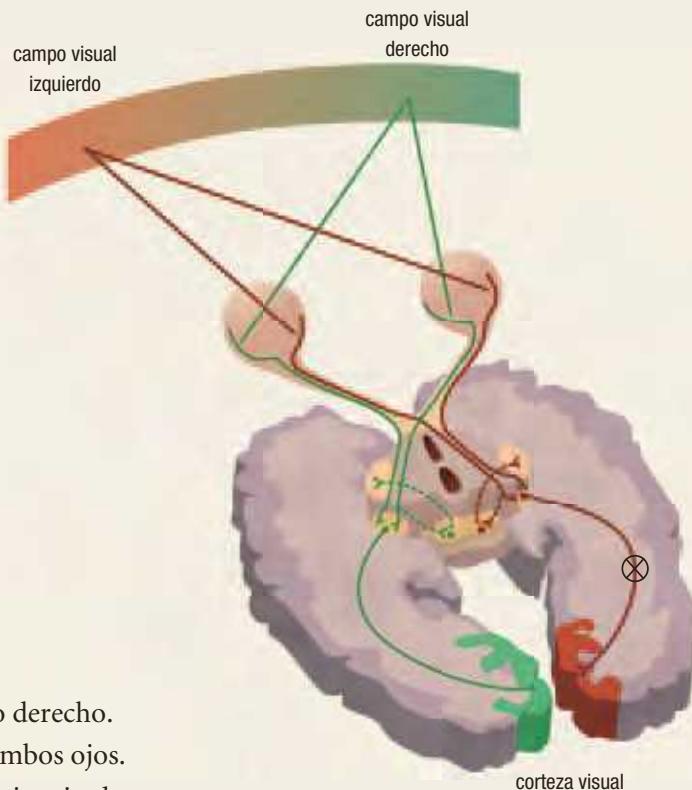
# O rganizando favoritos

El siguiente organizador gráfico resume las relaciones entre los principales conceptos abordados en la unidad. Completa los términos faltantes en los recuadros asignados para ello.



Te invitamos a resolver el siguiente ejemplo de pregunta de **análisis** que tiene relación con el **procesamiento visual**.

1. ¿Qué consecuencias tendrá una lesión que afecte a las fibras nerviosas que llegan al hemisferio derecho de la corteza visual?



- A. Ceguera total del ojo derecho.
- B. Ceguera parcial de ambos ojos.
- C. Ceguera total del ojo izquierdo.
- D. Ceguera nasal de ambos ojos.
- E. Ceguera temporal de ambos ojos.

A continuación analicemos las respuestas.

- A. **Incorrecta.** No se producirá una ceguera total del ojo derecho, ya que al hemisferio derecho llegan fibras nerviosas de ambos ojos y por ende se verán los dos afectados. Además, al hemisferio izquierdo, que no está dañado, también llegarán fibras con información proveniente del ojo derecho; por lo tanto, no habrá ceguera total de ese ojo.
- B. **Correcta.** Como resultado de la lesión de las fibras que llegan al hemisferio derecho se producirá una ceguera del campo temporal del ojo derecho y del campo nasal del ojo izquierdo; por lo tanto, ambos ojos quedarán con una ceguera parcial.
- C. **Incorrecta.** No se producirá ceguera total del ojo izquierdo, ya que las fibras temporales del ojo izquierdo llegarán al hemisferio respectivo, que no presenta la lesión. De todas formas, sí se producirá una ceguera parcial en el campo nasal del ojo izquierdo.
- D. **Incorrecta.** Como resultado de la lesión, se producirá ceguera nasal del ojo izquierdo y temporal del ojo derecho, debido al cruce de fibras que ocurre en el quiasma óptico.
- E. **Incorrecta.** Esta alternativa es incorrecta por la misma razón que lo es la D.

Entonces la alternativa correcta es B

	A	B	C	D	E
1	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

# V

## Verificando disco

I. Marca la alternativa que consideres correcta.

1. ¿Qué características tienen los receptores sensoriales?

- I. Elaboran respuestas de manera automática.
- II. Son capaces de captar los cambios del ambiente.
- III. Transforman la señal recibida en información electroquímica.

- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo I y II.
- D. Solo II y III.
- E. I, II y III.

2. ¿Qué estructura nerviosa está involucrada en la regulación de la temperatura corporal?

- A. Cerebro.
- B. Hipotálamo.
- C. Médula espinal.
- D. Corteza cerebral.
- E. Corteza cerebelar.

3. ¿Qué función desempeña la vía eferente en el arco reflejo?

- A. Lleva la información al sistema nervioso central.
- B. Recoge la información recibida desde un estímulo determinado.
- C. Integra la información recibida desde el receptor y elabora una respuesta.
- D. Se une a un receptor sensorial llevando la información a la médula espinal.
- E. Lleva la respuesta elaborada por el sistema nervioso a un músculo o glándula.

4. ¿Cómo responde el organismo frente al consumo excesivo de sodio?

- A. Produce gran cantidad de saliva y así compensa la ingesta de sodio.
- B. Produce mayor cantidad de orina y de esa manera elimina el exceso.
- C. Genera retención de líquido, lo que aumenta la presión sanguínea.
- D. Produce mayor cantidad de sudor por las glándulas sudoríparas.
- E. Produce heces más líquidas y abundantes para eliminar rápidamente el exceso de sodio.

5. ¿Por qué si una imagen cae en el punto ciego de la retina no es percibida por la persona? Porque esa zona:

- A. No posee fibras nerviosas.
- B. Posee un solo tipo de conos.
- C. Carece de bastones y conos.
- D. No forma parte del campo visual.
- E. Tiene una gran concentración de bastones y la información se satura.

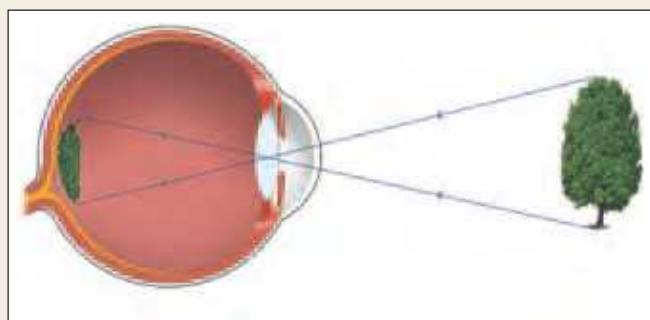
6. ¿Qué características debe tener el cristalino para permitir una visión normal?

- A. Debe ser rígido para fijar la imagen al interior del ojo.
- B. Debe ser negro para generar una cámara oscura al interior del ojo.
- C. Su curvatura debe ser ajustable para adecuarse a lo observado.
- D. Ubicarse en la mitad del globo ocular para captar mayor cantidad de luz.
- E. En la parte anterior debe ser plano para que los rayos ingresen paralelos a la retina.

7. ¿Qué características tiene la retina de las personas que padecen daltonismo?

- A. Carece de bastones.
- B. Presenta un solo tipo de conos.
- C. Carece de conos verdes o rojos.
- D. Presenta una deformación en la retina.
- E. Presenta un número superior de bastones.

8. ¿Qué estructura del ojo provoca la inversión de la imagen?



- A. La curvatura de la córnea.
- B. El líquido del humor acuoso.
- C. El cristalino, que actúa como un lente.
- D. El nervio óptico en la transmisión sináptica.
- E. La estimulación de las células fotorreceptoras.

9. ¿Dentro de qué grupo se clasifican las siguientes drogas: anfetaminas, cocaína y nicotina?

- A. Medicamentos.
- B. Drogas legales.
- C. Drogas depresoras.
- D. Drogas estimulantes.
- E. Drogas alucinógenas.

10. ¿Cuál de las siguientes drogas es un antagonista de la acetilcolina?

- I. Curare.
  - II. Nicotina.
  - III. Toxina botulínica.
  - IV. Veneno de la araña viuda negra.
- A. Solo I.
  - B. Solo III.
  - C. Solo I y III.
  - D. Solo III y IV.
  - E. Solo I, III y IV.

11. Luego del consumo de algún fármaco, ¿cómo se produce su eliminación?

- A. Por acción anabólica de la sangre.
- B. Por síntesis de enzimas intestinales.
- C. Por acción catabólica del estómago.
- D. Por oxigenación del sistema linfático.
- E. Por acción metabólica del hígado y de los riñones.

12. ¿Cuál de las siguientes sustancias químicas es depresora del sistema nervioso?

- A. Alcohol.
- B. Cocaína.
- C. Nicotina.
- D. Cafeína.
- E. Anfetaminas.

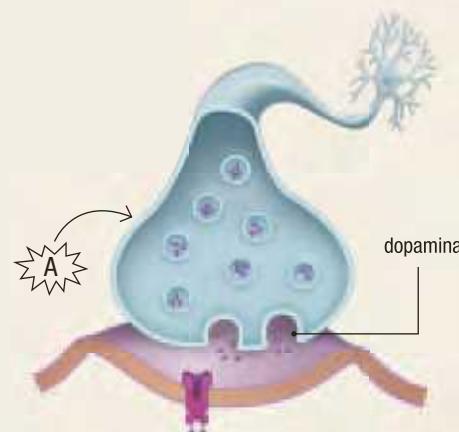
13. Se habla de tolerancia a los fármacos cuando:

- A. Las personas toleran más que otros el consumo de fármacos.
- B. Los consumidores de fármacos no pueden dejar de ingerirlos.
- C. La falta de consumo produce trastornos psíquicos en los consumidores.
- D. El consumo de ciertos fármacos genera conductas compulsivas e irracionales.
- E. Los consumidores de fármacos requieren dosis cada vez mayores para conseguir el mismo efecto.

14. ¿Cuál de las siguientes alternativas sobre las benzodiazepinas es incorrecta?

- A. Generan dependencia.
- B. Tienen efectos ansiolíticos.
- C. Son sustancias estimulantes.
- D. Estimulan la unión de GABA con su receptor.
- E. Aumentan la entrada de Cl<sup>-</sup> a la célula postsináptica.

15. En la siguiente figura, ¿qué efecto ejerce A?



- A. Inhibe la formación del neurotransmisor.
- B. Inhibe la liberación del neurotransmisor.
- C. Bloquea el receptor del neurotransmisor.
- D. Estimula la liberación del neurotransmisor.
- E. Estimula la liberación de enzimas dopamínergicas.

## II. Analiza la siguiente situación procedural y luego responde.

### Planteamiento del problema

Los animales son capaces de detectar las sustancias químicas específicas del ambiente por medio de quimiorreceptores que les permiten percibir tanto su sabor como su olor. De esta manera, el sentido del gusto les posibilita captar las sustancias químicas que se encuentran en las soluciones y el sentido del olfato les permite detectar sustancias químicas transportadas por el aire.

Los insectos presentan sus quimiorreceptores del gusto en el interior de unos pelos sensoriales llamados **sensillas**, los que se localizan en las patas y en el aparato bucal. Teniendo esto presente, un grupo de investigadores se preguntó de qué modo detectan los insectos los diferentes sabores.

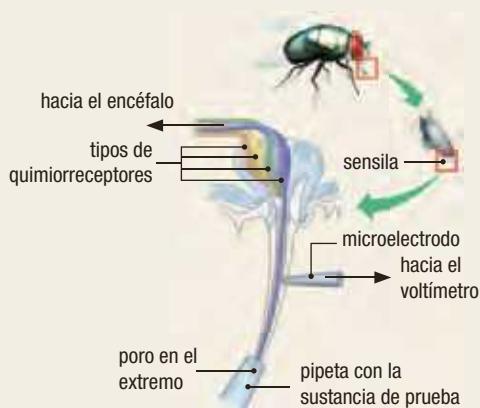
### Formulación de hipótesis

Los investigadores planteaban la siguiente hipótesis:

*Si los insectos presentan distintas sensibilidades en sus quimiorreceptores, entonces eso les permitirá distinguir diferentes sabores.*

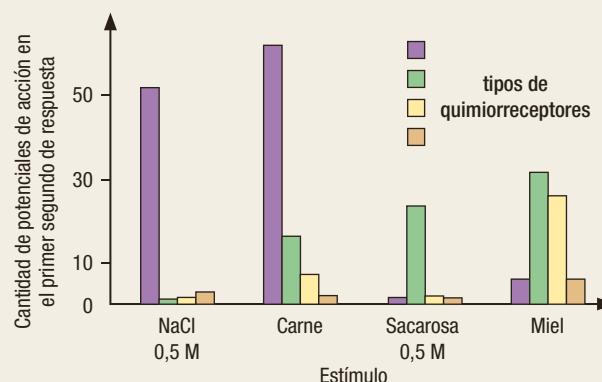
### Procedimiento experimental

Para probar su hipótesis, los investigadores desarrollaron el siguiente experimento. Ellos sabían que cada sensilla posee cuatro tipos de quimiorreceptores, y para estudiar la sensibilidad de cada uno de ellos inmovilizaron ejemplares de moscas negras (*Phormia regina*) y las fijaron a varillas con cera, luego de lo cual se les insertó un microelectrodo en una de las sensillas (ver ilustración). Esto les permitió registrar los potenciales de acción que se originaban en los quimiorreceptores al entrar en contacto con una determinada sustancia, lo que daba cuenta de su sensibilidad. Las moscas fueron expuestas a cuatro estímulos diferentes: sal (NaCl), carne, sacarosa (azúcar) y miel. Para ello se utilizó una pipeta, con la cual colocaban los estímulos en las sensillas.



### Obtención de resultados

El gráfico resume los resultados obtenidos.



- Identifica la variable dependiente e independiente.
- ¿Qué tipo de quimiorreceptor produjo en total la menor y mayor cantidad de potenciales de acción?
- ¿Qué sustancia estimula a un mayor **tipo** de quimiorreceptores? Fundamenta a partir del gráfico.
- ¿Qué sabor no reconocerían las moscas si se destruyera su quimiorreceptor morado?

### Interpretación de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos se puede señalar que cada tipo de quimiorreceptor es más sensible a ciertas sustancias en particular. Sin embargo, esta especificidad es relativa, ya que las células son capaces de responder en diferentes grados a una amplia gama de estímulos diferentes.

### Elaboración de conclusiones

Los alimentos naturales contienen varias sustancias químicas, por lo que es probable que estimulen a múltiples quimiorreceptores. A partir de los resultados obtenidos es posible concluir que el sistema nervioso de estas moscas realiza una integración de las distintas sensaciones, por lo que estos insectos pueden distinguir una gran cantidad de sabores.

# Cerrar sesión

## I. Revisa tus respuestas de alternativas.

Pregunta	Contenido evaluado	Habilidad	Clave	Mi revisión			Logro alcanzado
				Correctas	Incorrectas	Omitidas	
1	Adaptaciones al entorno. Páginas 58 a 71.	Recordar					4
2		Comprender					
3		Comprender					
4		Comprender					
5	El ojo como órgano sensorial. Páginas 72 a 79.	Comprender					4
6		Comprender					
7		Comprender					
8		Comprender					
9	Sustancias que alteran el funcionamiento del sistema nervioso. Páginas 82 a 89.	Recordar					7
10		Recordar					
11		Comprender					
12		Comprender					
13		Comprender					
14		Comprender					
15		Analizar					

## II. Revisa los criterios que se consideran para la respuesta correcta de la situación procedural.

Etapa del método	Criterios
Obtención de resultados.	<p>a. La respuesta debe basarse en la correcta lectura del gráfico y de la información de sus ejes. La variable independiente corresponde al estímulo que colocaron los investigadores en las sensillas (sal, carne, miel y sacarosa). La variable dependiente, en tanto, es el resultado obtenido, es decir, los potenciales de acción registrados por los microelectrodos.</p> <p>b. La respuesta debe comparar los resultados que se obtienen con los diferentes estímulos. El quimiorreceptor que presenta una mayor cantidad de potenciales de acción es el morado; mientras que el anaranjado es el que se estimula en menor medida con estas sustancias.</p> <p>c. La respuesta debe considerar que es la miel la sustancia que logra estimular, en diferente magnitud, a los cuatro tipos de quimiorreceptores.</p> <p>d. A partir de la correcta interpretación de los resultados, la respuesta debiera considerar que si se destruye el receptor morado de las moscas, estas no podrán reconocer el sabor salado.</p>

### Mi ESTADO

Anota el nivel de logro de tus aprendizajes de la unidad según la categoría de desempeño dada: 1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

- Reconocí la relación entre los procedimientos utilizados en investigaciones y los resultados obtenidos.
- Conocí algunos de los mecanismos que utiliza el organismo para percibir las variaciones del ambiente.
- Expliqué la estructura y el funcionamiento de los receptores sensoriales.
- Comprendí el funcionamiento de las principales estructuras del ojo.
- Identifiqué los efectos que tiene el consumo de sustancias químicas para el organismo.

# Recopilando disco

I. Para responder, ennegrece el óvalo de la alternativa que consideres correcta en la hoja de respuesta.

1. Respecto de la sinapsis, es correcto afirmar que:

- I. Los potenciales de acción llegan al botón sináptico.
- II. Es en la hendidura sináptica donde actúa la mayoría de las drogas.
- III. Es el lugar donde se produce la comunicación química entre las neuronas.

A. Solo I.

B. Solo I y II.

C. Solo I y III.

D. Solo II y III.

E. I, II y III.

2. ¿En qué momento las vesículas del botón sináptico liberan los neurotransmisores al espacio sináptico?

Cuando:

- A. El impulso nervioso alcanza el umbral de excitación.
- B. Ya se ha producido la exocitosis de calcio desde el botón sináptico.
- C. El impulso nervioso llega al final del axón de la neurona presináptica.
- D. El impulso nervioso llega a las dendritas de la neurona presináptica.
- E. El impulso nervioso llega al final del axón de la neurona postsináptica.

3. Los neurotransmisores:

- I. Se liberan por mecanismos de exocitosis.
- II. Transmiten el impulso nervioso en la sinapsis.
- III. Son células especializadas en la transmisión del impulso nervioso.

La respuesta correcta es:

- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y II.
- E. Solo I y III.

4. La aplicación de un fármaco generó hiperpolarización en un grupo de neuronas de la corteza. Mientras dure el efecto del fármaco, dichas células:

- A. No podrán conducir impulsos nerviosos.
- B. Solo conducirán impulsos en un sentido.
- C. Tendrán un umbral de excitación más bajo.
- D. Tendrán bloqueados sus receptores de cloruro.
- E. Conducirán potenciales de acción en forma más rápida.

5. Una droga suministrada para controlar la ansiedad nerviosa (ansiolítico) tiene un mecanismo de acción:

- I. Estimulador del receptor de GABA.
  - II. Que activa las descargas eléctricas de las neuronas postsinápticas.
  - III. Que depolariza las neuronas postsinápticas por entrada de cloro.
- A. Solo I.
  - B. Solo II.
  - C. Solo III.
  - D. Solo I y II.
  - E. Solo I y III.

6. Si la unión de un neurotransmisor a su receptor en la neurona postsináptica provoca la apertura de canales para cloruro, entonces su liberación ocasiona:

- A. La depolarización de la neurona postsináptica.
- B. La hiperpolarización de la neurona postsináptica.
- C. La repolarización de la neurona postsináptica.
- D. La depolarización de la neurona presináptica.
- E. La hiperpolarización de la neurona presináptica.

7. ¿Qué factor influye en que el potencial postsináptico sea inhibitorio o excitatorio?

- A. La distancia y cantidad de neuronas que hacen sinapsis.
- B. El tipo de canales iónicos que se abren en la neurona postsináptica.
- C. La frecuencia del potencial de acción que llega a los botones presinápticos.
- D. La cantidad de receptores postsinápticos a los que se unen los neurotransmisores.
- E. La cantidad de vesículas con neurotransmisores que se abren en la hendidura sináptica.

# Hoja de respuestas

## **IDENTIFICACIÓN DEL POSTULANTE**

**APELLIDO PATERNO**

**APELLIDO MATERNO**

## NOMBRES

RESPUESTAS

1	A	B	C	D	E
2	A	B	C	D	E
3	A	B	C	D	E
4	A	B	C	D	E
5	A	B	C	D	E
6	A	B	C	D	E
7	A	B	C	D	E
8	A	B	C	D	E
9	A	B	C	D	E
10	A	B	C	D	E
11	A	B	C	D	E
12	A	B	C	D	E
13	A	B	C	D	E
14	A	B	C	D	E
15	A	B	C	D	E
16	A	B	C	D	E

Desprende la hoja y úntala para responder la evaluación semestral.

# T

# Tabla de especificaciones

Completa la tabla con las respuestas que te entregó tu profesor(a) y revisa tu desempeño.

Contenido evaluado	Preg.	Habilidad	Clave	Mi revisión*		
				I	O	C
Funcionamiento nervioso Págs. 10 a 53	1	Comprender				
	2					
	3					
	4					
	5					
	6		Aplicar			
	7					
Respuestas a los cambios del entorno Págs. 54 a 95	8	Recordar				
	9					
	10	Comprender				
	11					
	12					
	13					
	14					
	15	Aplicar				
	16					
				Total		

**Mi revisión\***

I: incorrectas    O: omitidas    C: correctas

**NOTAS**

- 8. ¿Qué tipo de receptores son sensibles a los cambios de presión?**
- Los quimiorreceptores.
  - Los fotorreceptores.
  - Los termorreceptores.
  - Los mecanorreceptores.
  - Los electrorreceptores.
- 9. Los estímulos ambientales son conducidos por medio de:**
- Las neuronas motoras.
  - Las neuronas sensitivas.
  - Las interneuronas.
  - Los órganos efectores.
  - Los órganos receptores.
- 10. En el contexto de la regulación de las funciones corporales, los músculos y las glándulas corresponden a:**
- Efectores.
  - Receptores.
  - Centros integradores.
  - Centros elaboradores.
  - Vías aferentes y eferentes.
- 11. Respecto de los conos y de los bastones, es correcto afirmar que:**
- Son receptores.
  - Se encuentran en el nervio óptico.
  - Transmiten impulsos nerviosos en la estructura ocular.
- Solo I.
  - Solo II.
  - Solo III.
  - Solo I y III.
  - I, II y III.
- 12. La miopía y la hipermetropía son causadas por:**
- Un daño irreversible en la retina.
  - Una baja ingesta de vitamina A en la dieta.
  - Una alteración en la forma del globo ocular.
  - Una disminución en la actividad de los fotorreceptores.
  - Cambios en la composición de los humores vítreo y acuoso.
- 13. En relación con el globo ocular, ¿cuál de las siguientes afirmaciones es falsa?**
- El iris permite abrir y cerrar la pupila.
  - La pupila se encuentra en el centro del iris.
  - La córnea actúa como un lente convergente.
  - La retina es la capa más interna del globo ocular.
  - La cámara posterior del ojo contiene el humor acuoso.
- 14. ¿Qué tienen en común la sudoración abundante durante el ejercicio físico y tomar agua después del mismo?**
- Disminuir la temperatura corporal.
  - Son mecanismos de termorregulación.
  - Son actos voluntarios regulados por el sistema nervioso.
- Solo I.
  - Solo II.
  - Solo I y II.
  - Solo II y III.
  - I, II y III.
- 15. Si se produce un aumento de la hormona antidiurética (ADH) en la circulación, entonces habrá:**
- Aumento de glucosa en la orina.
  - Mayor concentración de sodio en el plasma.
  - Mayor concentración de electrolitos plasmáticos.
  - Plasma más concentrado y con menor presión osmótica.
  - Mayor reabsorción en los conductos colectores y menor volumen de orina.
- 16. Cuando estamos en una habitación en penumbra y salimos a plena luz del día, ocurren una serie de procesos, entre los que se encuentran:**
- La contracción de las pupilas de los ojos.
  - El cierre de canales de  $\text{Na}^+$  en las membranas de los bastones.
  - La generación de potenciales de acción por la depolarización de células nerviosas.
- Solo I.
  - Solo II.
  - Solo I y II.
  - Solo II y III.
  - I, II y III.



# Vida en la Tierra

A B  
C D

## MENÚ de inicio

### ¿Qué aprenderás?

### ¿Para qué?

### ¿Dónde?

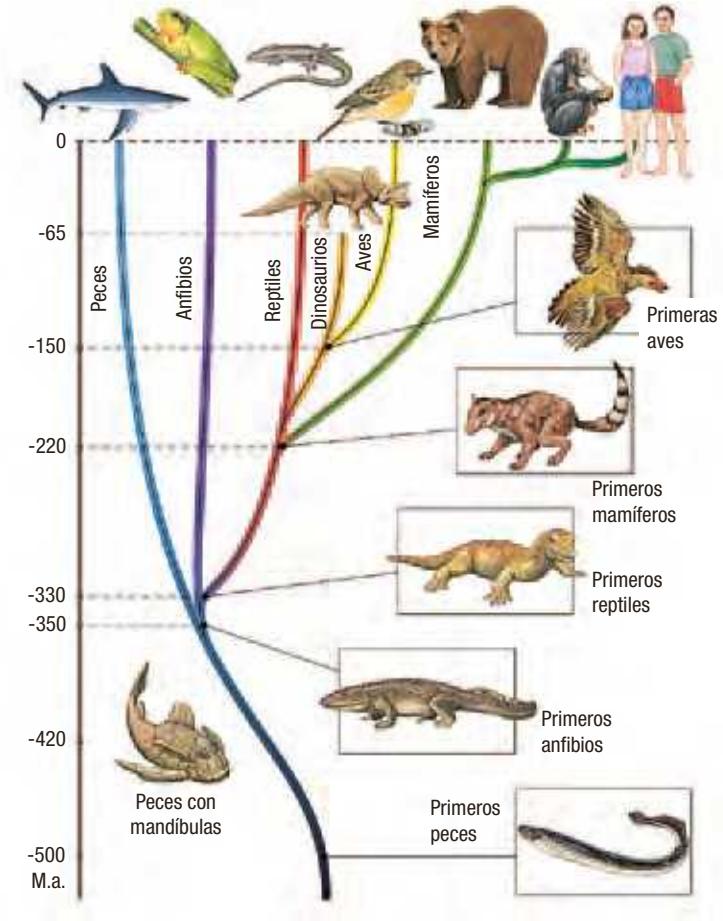
Interpretación de resultados.	Formular explicaciones a partir de los datos obtenidos en distintas actividades procedimentales.	Páginas 100, 101, 114, 115 y 136
Las principales ideas y teorías sobre el origen de la vida.	Conocer las principales ideas y teorías que proponen explicar el origen de la vida en la Tierra y los distintos experimentos que se han llevado a cabo para apoyarlas o refutarlas.	Páginas 102 a 115
La historia de la vida en la Tierra.	Comparar y localizar temporalmente a los principales grupos de seres vivos a través del tiempo evolutivo, desde las primeras manifestaciones de vida hasta el surgimiento de la especie humana.	Páginas 118 a 125
Explicaciones del origen de la diversidad de vida en la Tierra.	Describir los principales eventos relacionados con el origen de las distintas formas de vida en la Tierra.	Páginas 126 a 131
Hipótesis de dos creacionistas-fijistas: Linneo y Cuvier.	Comprender la pertinencia de determinadas hipótesis clásicas y contemporáneas, considerando el conocimiento desarrollado en el momento de la realización de esas investigaciones.	Páginas 130 y 131

## ABRIR SESIÓN

El término “parentesco” se utiliza en evolución por similitud con el significado que este tiene en el lenguaje cotidiano; dos hermanos son parientes muy próximos porque su antecesor común pertenece a la generación anterior.

Del mismo modo que se utilizan árboles para representar las relaciones familiares, también se emplean para representar relaciones de parentesco evolutivo. Son los árboles filogenéticos.

1. ¿Quién es el “antecesor común” de dos primos? ¿Cuántas generaciones hay que retroceder para encontrar a ese antecesor común?
2. Según este árbol filogenético, indica el orden cronológico de aparición de los grandes grupos de vertebrados.
3. ¿Qué grupo de vertebrados actuales tiene mayor cercanía evolutiva con los dinosaurios?



Hasta donde sabemos, del Universo conocido nuestro planeta es el único en el que se ha desarrollado la vida.



[nuevoexplorando.edicionessm.cl](http://nuevoexplorando.edicionessm.cl)

# Iniciando

## ETAPAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
3. Procedimiento experimental.
4. Obtención de resultados.
- 5. Interpretación de resultados.**
6. Elaboración de conclusiones.

## ¿QUÉ ES INTERPRETAR LOS RESULTADOS?

Significa expresar, con palabras propias, lo que se entiende de una información leída, recopilada u obtenida en un trabajo experimental. En este último caso, implica relacionar los resultados con lo esperado en la hipótesis.

## PASOS PARA INTERPRETAR LOS RESULTADOS

- Paso 1: identificar lo que se entiende de la información obtenida.
- Paso 2: relacionar lo que se entiende con lo que se sabe.
- Paso 3: expresar o explicar la información con palabras propias y comprobar que lo que se exprese tenga sentido.

## ¿Cómo se originó la vida en la Tierra?

Como veremos a lo largo de la unidad, distintas teorías han intentado responder esta ambiciosa pregunta. Las contundentes evidencias obtenidas por Pasteur en 1864 le permitieron rebatir la teoría de la generación espontánea, idea que predominó desde la Antigüedad y comenzaba a quedar atrás como explicación para dar cuenta de la aparición de seres vivos a partir de la materia inerte. Considerando, entonces, que todo ser vivo proviene de otro, surge una pregunta distinta: ¿cómo surgió el primer ser vivo o las condiciones necesarias para que este se originara? El problema del **origen de la vida** en el planeta no estaba resuelto. En la década de 1920, el bioquímico ruso Alexander Oparin y el genetista británico J. B. S. Haldane idearon, de forma independiente, una revolucionaria propuesta a esta interrogante.

## Formulación de hipótesis

En 1924, Oparin (1894-1980) publica una nueva teoría para explicar el origen de la vida. Según esta, la vida sería la culminación de una larga evolución química que habría precedido a la evolución biológica. Para Oparin, la atmósfera primitiva de la Tierra, desprovista de oxígeno, debía ser muy diferente de la actual y postulaba que *la evolución de moléculas orgánicas simples presentes en esta atmósfera habría permitido la formación de compuestos de interés biológico, aminoácidos particularmente*.

Algunos años más tarde, sin tener conocimiento del libro de Oparin, el biólogo inglés John B. Haldane (1892-1964) publica un artículo en el que presenta ideas coincidentes. Sugiere que la formación de compuestos orgánicos en la Tierra primitiva debió ocurrir antes de la aparición de los primeros seres vivos y que precisamente esos compuestos pudieron, por mecanismos evolutivos, conducir a la vida.

Según este planteamiento, los primeros sistemas vivos se habrían formado espontáneamente en la **atmósfera primitiva** gracias a una sucesión de procesos químicos prebióticos de complejidad creciente, donde la mezcla de gases allí presentes, expuesta a un ambiente de radiaciones solares y tormentas, habría reaccionado, dando origen a las primeras moléculas orgánicas simples. Producto de la condensación de estos gases, este proceso habría continuado en los océanos, donde estos compuestos acumulados originarían una “sopa” o “caldo” primordial de moléculas orgánicas cada vez más complejas, donde habrían aparecido los primeros agregados moleculares, sistemas capaces de duplicarse de manera autónoma y precursores de los primeros organismos.

## Planteamiento del problema

¿Cómo intentar reproducir en el laboratorio, en condiciones perfectamente estériles y sin oxígeno, algunas de las etapas de esta evolución química?

En 1953, Stanley Miller (1930-2007), estudiante que preparaba su tesis en el laboratorio del Premio Nobel de Química Harold Urey (1893-1981), en la Universidad de Chicago, realizó, junto a su director, el primer intento para simular en un aparato de laboratorio las supuestas condiciones de la Tierra primitiva y así poner a prueba la hipótesis de Oparin y Haldane.



▲ Stanley Miller.



▲ Harold Urey.

## Procedimiento experimental

Miller y Urey utilizaron un recipiente de vidrio al que soldaron varios electrodos y en el que introdujeron los siguientes gases: metano ( $\text{CH}_4$ ), amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Esta mezcla gaseosa era entonces un modelo plausible de lo que podía ser la atmósfera terrestre primitiva. Durante una semana los sometieron a descargas eléctricas semejantes a las que tienen lugar en las tormentas. Recordemos que la idea era recrear las condiciones que se podrían haber dado en esta atmósfera primitiva. Al finalizar el experimento, Miller y Urey detectaron numerosos compuestos orgánicos. Entre ellos, identificaron cuatro aminoácidos, urea y varios ácidos grasos.

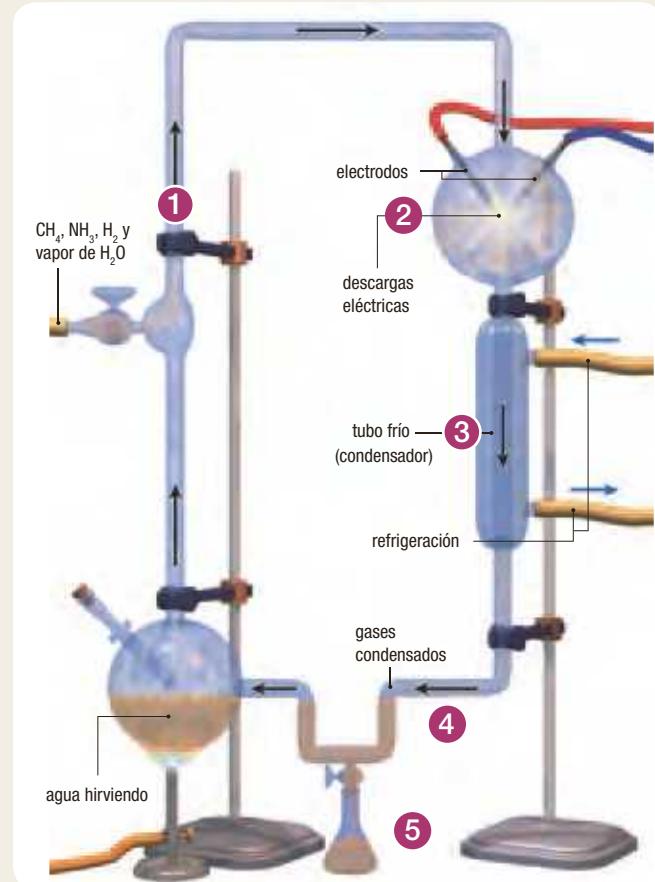
## Obtención e interpretación de resultados

- Miller y Urey comprobaron particularmente la presencia de aminoácidos en la solución. Demostraron así que la evolución de un sistema químico muy simple, sometido a un flujo de energía, podía llevar a la formación de compuestos de interés biológico, como aminoácidos y azúcares.
- Ni el experimento de Miller y Urey ni otros posteriores han logrado sintetizar todos los componentes de los seres vivos, ni mucho menos explicar el origen de la vida. Sin embargo, la conclusión innegable a la que conducen es que al menos la materia prima para la vida pudo haberse generado de forma espontánea.
- Por otro lado, también se ha reconocido una similitud entre los aminoácidos encontrados en el experimento de Miller y Urey y los hallados en los meteoritos, lo que podría darle crédito a la teoría de la panspermia, que dice que los asteroides pudieron esplicar los ingredientes de la vida por el Universo.
  - ¿Cuál fue la naturaleza de las sustancias encontradas en el experimento?
  - ¿Por qué crees que la obtención de aminoácidos a partir de las condiciones experimentales fue importante?
  - Además de moléculas orgánicas, ¿se obtuvo alguna otra entidad organizada?, ¿precursores de organismos, por ejemplo?, ¿qué te hace pensar ese resultado?

## Elaboración de conclusiones

Teniendo en cuenta las condiciones del experimento, así como tus respuestas anteriores, analiza y responde las siguientes preguntas.

- ¿Crees que la hipótesis de Oparin fue validada con los resultados obtenidos por Miller y Urey? ¿Por qué?
- Miller y Urey ¿demostraron cómo se originó la vida en la Tierra? Argumenta.
- ¿Crees que con este experimento y con la teoría quimiosintética de Oparin y Haldane se puede descartar la teoría de la panspermia? Explica.



1 Una solución de compuestos químicos simples se calienta, produciendo una "atmósfera" de metano, amoniaco, hidrógeno y vapor de agua que circula por el tubo hacia el balón.

2 Descargas eléctricas simulan rayos, lo que provee la energía necesaria para la síntesis de nuevos compuestos.

3 Un condensador enfriá los gases "atmosféricos" en una lluvia que contiene nuevos componentes que desembocan en el "oceano".

4 Los componentes reaccionan en el agua, donde se obtienen moléculas orgánicas sencillas.

5 El material condensado es recolectado y analizado por Miller y Urey.

### Mi ESTADO

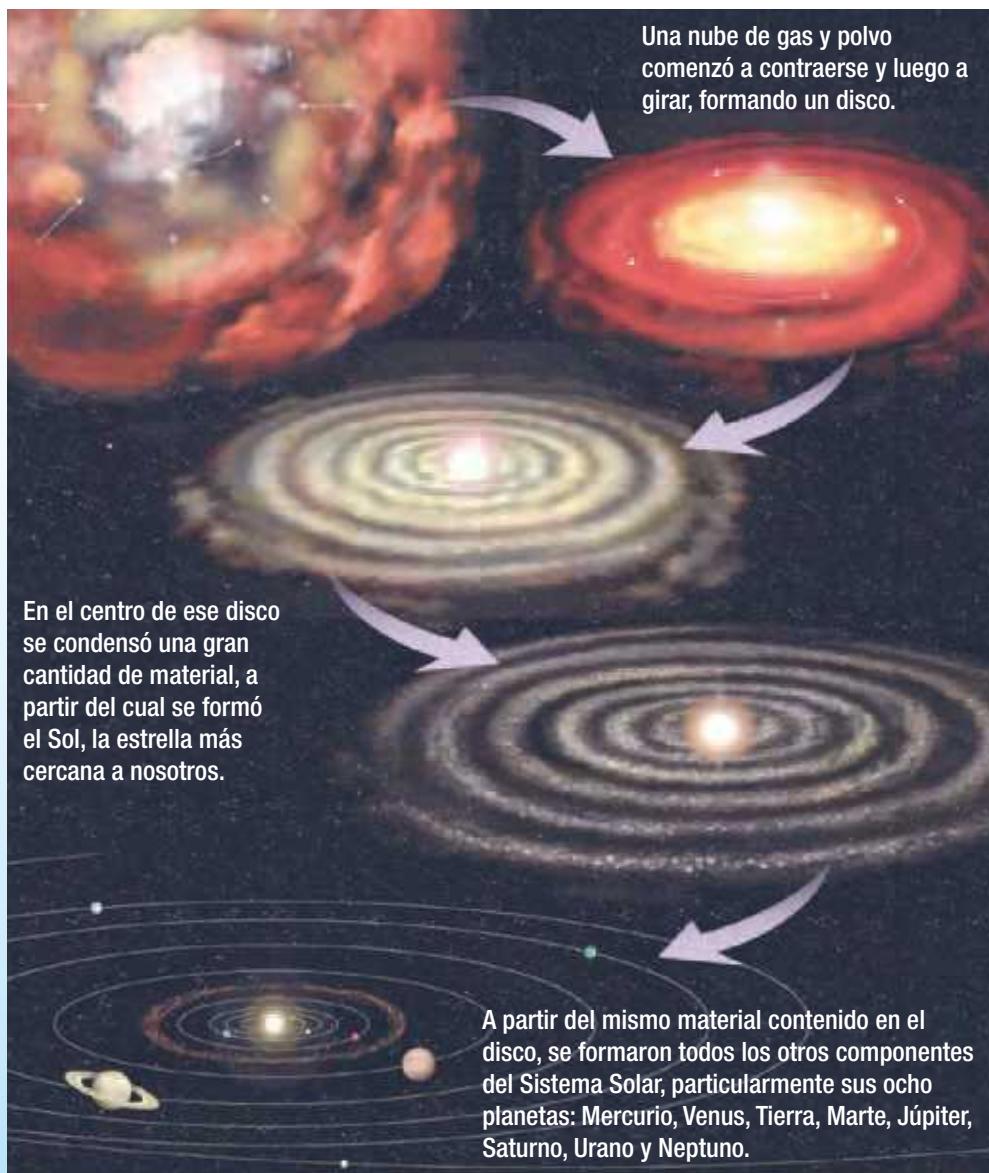
- En esta actividad, ¿qué te resultó más difícil y por qué?
- ¿Comprendiste el recuento histórico de antecedentes que fue desarrollado y la conexión entre los grandes hitos?
- ¿Es posible que distintas teorías y explicaciones a una misma pregunta puedan coexistir y complementarse? Explica tu opinión a partir de lo que acabas de leer.

# Origen del Universo y de nuestro planeta

La **hipótesis del Big Bang** (gran explosión) plantea que nuestro Universo se formó luego que toda la materia y la energía contenidas en él se concentraran en un espacio infinitamente pequeño. Este suceso colosal habría ocurrido hace unos **13.700 millones de años** (M.a.), y a partir de ese momento el Universo comenzó a expandirse, proceso que según estimaciones actuales todavía continúa. Durante este evento de expansión, la materia comenzó a organizarse debido, principalmente, a fuerzas de atracción gravitatorias. Esto dio origen a todas las estructuras conocidas del Universo, desde los átomos hasta las galaxias.

Se estima que nuestra galaxia (Vía Láctea) es una de las más antiguas y casi tanto como el Universo. El **Sistema Solar** al que pertenecemos y el planeta **Tierra**, por su parte, se habrían formado hace unos **4.600 M.a.** Nuestro satélite natural, la Luna, se habría originado hace unos 4.500 M.a., por el choque de la Tierra con un protoplaneta (*Theia*). Esta colisión no solo habría formado la Luna, sino que además sería la responsable de la inclinación del eje de giro de nuestro planeta, causante de las estaciones del año.

## Esquemas representativos de la formación del Sistema Solar y de la Luna



▲ Debido a lo violento del choque entre la Tierra y el planeta *Theia*, salió expulsada hacia el espacio una gran cantidad de materia, la que se agrupó poco a poco y dio origen a la Luna.

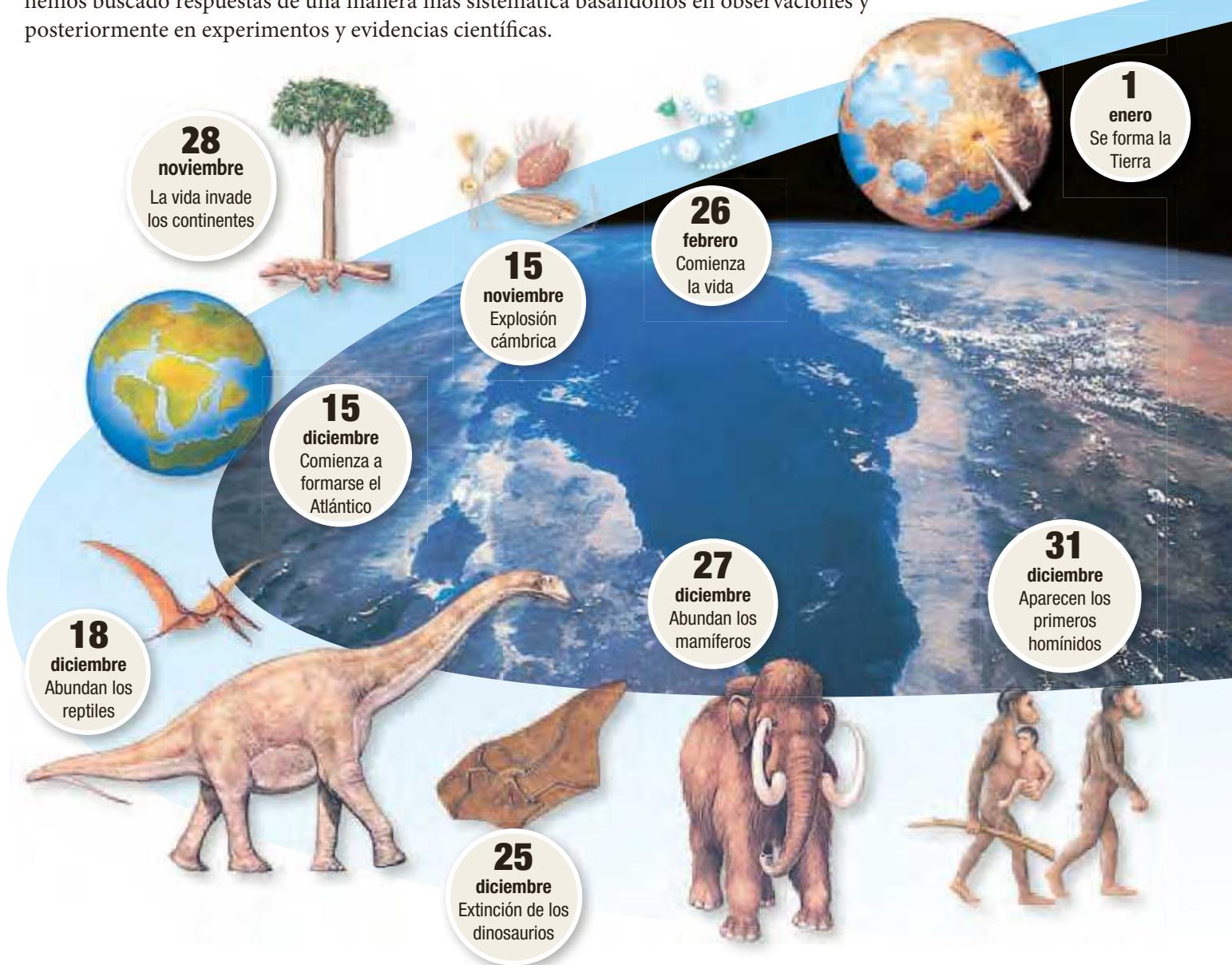
# El origen de la vida

La historia de nuestro planeta probablemente puede ser contada de muchas maneras distintas, con énfasis en diferentes aspectos o eventos ocurridos desde su formación. Sin embargo, cualquier relato de la historia de la Tierra deberá necesariamente incluir el evento de mayor relevancia para nuestra propia historia: el desarrollo de la vida.

Se estima que hace unos **3.900-3.500 M.a.** aparecieron las **primeras formas de vida**. Desde ese momento, la Tierra no sería la misma, pues la aparición de la vida determinaría, hasta donde sabemos, un camino completamente distinto para nuestro planeta, en el que se vieron afectados procesos geológicos y físico-químicos en su atmósfera, océanos y continentes.

Una de las preguntas que nos han intrigado desde los albores de la humanidad es precisamente la que tiene que ver con el origen de la vida.

A través de nuestra historia, todos los grupos humanos y culturas han intentado explicar el origen de la vida a partir de creencias populares y religiosas. Solo hace unos pocos siglos, hemos buscado respuestas de una manera más sistemática basándonos en observaciones y posteriormente en experimentos y evidencias científicas.



▲ Se estima que la Tierra tiene una edad de 4.600 millones de años (M.a.). Si se representa toda la historia del planeta en un año calendario y se marcan los principales eventos, podemos ver la gran cantidad de tiempo que pasó entre el comienzo de las primeras manifestaciones de vida y la aparición de los homínidos, nuestros ancestros.

# Creacionismo

Esta corriente de pensamiento, aún cuando en ciertos documentos se presenta como teoría, no corresponde a un cuerpo teórico o teoría en el sentido estricto (científico). No es raro que estas ideas dominaran por mucho tiempo, no solo entre las creencias populares, sino que fueran una de las explicaciones predominantes entre los intelectuales del Viejo y Nuevo Mundo hasta **finales del siglo XVIII** para dar cuenta del origen del Universo y de la vida.

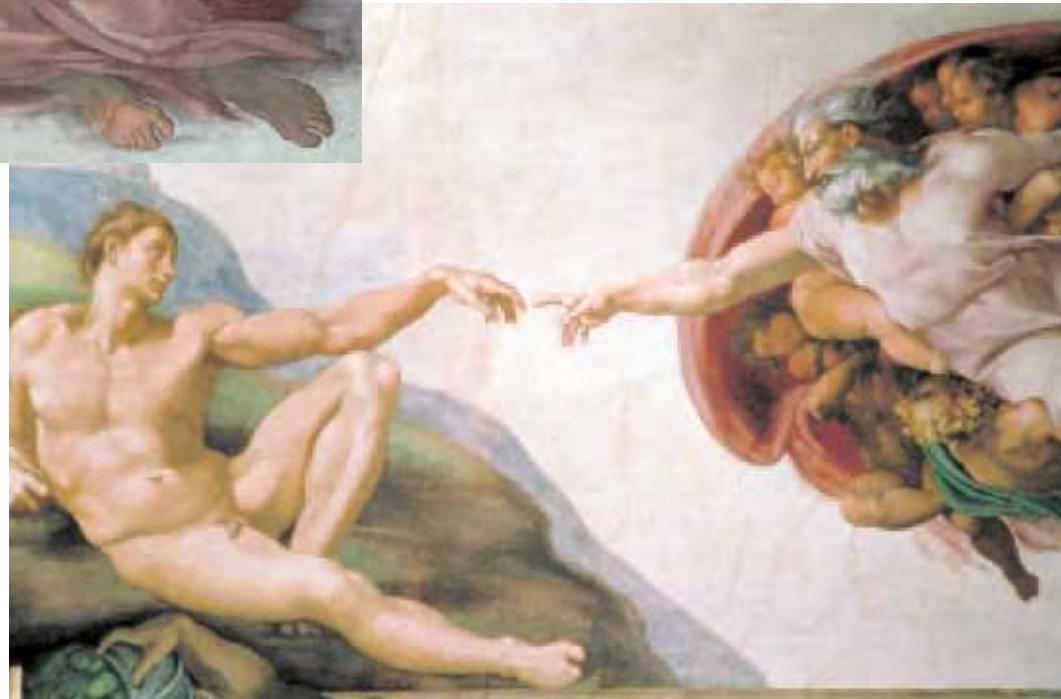
Esta doctrina, basada en el relato bíblico del Antiguo Testamento, postula que el Universo, nuestro planeta y todos los seres vivos que en él habitan, incluidos los seres humanos, **fueron creados por Dios**, en un acto que duró seis días. Puesto que todas las formas de vida

fueron creadas, la mayor parte de los defensores de esta doctrina también postulaban que las especies habían sido concebidas con las **adaptaciones necesarias** para vivir en ambientes determinados y que sus características habían permanecido **inalteradas** desde su origen. Esta corriente creacionista se conoce como **fijismo** y fue la visión dominante hasta fines del siglo XVIII.

En la medida en que surgían contradicciones, la doctrina creacionista se adaptaba, y es así como la teoría del **catástrofismo** postulaba actos de destrucción y creación para explicar las **extinciones y apariciones** de nuevas formas de vida en el **registro fósil**.



▲ Creación del Sol y la Luna, escena pintada al fresco en la bóveda de la Capilla Sixtina por Michelangelo Buonarroti (Miguel Ángel) en la Ciudad del Vaticano (1508 – 1512).



▲ Creación de Adán, escena pintada al fresco en la bóveda de la Capilla Sixtina por Michelangelo Buonarroti en la Ciudad del Vaticano (1508 – 1512).

Fuera de la religión de base judeo-cristiana, las principales religiones y creencias de pueblos de la Antigüedad cuentan con mitos de creación. La mayoría de estos relatos le atribuyen a uno o más seres superiores (dioses) la creación del Universo, nuestro planeta y las cosas inanimadas y animadas que se encuentran en él, incluidos los seres humanos. Muchas veces a estos dioses se les otorgan ciertos atributos morales particulares y el manejo de los poderes de la naturaleza.

# Los grandes viajes de descubrimiento y la evidencia fósil

Durante la Edad Media, una serie de exploraciones por vía terrestre habían posibilitado el comercio entre Europa y Asia con cierta independencia de los imperios islámicos. Estos viajes abrieron rutas comerciales terrestres para Europa, pero tenían la dificultad de estar monopolizadas por los comerciantes venecianos y, además, resultaban extremadamente difíciles, largas y económicamente caras debido a los innumerables tributos que era necesario pagar en su largo recorrido.

A partir del siglo XV y hasta el siglo XVII, se iniciaron una serie de viajes de grandes proporciones a través del mar con el primer objetivo de encontrar nuevas rutas para el comercio con Asia y posteriormente para conquistar los vastos territorios descubiertos en los viajes iniciales.

Una de las consecuencias de estos viajes no fue solo el **descubrimiento** de nuevos territorios. Esto vino acompañado del hallazgo de una **diversidad enorme de plantas y animales** que cautivaron casi inmediatamente a botánicos y zoólogos en toda Europa. La mayor parte de los barcos traían consigo organismos desconocidos que atraían la curiosidad de todos. Esta práctica comenzó a hacerse habitual y se profesionalizó al ser encomendada por las cortes, sociedades científicas y museos a naturalistas o científicos que comenzaron a acompañar estos viajes con fines documentales y de recolección.

El impacto que tuvo el descubrimiento de toda esta diversidad pronto se hizo notar, así como la necesidad de sistematizar las observaciones. Científicos en toda Europa se vieron ante la necesidad de clasificar los variados especímenes y lograr explicar la gran diversidad encontrada y las semejanzas y diferencias entre estas nuevas especies y las del viejo mundo.

Las primeras descripciones de fósiles se hallan en documentos de la Grecia Clásica. En dichos escritos existen dos visiones respecto a su origen y naturaleza. La interpretación de la **escuela Pitagórica** era que estos correspondían a restos de organismos y por lo tanto les atribuían una naturaleza biológica. La segunda explicación corresponde a la **escuela Platónica**, que planteaba que los fósiles eran intentos de la naturaleza de imitar a los seres vivos.

Desgraciadamente, esta última interpretación fue la que perduró durante toda la Edad Media y hasta fines del siglo XVIII debido a la marcada influencia del pensamiento platónico-aristotélico en el mundo Occidental. Estas ideas fueron apoyadas por la Iglesia, que no encontraba explicación en las sagradas escrituras que diera cuenta de los fósiles. Sin embargo, Georges Cuvier sería uno de los que cambiarían esta visión al atribuirle un **origen diluviano a los fósiles**. Esto finalmente sería la base para su teoría de las catástrofes (catastrofismo), la cual explicaría la presencia de fósiles a partir de catástrofes de origen divino, semejantes al diluvio universal, que habrían ocurrido en el pasado y que explicarían la desaparición de formas de vida y la aparición de nuevos tipos en etapas sucesivas.

Posteriormente, geólogos como Charles Lyell comenzaron a encontrar relaciones entre fósiles, las que permitían asociar formaciones geológicas en diversas partes del mundo. Los fósiles encontrados en estas formaciones, además, mostraban relaciones en términos de forma, tamaño y complejidad, que al ser analizadas de manera objetiva sugerían relaciones de continuidad entre algunos grupos de especies, como si unas derivaran de las otras. Estos geólogos además propusieron una edad para la Tierra mucho mayor que la determinada a partir del relato bíblico.



▲ Una de las travesías más famosas fue la realizada por los hermanos Polo, Mateo y Nicolás, este último acompañado de su hijo Marco, quienes recorrieron desde Venecia hasta China en un viaje que duró 24 años hasta su regreso a Venecia. Durante este viaje, Marco escribió un libro en el que relata su expedición, con descripciones detalladas de sus descubrimientos, lugares, personas, y una exhaustiva reseña de todas las riquezas de Asia.

## Ampliando MEMORIA

Cuvier es considerado el padre de la Paleontología, principalmente por sus trabajos en anatomía comparada (comparación entre los órganos de distintas especies) y morfología funcional (relación entre la forma y la función de los órganos). Es curioso, sin embargo, que a pesar de atribuirle un origen biológico a los fósiles y habiendo además relacionado las anatomías y órganos de los mismos a través de distintos grupos de organismos, no haya podido reconocer otras relaciones entre ellos, como las transiciones y relaciones morfológicas a través del registro fósil. Estas ideas necesariamente le habrían llevado a cuestionar el origen de la diversidad, como comenzó a ocurrir con otros pensadores de la época.

# Teoría de la generación espontánea

Esta teoría, también conocida como **abiogénesis** o **autogénesis**, tiene su origen en creencias populares y está basada en la observación (sin experimentación) de algunos fenómenos y procesos de supuesta aparición de formas de vida en relación directa con materia u objetos inanimados.

Algunas de las primeras descripciones de este fenómeno las hizo Aristóteles (384-322 a.C.) en sus libros *Generatio Animalium* e *Historia Animalium*, en los que describe la aparición de distintos seres vivos a partir de materia en descomposición, lodo o agua estancada. Debido a la gran influencia del pensamiento aristotélico en el mundo Occidental, no es raro que esta teoría estuviese fuertemente arraigada entre los intelectuales hasta finales del siglo XVIII, período durante el cual el creacionismo y la generación espontánea fueron las dos doctrinas predominantes.



▲ Francesco Redi (1626-1697).

A partir de los experimentos de **Francesco Redi** (1626-1697), en 1668, en los que demostró que los gusanos no surgen de forma espontánea a partir de la carne en descomposición, la teoría de la generación espontánea comenzó a ser seriamente puesta en duda. Sin embargo, para la gran masa de científicos seguidores de esta teoría, Redi solo había demostrado que la generación espontánea no ocurría en animales. Para algunos de ellos, todavía era posible que sí fuera la explicación para el caso de los microorganismos.

Recordemos el experimento de Redi:

Redi observó que cuando moría un animal, ocurría un proceso de descomposición de sus restos y aparecían gusanos que se alimentaban de esta carne descompuesta. Además, notó que era posible ver una gran cantidad de moscas sobre los animales muertos. Con estos antecedentes pensó que si ponía en un frasco un trozo de carne, este se iba a descomponer tal y como ocurría con los restos de un animal. Infería que en él aparecerían gusanos y, al igual que en el caso de un animal muerto, muchas moscas llegarían a merodear el trozo de carne.

En su experimento, Redi tomó dos frascos y puso un trozo de carne en cada uno de ellos. Selló fuertemente uno de los frascos (A) y el otro lo dejó abierto (B). Para descartar que la falta de aire influyera en los resultados del frasco A, puso un tercer frasco destapado, pero cubrió la boca de este con gasa, permitiendo el ingreso de aire, pero impidiendo la entrada de las moscas (C).

Los resultados que obtuvo fueron los siguientes:

A	B	C
A sealed jar containing a piece of raw meat. There are no flies or other insects visible around it.	An open jar containing a piece of raw meat. Numerous flies are hovering above and landing on the meat.	A jar with its top removed and replaced by a piece of gauze. A piece of raw meat sits inside. Flies are visible on the gauze covering the jar's opening.

**A** No se desarrollaron gusanos en la carne.  
**B** Se desarrollaron gusanos en la carne.  
**C** Se desarrollaron gusanos sobre la gasa.

Experimentos realizados por el científico y sacerdote inglés **John Needham** (1713-1781) intentaron probar que la generación espontánea explicaba la aparición de los microorganismos causantes de la descomposición. En sus experimentos efectivamente era posible encontrar microorganismos luego de calentar los matraces que contenían medio nutritivo. Sin embargo, de lo que él no se percató fue que esto había ocurrido debido a una mala manipulación de su material experimental (lo que ahora llamaríamos contaminación biológica).

### Experimento de Needham

Needham calentó el contenido de matraces con caldo de carne, luego los traspasó a otros recipientes y lo cerró con tapas de corcho, observando días después la aparición de microorganismos.



▲ John Needham (1713-1781).

**Lazzaro Spallanzani** (1729-1799), en 1769, diseñó experimentos más rigurosos y mejor planificados para refutar los resultados de Needham, en los que demostró que los microorganismos tampoco se generan en forma espontánea. Sin embargo, fue criticado por haber calentado demasiado los frascos y evitado así la entrada de aire, con lo que habría eliminado un “principio vital” necesario para la generación espontánea.

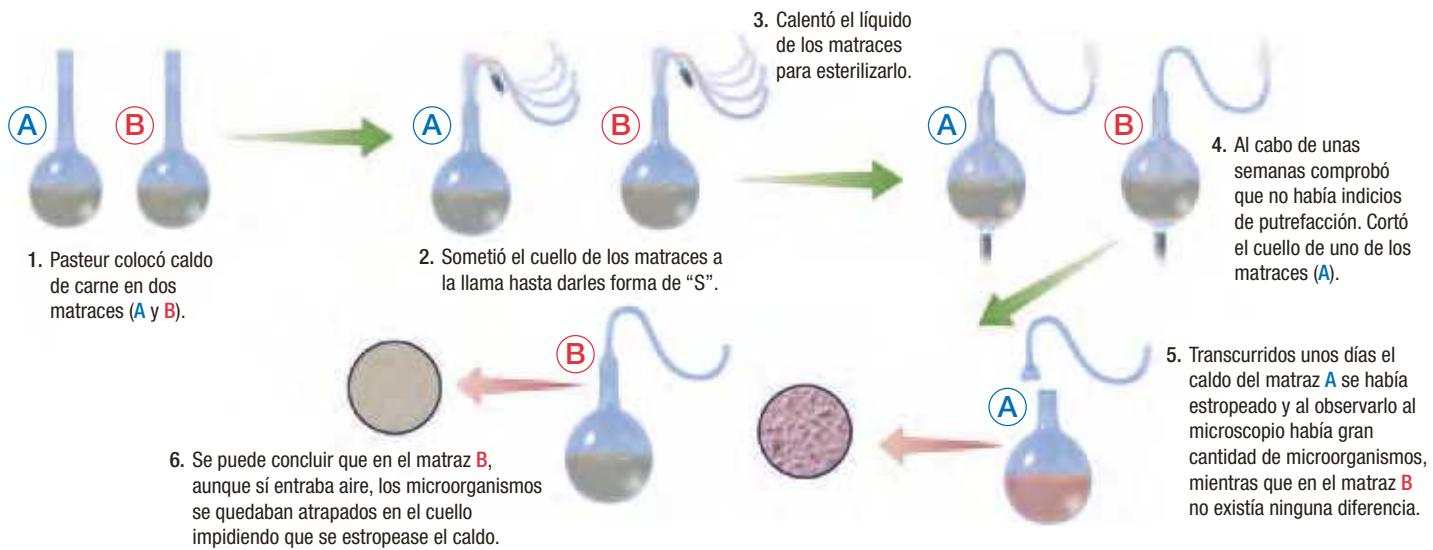
### Experimento de Spallanzani



▲ Lazzaro Spallanzani (1729-1799).

La evidencia final y más rotunda en contra de esta hipótesis fue entregada por los experimentos realizados por **Louis Pasteur** (1822-1895) en 1864. Cabe mencionar que se necesitaron 200 años para refutar definitivamente la teoría de la abiogénesis.

### Uno de los experimentos de Pasteur



▲ Louis Pasteur (1822-1895).

### Actividad

#### 1. Analizando los resultados obtenidos por estos científicos, responde las siguientes preguntas.

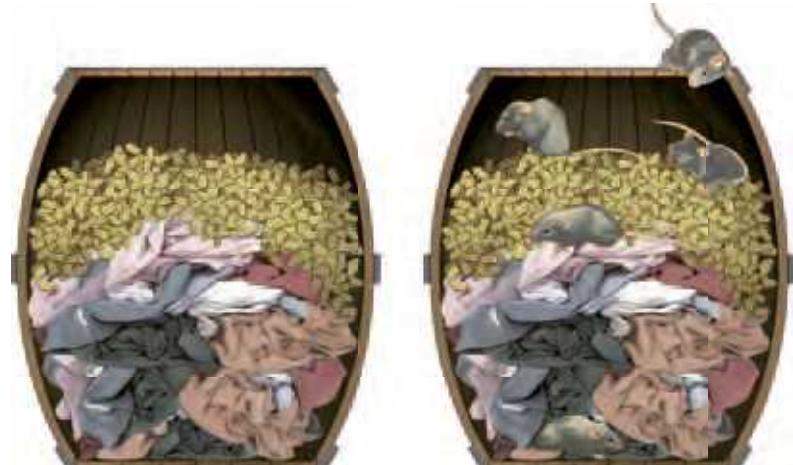
- ¿Qué teoría, vigente en esa época, permitía explicar en el experimento de Redi la aparición de gusanos en la carne en descomposición?
- ¿Por qué los resultados obtenidos en los frascos A y C del experimento de Redi refutan la teoría anterior?
- ¿Por qué crees que aparecieron microorganismos en los frascos de Needham?
- ¿De dónde pudieron provenir dichos microorganismos?
- ¿Cuál es la principal diferencia entre los experimentos de Needham y Spallanzani que explica por qué sus resultados fueron distintos?
- ¿Cuál es la principal diferencia entre los experimentos de Spallanzani y Pasteur? ¿Por qué estos últimos lograron refutar definitivamente la hipótesis de la generación espontánea?

A partir de los experimentos de Pasteur, el principio de la **biogénesis** fue el que empezó a dominar. Dicho principio establece que todo organismo vivo se genera a partir de otro organismo vivo. Sin embargo, esto plantea un nuevo problema:

“Si todo organismo vivo se origina a partir de otro organismo vivo, ¿cómo se originó la vida en nuestro planeta?”.

La refutación de la teoría de la generación espontánea sirvió como un nuevo impulso a la doctrina creacionista, que fue la idea predominante para explicar el origen de la vida en nuestro planeta hasta bien entrado el siglo XX. Para los seguidores de esta creencia, si un ser vivo solo podía ser generado a partir de otro ser vivo, entonces Dios necesariamente debía haber participado del proceso en el que todos los tipos de organismos habían sido inicialmente creados.

Este recuento no debiera resultarnos tan extraño si lo relacionamos con el contexto histórico y el nivel de avance de los conocimientos científicos de ese período. Si se considera la gran influencia social y política de la Iglesia, la vinculación de las minorías intelectuales a la aristocracia y de esta con la clase política, es fácil ver algunos de los conflictos a los que se veían enfrentados todos los que pensaran de manera diferente o se opusieran a las doctrinas e ideas predominantes. Por su parte, los avances científicos eran todavía limitados y una gran parte del conocimiento se basaba en la simple observación de situaciones o fenómenos y en la interpretación subjetiva (y muchas veces prejuiciada) de la persona involucrada. Un ejemplo de esto se encuentra en creencias como el árbol de los gansos, que perduró entre los siglos XI y XVIII, que planteaba que un árbol era capaz de producir gansos, o la creencia de los corderos vegetales, que surgían de frutos semejantes a melones. Estas historias, que a oídos nuestros pueden resultar hilarantes o ridículas, fueron apoyadas, confirmadas y desarrolladas por científicos de la época.



▲ Van Helmont desarrolló una receta para la obtención de ratones, que consistía en colocar en un barril, por 21 días, ropa sucia (que contenía sudor humano) y espigas de trigo.



▲ Representación del árbol de los gansos, creencia que persistió hasta el siglo XVIII.



▲ Representación de los corderos vegetales.

A esto hay que agregar el peso que podía tener una opinión emitida por algún personaje con autoridad en la materia o que contara con cierto renombre en algún área del conocimiento. En parte por esto, tampoco es de extrañarnos que muchos de los que intentaban refutar la generación espontánea dudaran ante resultados adversos y que estos mismos fueran esgrimidos por sus detractores en discusiones extensas y acaloradas. El mismo Redi dudó de que sus argumentos fueran válidos en todos los casos y dejó de esta manera la puerta abierta a nuevas discusiones. Recordemos que intelectuales como Descartes (1596-1650) y Newton (1643-1727) creían en la generación espontánea.

Este es sin duda alguna un caso muy interesante de análisis para entender el **proceso** de avance (o no avance) de la ciencia en un determinado período, para comprender cómo las ideas predominantes influyen en nuestra forma de pensar, cómo los prejuicios y preconceptos impiden ver los problemas desde una nueva perspectiva y cómo el progreso solo es posible al cuestionar lo que otros dan por hecho.

#### Para GRABAR

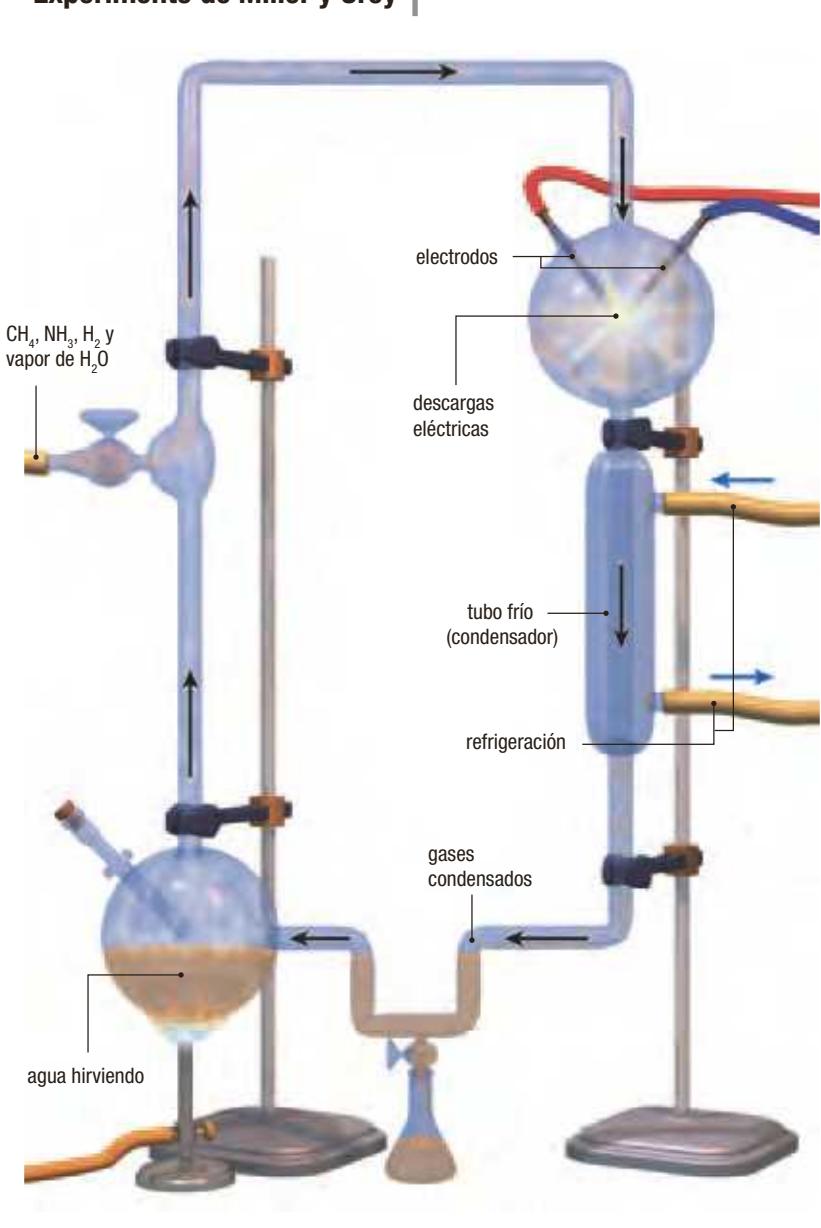
El **creacionismo** atribuye el origen del Universo y la vida a la voluntad de Dios.

Según la **teoría de la generación espontánea**, la vida se podría originar a partir de los objetos inanimados. Experimentos realizados por Redi, Spallanzani y Pasteur lograron descartar esta hipótesis.

# Teoría quimiosintética o del origen físico-químico de la vida

Esta teoría surge a partir de las hipótesis de Alexander Oparin (1894-1980) y John B.S. Haldane (1892-1964), quienes en la década de 1920 propusieron, en forma independiente pero casi simultánea, que la vida se originó a partir de una “**sopa primitiva**” formada por agua y moléculas orgánicas, las que se habrían originado a partir de los componentes de la **atmósfera primitiva** y de la energía provista por el vulcanismo, las tormentas eléctricas y la radiación UV proveniente de la luz del Sol (síntesis prebiótica). En esta sopa primitiva, las moléculas orgánicas se habrían formado y degradado por acción de las mismas fuentes de energía, pero la constante provisión de moléculas y energía a lo largo de millones de años habría posibilitado la formación de moléculas más complejas. Asociaciones más o menos estables de estas moléculas, formadas por proteínas y lípidos, son capaces de presentar actividad enzimática y, por lo tanto, catalizar reacciones bioquímicas complejas. Estas estructuras moleculares también han sido denominadas **probiontes** o **probiontes**, término que indica que serían precursores de los organismos vivos.

## Experimento de Miller y Urey



Como vimos en la sección *Incializando*, en 1953, Stanley Miller y Harold Urey realizaron un experimento en el que recrearon en laboratorio algunas de las supuestas condiciones de la atmósfera primitiva. En su experimento sometieron una mezcla de gases, formada por vapor de agua, metano, hidrógeno y amoníaco, a la acción de un electrodo que producía descargas eléctricas y lograron obtener algunas moléculas orgánicas sencillas. Entre ellas identificaron aminoácidos, urea y ácidos grasos (ver figura). Este experimento ha sido utilizado para avalar la hipótesis de Oparin y la teoría quimiosintética, ya que podría explicar la formación de la sopa primitiva, aun cuando en sí mismo **no prueba que la vida pueda originarse a partir de materia inorgánica**.

Tabla de compuestos obtenidos en el experimento de Miller y Urey

Compuesto	Cantidad obtenida [moles ( $\times 10^5$ )]
Glicina	63,0
Ácido glicólico	56,0
Sarcosina	5,0
Alanina	34,0
Ácido láctico	31,0
N-metilalanina	1,0
Ácido $\alpha$ -amino-N-butírico	5,0
Ácido $\alpha$ -amino isobutírico	0,1
Ácido $\alpha$ -amino hidroxibutírico	5,0
$\beta$ -alanina	15,0
Ácido succínico	4,0
Ácido aspártico	0,4
Ácido glutámico	0,6
Ácido iminodiacético	5,5
Ácido iminodiacético-propiónico	1,5
Ácido fórmico	233,0
Ácido acético	15,0
Ácido propiónico	13,0
Urea	2,0
N-metil urea	1,5

# Teoría panspérnica, cosmozoica o de origen extraterrestre de la vida

Esta teoría fue propuesta por Svante Arrhenius en 1908 y sugiere que las “semillas” o “la esencia de la vida” se encuentran **diseminadas en el Universo**, desde donde habrían llegado a nuestro planeta. El hecho de que existan organismos **extremófilos**, capaces de soportar condiciones muy adversas por largo tiempo (hasta millones de años), e incluso sobrevivir a las condiciones del espacio exterior, hace que esta teoría sea factible, pero no constituye prueba de su veracidad.

Un inconveniente de esta teoría es que en realidad no resuelve el problema del origen de la vida, sino que mueve el problema a otro tiempo y lugar inespecífico dentro del Universo. Es más, los primeros proponentes de estas ideas en realidad defendían una concepción distinta: que la vida era eterna y, por lo tanto, siempre había existido en el Universo. Estos planteamientos se basaron en discusiones filosóficas acerca de la naturaleza de la vida, que era vista como una “esencia”, muy similar en su concepción a la “entelequia” de Aristóteles, que, como ya hemos dicho, fue uno de los filósofos más influyentes en Occidente. Recordemos que cuando estas ideas fueron propuestas, la teoría de la generación espontánea ya había sido refutada y, por lo tanto, solo era posible que los seres vivos surgieran de otros seres vivos.

Hoy en día, el resurgimiento de la teoría panspérnica considera otros aspectos interesantes de ser analizados. Por una parte, incorporar el Universo como una fuente probable de vida amplía enormemente las probabilidades de ocurrencia de los procesos de síntesis prebiótica necesarios para formar las moléculas esenciales para la vida. Evidencias recientes muestran la existencia de moléculas orgánicas complejas en el polvo estelar y algunos cuerpos celestes, como nebulosas, planetas, satélites planetarios (lunas), asteroides y cometas. Estudios actuales también analizan la posibilidad de nuevas condiciones ambientales y procesos capaces de permitir la formación y mantención de formas de vida distintas a las de nuestro planeta y que podrían ocurrir en la vastedad del Universo.

Instituciones como la NASA (agencia aeroespacial de EE.UU.) estudian, entre otras cosas, la existencia de condiciones ambientales capaces de posibilitar la vida (actual o pasada) en planetas como Marte y en satélites de nuestro Sistema Solar, como Titán y Encelado, dos lunas de Saturno, y Europa, una luna de Júpiter. Otros proyectos estudian la existencia en nuestra galaxia de planetas semejantes a la Tierra en términos de tamaño, composición y que posean atmósfera.

Esta teoría postula que la vida habría llegado a nuestro planeta proveniente del espacio exterior.

## Ampliando MEMORIA

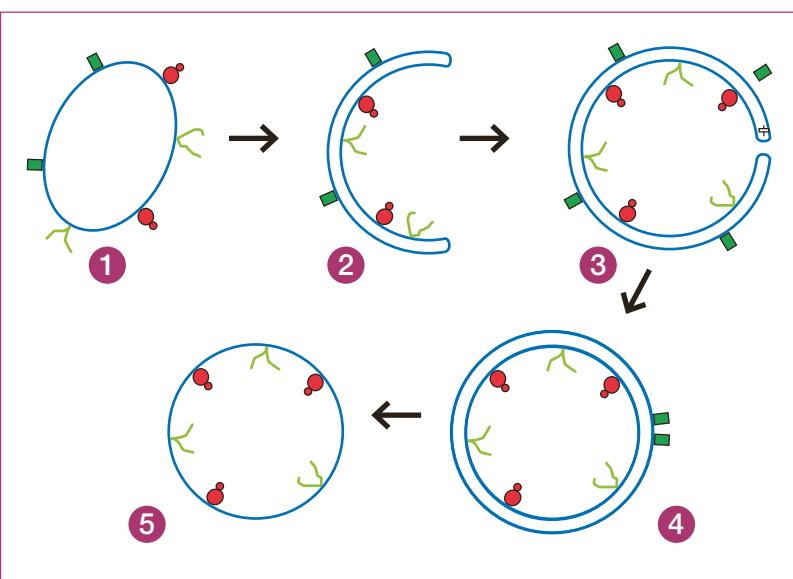
Es posible que algunos organismos puedan sobrevivir fuera de la Tierra. El caso más llamativo es el de la bacteria que se encontró en el Surveyor III. Esta nave no tripulada llegó a la Luna el 20 de abril de 1967. Casi tres años después, el 12 de noviembre de 1969, el Apollo XII alunizó y los astronautas fueron al Surveyor III para desmontar parte del equipo. Una vez ya en la Tierra, el equipo fue sometido a un análisis biológico y la sorpresa fue rotunda cuando se encontraron colonias de una bacteria común, *Streptococcus mitis*. Dicha bacteria había sobrevivido durante casi tres años en condiciones de vacío, sin nutrientes y sometida a las diversas radiaciones que hay en el espacio exterior.

Actualmente, existe un debate acerca de la posibilidad de contaminación biológica durante el transporte y manipulación de este equipo en su regreso a la Tierra.



## Hipótesis relacionadas con la síntesis prebiótica

Siempre con la idea de que la vida pudo generarse en condiciones de una Tierra y de una atmósfera primitiva, distintas hipótesis se han propuesto para intentar explicar ciertos detalles que den cuenta de la síntesis prebiótica. Algunos de los pasos importantes que deben ser considerados se relacionan con la forma en que estas moléculas iniciales, presentes en la sopa primitiva, pudieron organizarse para generar moléculas más complejas y las estructuras características de la vida.



▲ Esquema que representa la sucesión de etapas de la evolución protocelular.

### Hipótesis del citoplasma dentro y citoplasma fuera

La idea clásica de cómo se habrían formado los primeros precursores de las células, las **protocélulas**, es que estas tendrían su origen en estructuras tipo liposomas, vesículas formadas por el plegamiento de bicapas lipídicas. El surgimiento de dichas estructuras define un espacio intracelular, el **citoplasma**, en el que podrían llevarse a cabo reacciones separadas del ambiente extracelular. Sin embargo, esta **hipótesis del citoplasma dentro** tiene dificultades para explicar la secuencia de eventos capaces de generar una célula funcional. Algunas de estas dificultades se relacionan con el surgimiento de una maquinaria metabólica al interior de la célula en formación, o con el desarrollo de la permeabilidad selectiva de la bicapa lipídica, característica necesaria para llevar a cabo las funciones metabólicas de manera adecuada.

La **hipótesis del citoplasma fuera** soluciona estos problemas al plantear que estos desarrollos habrían ocurrido en forma simultánea y con anterioridad a la formación de la membrana plasmática, que finalmente aislaría a esta “maquinaria”, promoviendo la diferenciación y evolución de estas protocélulas iniciales.

### Hipótesis del mundo ARN

Esta hipótesis intenta resolver la controversia acerca de la formación de las primeras moléculas **autorreplicantes**, es decir, capaces de contener información que les permita hacer una copia de sí mismas.

Si bien se ha demostrado la síntesis azarosa de pequeños péptidos, la formación de proteínas es un evento bastante improbable debido a su estabilidad. Asimismo, la formación del ADN, la molécula informativa por excelencia, requiere de una maquinaria enzimática especializada para poder concretarse.

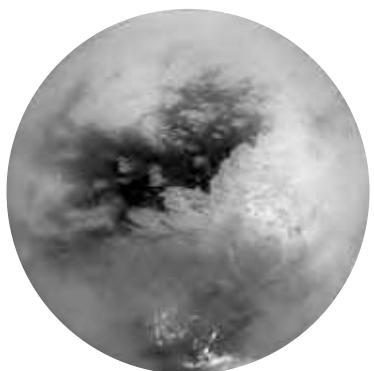
El ARN, por su parte, es una molécula capaz de contener información, pero cuya síntesis se pensaba que dependía de la existencia de ADN y de proteínas. Hasta hace un par de décadas se le consideraba simplemente como una molécula transportadora de información en el ciclo de producción de proteínas, de las cuales a su vez dependía la formación del ADN.

El descubrimiento de las **ribozimas**, moléculas de ARN que pueden catalizar su propia duplicación, ha permitido pensar en este escenario, en el cual se sostiene que las primeras moléculas autorreplicantes capaces de contener información pudieron estar formadas por ARN. La evolución posterior habría seleccionado sistemas en los que el ARN se limitaría a la transferencia de información, dejando al ADN el papel preponderante en el almacenamiento de información.

## Hipótesis del mundo HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos)

Esta hipótesis intenta explicar la formación de las primeras **cadenas de nucleótidos**, moléculas cuya síntesis es poco probable y su estabilidad es reducida. Se cree que los HAP eran algunas de las moléculas constituyentes de la sopa primitiva. También se han encontrado en Titán, luna de Saturno, cuya atmósfera se presume es similar a la atmósfera primitiva de la Tierra. Estas moléculas, al igual que los fosfolípidos, tienen zonas polares y apolares, es decir, son anfipáticos, ya que poseen afinidad tanto por los lípidos como por el agua. Además, son capaces de autoorganizarse y formar apilamientos, los que tienen una separación entre moléculas igual a la existente entre las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos.

La afinidad mostrada por estas moléculas (bajo ciertas condiciones de pH) hace posible pensar en los apilamientos de HAP como una matriz sobre la cual se pudieron construir inicialmente agregados de bases nitrogenadas, paso necesario para la formación de ácidos nucleicos.



▲ Titán, luna de Saturno.

## Hipótesis del mundo hierro-sulfuro

Las versiones más modernas de esta hipótesis plantean la posibilidad de que la vida haya surgido en ambientes como las **chimeneas hidrotermales**, en las cuales se han encontrado todos los componentes necesarios para la vida, además de disponer de una fuente de energía química en la forma de sulfuro de hierro.

Las chimeneas hidrotermales se encuentran a lo largo de cadenas montañosas de volcanes submarinos llamadas dorsales oceánicas. Aquí, el agua fría del fondo marino penetra en la corteza terrestre por fisuras y entra en contacto con la roca caliente. Este fluido caliente cargado de sulfuros y metales sube a la superficie del fondo marino y cuando entra en contacto con el agua del mar, fría y oxigenada, los metales y sulfuros disueltos precipitan, dando al fluido el aspecto típico de humo, de ahí el nombre de chimeneas hidrotermales.

Según esta hipótesis, la formación de los primeros grupos de moléculas estables de gran tamaño habría sido posible gracias a la energía química de compuestos como el sulfuro de hierro, lo que pudo haber permitido la síntesis prebiótica de macromoléculas.

Las microcavidades existentes en estos lugares habrían sido capaces de contener, en una primera instancia, sistemas metabólicos no celulares que eventualmente dieron origen a los primeros seres vivos capaces de autorreplicarse.

Cabe mencionar que en estos ambientes se pudieron dar varias de las condiciones necesarias para la síntesis prebiótica y que en ese sentido esta hipótesis puede complementar a las otras que hemos mencionado.



▲ Las chimeneas hidrotermales se descubrieron en 1977 en la dorsal de Galápagos, en el Pacífico.

Cómo surgió la vida, es decir, cómo se originó el primer organismo, es algo que los científicos no tienen resuelto. En lo que sí existe acuerdo en la comunidad científica es que todos los seres vivos comparten tantas características que, necesariamente, debiesen tener un origen común. Un problema diferente es explicar cómo, a partir de este origen común, se ha desarrollado la enorme biodiversidad existente.

### Para GRABAR

Según la teoría químiosintética propuesta por Oparin y Haldane, la vida se originó en una "sopa primitiva" formada por agua y moléculas orgánicas. Miller y Urey recrearon en el laboratorio las condiciones de esta atmósfera primitiva, pero no pudieron probar que la vida se originara a partir de moléculas inorgánicas.

## ETAPAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
3. Procedimiento experimental.
4. Obtención de resultados.
- 5. Interpretación de resultados.**
6. Elaboración de conclusiones.

## ¿QUÉ ES INTERPRETAR LOS RESULTADOS?

Significa expresar, con palabras propias, lo que se entiende de una información leída, recopilada u obtenida en un trabajo experimental. En este último caso, implica relacionar los resultados con lo esperado en la hipótesis.

## PASOS PARA INTERPRETAR LOS RESULTADOS

Paso 1: identificar lo que se entiende de la información obtenida.

Paso 2: relacionar lo que se entiende con lo que se sabe.

Paso 3: expresar o explicar la información con palabras propias y comprobar que lo que se exprese tenga sentido.

## Recuento histórico de antecedentes

El filósofo griego Aristóteles (384 a. C. – 322 a. C.) es reconocido como uno de los más tempranos naturalistas del mundo occidental, quien propuso la idea de la **generación espontánea** para explicar el origen de gusanos, insectos e incluso peces como resultado de la interacción entre materia no viva y fuerzas vitales capaces de darle vida a lo que no tenía.

La idea de la generación espontánea de los seres vivos perduró durante mucho tiempo después de la Antigua Grecia. En 1668, casi **veinte siglos después**, Jean Baptiste van Helmont, médico holandés, propuso, como ya vimos, una receta que según él permitía la generación espontánea de ratones a partir de ropa sucia y trigo. Pero en esta disciplina, una característica propia del desarrollo científico es **poner en duda y a prueba el conocimiento**. Esto es lo que sucedió con Francisco Redi, médico italiano, quien hizo los primeros experimentos para demostrar la **falsedad de la generación espontánea**. ¿De dónde se originaban los organismos vivos que aparecían en la materia en descomposición? Su hipótesis era que los gusanos provenían de otros organismos vivos (luego comprobó que eran las moscas). Así, con su experimento Redi logró demostrar que los gusanos que aparecían en la carne no se generaban espontáneamente, sino que eran larvas de moscas que habían puesto sus huevos sobre la carne y probó que si las moscas no estaban en contacto con la carne, de esta no nacían gusanos.

A pesar de lo contundente de la evidencia obtenida a partir de sus resultados, con este experimento se empezó a cuestionar la generación espontánea, pero **no de forma categórica**. Consideremos el **contexto histórico** y que estas ideas estaban arraigadas desde la Antigüedad, siendo estos posiblemente los primeros intentos por buscar otras explicaciones.

A finales del siglo XVII, Anton van Leeuwenhoek, gracias al perfeccionamiento del microscopio óptico, logró descubrir un mundo hasta entonces ignorado: los **microorganismos**, pero no pudo explicar su origen. Con esto surgía una nueva pregunta: ¿se originaban los microorganismos por generación espontánea?

Como ya vimos, en 1769 Spallanzani diseñó una serie de experimentos para refutar los trabajos realizados por el sacerdote católico inglés John Needham, quien luego de calentar caldo de carne en diversos recipientes que posteriormente selló y dejó reposar varios días, observó muestras al microscopio de organismos a los que les atribuyó un origen espontáneo a partir de la materia no viviente.

Lo que hizo Spallanzani fue repetir el experimento de Needham, pero sellando de forma inmediata y hermética los recipientes. Así evitaba el ingreso de aire y con ello la contaminación orgánica, lo que dio cuenta de la importancia de la **manipulación experimental**. Sin embargo, Needham, por su parte, afirmaba que el sellado hermético impedía que el

aire entrara a los recipientes, con lo que se destruía la fuerza vital. Estas refutaciones, más allá de enriquecer la discusión, dificultaban llegar a la convicción que les permitiera dar un paso más allá, y aunque algunos científicos apoyaban la **biogénesis**, la **gran mayoría** continuaba a favor de la idea de la **generación espontánea**. Esta polémica, que duró más de dos siglos, llegó a su fin con los experimentos de Pasteur, quien en 1864 terminó por confirmar que los microorganismos tampoco tenían un origen espontáneo al demostrar que la contaminación de los recipientes se debía a la presencia de microorganismos que estaban en el aire y que se reproducían en los caldos con materia orgánica.



▲ Ilustración de Louis Pasteur trabajando en su laboratorio.

## Interpretación y elaboración de conclusiones

A partir de la breve síntesis antes presentada, se pueden desglosar algunos puntos:

- Cada uno de estos científicos tuvo una pregunta, una hipótesis que puso a prueba e intentó **comprobar experimentalmente** su validez para obtener una explicación satisfactoria. Más allá de los resultados obtenidos y de la veracidad de estos, todos contribuyeron de alguna u otra manera al desarrollo del **pensamiento científico**.
- Como hemos visto en este breve recuento, la historia de la ciencia se ha ido construyendo gracias al **avance del conocimiento**, lo que da cuenta de su **carácter dinámico**. Este progreso se debe a la **contribución colectiva** de hombres y mujeres de ciencia, cuyas ideas y cuestionamientos han permitido replantear lo conocido en busca de nuevas interpretaciones y problemas en estudio.
- La construcción del saber no es independiente de las **creencias** de su respectiva época y en este caso la **biología** a lo largo de la historia no ha estado separada de cuestionamientos de tipo **filosófico** ni **religioso**.
- El actual desarrollo del **método científico**, la **sistematización** de las **observaciones**, de los **procedimientos** y de las **publicaciones** se han logrado gracias a esta historia de investigaciones experimentales que nos ha conducido a lo que sabemos actualmente y nos recuerda todo lo que aún desconocemos y nos seguimos preguntando.

### Actividad

1. **Selecciona** tres ideas del texto que consideres clave para dar cuenta de cómo se ha ido construyendo el conocimiento científico. **Fundamenta** tu respuesta.

---

---

---

---

2. Escribe tu propia **interpretación** del recuento histórico que acabas de leer. Para ello también puedes recurrir al contenido estudiado en la unidad.

# A analizando disco

## I. Responde las preguntas de alternativas.

### Origen de la vida

1. ¿Cuál de los siguientes científicos quiso probar la teoría de la generación espontánea en microorganismos?
  - A. Charles Lyell.
  - B. John Needham.
  - C. Francesco Redi.
  - D. Georges Cuvier.
  - E. Svante Arrhenius.
  
2. John Needham, Lazzaro Spallanzani y Louis Pasteur tuvieron en común:
  - I. Ser partidarios de la biogénesis.
  - II. Experimentar con microorganismos.
  - III. Rebatir la teoría de la autogénesis.
  - A. Solo I.
  - B. Solo II.
  - C. Solo III.
  - D. Solo II y III.
  - E. I, II y III.
  
3. ¿Quién fue el primero en poner en duda con sus resultados experimentales la teoría de la autogénesis?
  - A. Aristóteles.
  - B. Louis Pasteur.
  - C. Francesco Redi.
  - D. Charles Lyell.
  - E. Georges Cuvier.
  
4. Según lo postulado por el creacionismo, la vida se originó:
  - A. En los océanos, a partir de una “sopa primitiva”.
  - B. Espontáneamente, a partir de la materia inerte.
  - C. Por voluntad de Dios en uno o más actos de creación.
  - D. En el espacio exterior, desde donde llegó hasta la Tierra.
  - E. En las chimeneas hidrotermales de volcanes submarinos.

5. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones con respecto a la generación espontánea es correcta?

- A. Aún no ha sido refutada científicamente.
- B. Plantea un origen extraterrestre de la vida.
- C. Se basa en la síntesis de moléculas de ARN autorreplicantes.
- D. Desde Redi se necesitaron casi 200 años para lograr refutarla.
- E. Postula que los organismos se generan espontáneamente a partir de otros.

6. ¿Cuál de las siguientes teorías o ideas fue descartada a partir de los experimentos de Pasteur?

- A. Panspermia.
- B. Mundo HAP.
- C. Creacionismo.
- D. Quimiosintética.
- E. Generación espontánea.

7. ¿Sobre la teoría de la panspermia es incorrecto decir que:

- A. Ofrece una respuesta inequívoca al origen de la vida.
- B. Abre la posibilidad a la existencia de vida en otros planetas.
- C. Postula que la esencia de la vida es de origen extraterrestre.
- D. Se avala en las condiciones de vida de microorganismos extremófilos.
- E. Algunos de sus defensores plantean que la vida siempre ha existido en el Universo.

8. Identifica la asociación incorrecta:

- A. Louis Pasteur – biogénesis.
- B. Georges Cuvier – catastrofismo.
- C. Svante Arrhenius – teoría quimiosintética.
- D. Alexander Oparin – sopa primitiva.
- E. John Needham – generación espontánea.

### Teoría quimiosintética e hipótesis relacionadas

9. ¿Cuál de los siguientes no sería un componente de la atmósfera primitiva?

- A. Oxígeno.
- B. Amoníaco.
- C. Metano.
- D. Hidrógeno.
- E. Vapor de agua.

**10. La evolución química prebiótica consistió en:**

- I. La formación de moléculas orgánicas.
  - II. La acumulación de moléculas químicamente más complejas.
  - III. El proceso precedente al surgimiento de organismos unicelulares.
- A. Solo II.  
B. Solo I y II.  
C. Solo I y III.  
D. Solo II y III.  
E. I, II y III.

**11. El plegamiento de una bicapa lipídica que rodea un citoplasma fue un gran paso en la evolución hacia la formación de las células debido a que:**

- I. Aisló y protegió una maquinaria molecular metabólica.
  - II. Separó un medio intracelular de uno extracelular muy variable.
  - III. Fue el primer paso en la aparición de una membrana permeable y selectiva.
- A. Solo I.  
B. Solo I y II.  
C. Solo II y III.  
D. Solo I y III.  
E. I, II y III.

**12. Las chimeneas hidrotermales se proponen como un lugar de alta probabilidad para el surgimiento de la vida porque:**

- I. Contienen todos los componentes necesarios para la vida.
  - II. Poseen una fuente de energía química en forma de sulfuro de hierro.
  - III. Contienen características que pueden encontrarse en lugares extraterrestres.
- A. Solo I.  
B. Solo II.  
C. Solo I y II.  
D. Solo II y III.  
E. I, II y III.

**II. Responde las preguntas de desarrollo.****Origen de la vida**

**13. ¿Qué científico demostró de manera concluyente que la vida solo procede de otra vida preexistente? Explica brevemente cómo lo demostró.**

---



---



---



---

**14.**

La abuela de tu vecino prepara mermelada en casa. lava muy bien las frutas y hiere los frascos que va a utilizar. Una vez preparada, la traspasa a distintos recipientes que sella herméticamente y luego los hiere. De esta forma su mermelada no se contamina con bacterias.

¿A qué experimento estudiado en la unidad se asemejan estos resultados?

---



---



---



---



---



---



---

**PISTAS**

Para responder ambas preguntas de desarrollo, recuerda el contenido estudiado sobre el tema de generación espontánea y la secuencia de experimentos que se presentaron a lo largo de la unidad.

**Mi ESTADO**

Anota el nivel de logro de tus aprendizajes hasta ahora según la categoría de desempeño dada: 1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

Pude conocer distintas teorías o ideas que intentan explicar el origen de la vida.

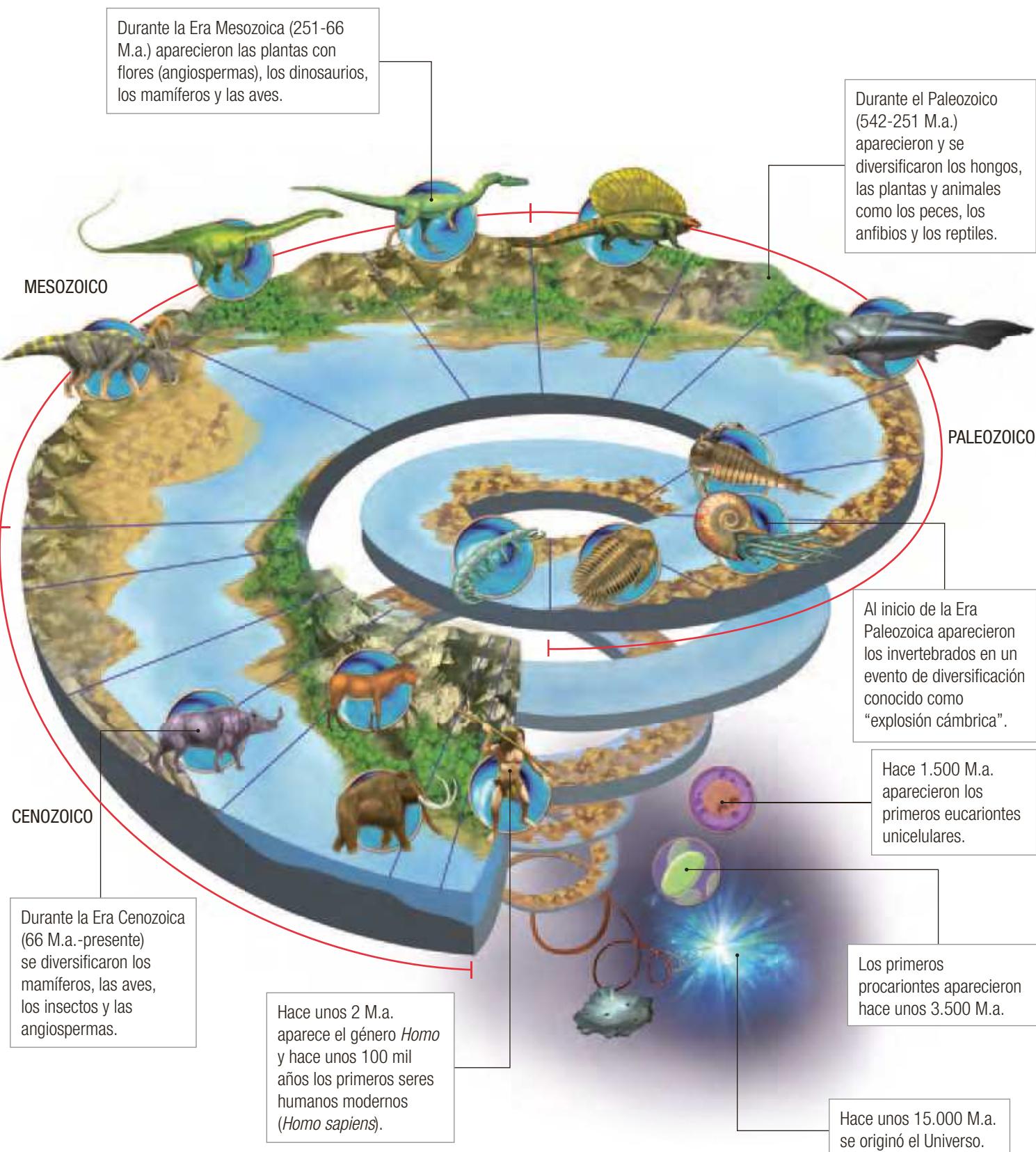
(Preguntas 1 a 8, 13 y 14).

Identifiqué hipótesis relacionadas con la teoría quimiosintética.

(Preguntas 9 a 12).

# Historia de la vida en la Tierra

En la siguiente figura se representa, en forma simplificada, la cronología de ciertos hitos, desde el *Big Bang* hasta la aparición de nuestra especie.



## Precámbrico: síntesis prebiótica y primeras formas de vida

La mayoría de los científicos interesados en el origen de la vida concuerdan en que, dadas las condiciones actuales, **no es posible que se genere vida en forma espontánea**. También existe acuerdo en que las condiciones de la Tierra primitiva eran muy distintas a las actuales. Respecto de la composición de la atmósfera, se ha generado cierto debate. Por una parte, las **hipótesis** más aceptadas postulan la existencia de **metano** ( $\text{CH}_4$ ), **amoníaco** ( $\text{NH}_3$ ), **hidrógeno** y **vapor de agua**. Esta composición fue la utilizada por **Miller** y **Urey** en su famoso experimento, que estudiamos anteriormente. Como apoyo a esta composición podemos mencionar la presencia de estos componentes en las atmósferas de varios planetas y satélites dentro de nuestro sistema solar.

Otros investigadores proponen la existencia de **nitrógeno**, ( $\text{N}_2$ ), **vapor de agua** ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y **dióxido de carbono** ( $\text{CO}_2$ ), con **pequeñas cantidades de ácido clorhídrico** ( $\text{HCl}$ ) y **dióxido de azufre** ( $\text{SO}_2$ ). Esta composición es sugerida por la presencia de algunos de estos componentes en emanaciones volcánicas. Sin embargo, independientemente de la composición exacta de la atmósfera primitiva, todos concuerdan en que **no contenía oxígeno molecular** ( $\text{O}_2$ ), lo cual la haría químicamente neutra o levemente reductora. En estas condiciones, las moléculas orgánicas complejas habrían tenido una mayor probabilidad de acumularse al no ser degradadas por el oxígeno. Esto habría posibilitado lo que se conoce como **evolución química prebiótica**, en la que estas moléculas, mediante procesos de **asociación, replicación y selección**, habrían dado origen, al cabo de muchos millones de años, a los primeros **protobiontes**. A su vez, estos precursores de los primeros organismos habrían generado, mediante nuevos procesos de asociación, incorporación de moléculas, adquisición de estructuras y selección natural, los **primeros organismos vivos**, posiblemente en la forma de **unicelulares primitivos**, con estructura similar a las bacterias actuales, sin núcleo (procariontes) y sin organelos con doble membrana, como son las mitocondrias y los cloroplastos.



▲ Representación de la Tierra primitiva.

La forma exacta en la que estos eventos ocurrieron y la conformación precisa de los primeros organismos vivos aún es tema de debate. Sin embargo, estos podrían haber aparecido hace cerca de **4.000 millones de años** y es muy probable que correspondieran a algún tipo de **organismo heterótrofo**, cuya subsistencia resultara dependiente de las moléculas orgánicas presentes en el medio (sopa primitiva).

Luego, entre **4.000 y 3.500 millones de años** atrás, habrían aparecido los primeros **procariontes autotróficos** (sintetizan moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas). La idea más aceptada actualmente es que estos organismos autotróficos habrían sido **quimioautotróficos** anaeróbicos (utilizan moléculas inorgánicas en ausencia de oxígeno).



▲ Algunos de los fósiles más antiguos son los estromatolitos, formados por bacterias fotosintetizadoras.

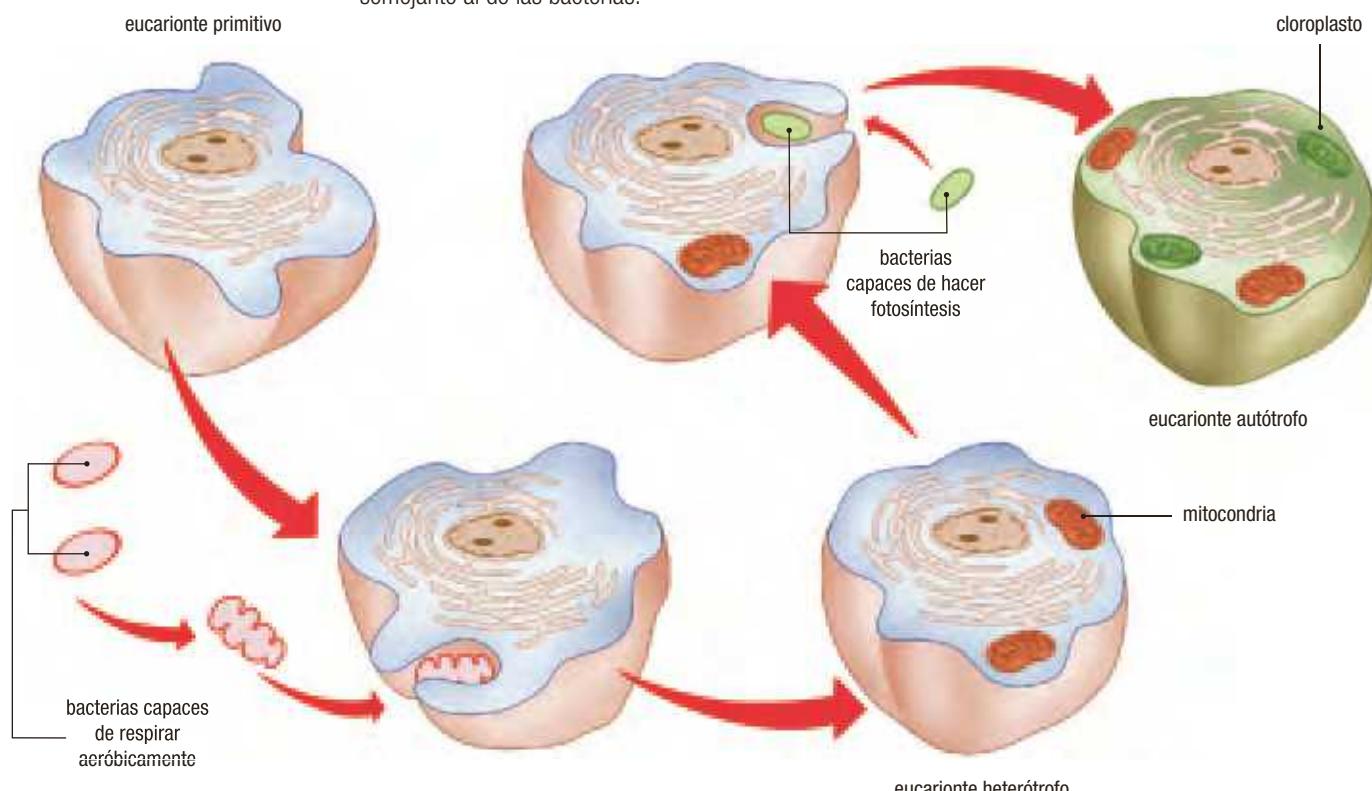
Hace unos 3.500 millones de años habrían aparecido los primeros **procariotes fotoautotróficos** o **fotosintetizadores**, similares a cianobacterias. Algunos de los fósiles más antiguos encontrados hasta ahora corresponden a este tipo de organismos. Las cianobacterias proliferaron en los mares someros (poco profundos) de la Tierra primitiva y formaron aglomeraciones tipo arrecife conocidas como **estromatolitos**. Junto con su proliferación, y producto de su **actividad fotosintética**, estos organismos produjeron grandes cantidades de **oxígeno molecular** ( $O_2$ ), lo que **cambió para siempre y de forma muy radical la composición de la atmósfera** de nuestro planeta. Como consecuencia directa de la presencia de oxígeno en la atmósfera, las condiciones para la generación de vida a partir de elementos abióticos desaparecieron, principalmente debido a la acción oxidativa de las moléculas de  $O_2$ , capaces de degradar las moléculas orgánicas libres en el agua.

Las circunstancias en las que se originó la vida son inciertas, pero una vez establecidas las primeras formas de vida en nuestro planeta ocurrió algo asombroso. La vida colonizó nuevos ambientes y aparecieron múltiples adaptaciones, procesos de selección que dieron como resultado una gran diversidad de organismos unicelulares procarióticos, los que se habrían convertido en el tipo de organismo predominante por más de **2.000 millones de años**.

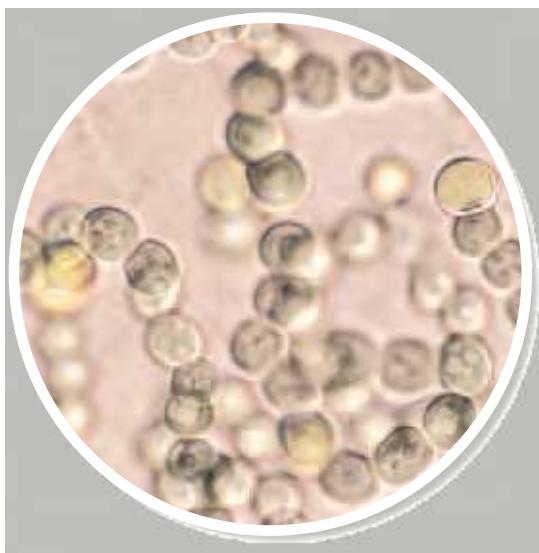
Luego, muy probablemente **asociaciones endosimbióticas** dieron lugar a las primeras células **eucarióticas** (células con núcleo) hace unos **1.500 millones de años**.

### Representación de la teoría endosimbiótica

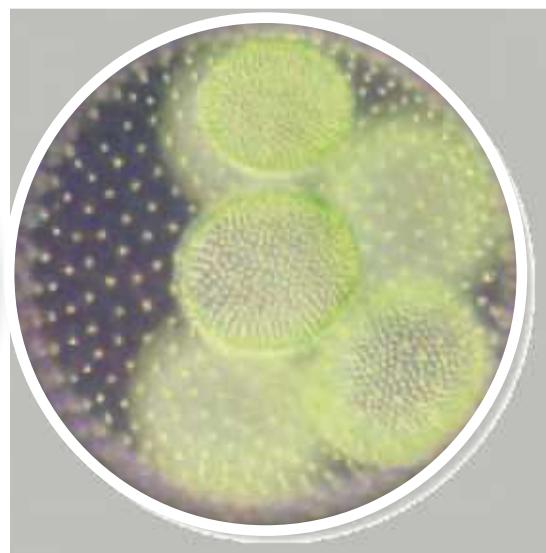
Se presume que en un primer evento de asociación, un organismo tipo bacteria habría sido incorporado dentro de otra célula, dando origen a las primeras mitocondrias. La célula receptora pudo haber sido un procariote, o bien, un eucariote primitivo heterótrofo, tal como se representa en el esquema. En un evento o eventos posteriores, organismos procariotes tipo cianobacterias habrían sido incluidos, dando origen a los primeros cloroplastos. Evidencias en apoyo a esta hipótesis se encuentran en la estructura de estos organelos (mitocondrias y cloroplastos), en la presencia de ADN propio y en un ciclo de duplicación que es semejante al de las bacterias.



Por 1.000 millones de años, los organismos unicelulares procariontes y eucariontes proliferaron y se diversificaron. Durante este período es probable que hayan surgido los **primeros tipos de asociación** entre células en la forma de **filamentos** (como en algunas especies de cianobacterias) y **colonias de células** (como Volvox), dentro de las cuales la especialización de funciones habría conferido **ventajas competitivas** respecto a otros organismos, lo que podría estar relacionado con el origen de la **multicelularidad**.



▲ Las cianobacterias son procariontes fotosintetizadores. En la imagen se observan ejemplares de *Anabaena*.



▲ Volvox es un alga verde que suele formar colonias de células.

Se piensa que los primeros organismos **multicelulares** (algas e invertebrados) habrían aparecido en el mar hace unos **1.000-800 millones de años**. Esta etapa de la historia de la Tierra, entre el origen de nuestro planeta y 542 millones de años atrás, se conoce como **Supereón Precámbrico**. Del Precámbrico, aun cuando constituye más del 88% de la historia de la Tierra, no quedaron muchas señales de los eventos biológicos que ocurrieron. ¿Por qué? Por un lado, las formas de vida de este largo lapso de tiempo eran mayoritariamente microscópicas y, por otro, las rocas correspondientes a este período han sido transformadas producto de la erosión o metamorfismo (cambios que sufren las rocas luego de su formación). Por tales motivos se cree que la mayor parte de los fósiles de este período se perdieron.

Hacia finales de este Supereón, cerca de 600 millones de años atrás, aparecieron formas de vida animal muy particulares, conocidas como **fauna ediacárica**, seres vivos que presentaban una organización corporal con algunos patrones de simetría atípicos, como animales con forma de hoja o simetría radial trímera (de tres lados), además de animales con forma de espiral.



▲ Primeros organismos pluricelulares.

#### Para GRABAR

Durante los primeros 2.000 M.a., casi la mitad de la historia de la Tierra, las bacterias fueron las únicas formas de vida presentes en nuestro planeta.

## Paleozoico: diversificación de la vida



▲ Los trilobites eran muy abundantes y diversos durante el Paleozoico.

Al inicio de la **Era Paleozoica** (542-251 millones de años atrás), los organismos multicelulares que se habían originado en el Precámbrico experimentaron un aumento en su complejidad y ocurrió un evento de radiación adaptativa (aumento en el número de especies) sin precedentes. Fue un suceso de tal magnitud que se considera una **explosión evolutiva**, conocida como la “**explosión cámbrica**”, en la que aparecieron una gran variedad de animales invertebrados de la mayoría de los *Phyla* actualmente conocidos y se produjo una diversificación importante de los principales grupos de algas multicelulares.

Durante esta Era aparecieron en sucesión los principales grupos de organismos, representantes de todos los reinos multicelulares (**plantas, hongos y animales**), desde formas de vida más sencillas hasta los grupos de organismos más complejos.

Entre las **plantas** aparecieron y se diversificaron las **terrestres**, desde las formas más sencillas (no vasculares, como **hepáticas y musgos**) hasta las **gimnospermas**.

Entre los animales aparecieron y se diversificaron los principales grupos de invertebrados, así como los vertebrados desde las formas más sencillas, como **peces** y **anfibios**, hasta los principales grupos de **reptiles**.

Hacia finales de esta Era ocurrió la **mayor extinción de la historia de la Tierra**, en la que desaparecieron cerca del 95% de todas las especies existentes, lo que produjo la extinción de algunos grupos completos, como los **trilobites**, y declinaciones importantes en otros, como los **anfibios**. Ciertas hipótesis vinculan esta gran extinción con eventos de vulcanismo a gran escala, como los que habrían generado las “**trampas siberianas**” formadas por afloramientos de lava que cubren una extensión de más de dos millones de kilómetros cuadrados. También se ha propuesto el impacto de un meteorito de gran tamaño en la Antártica (Tierra de Wilkes), como la causa de esta gran extinción. Otras hipótesis postulan causas múltiples o la relación entre el meteoro de la Antártica y los afloramientos de las trampas de Siberia.

### Era Paleozoica

Al comienzo del Paleozoico, en menos de 40 M.a., aparecen casi la totalidad de los grandes grupos de animales conocidos hoy, incluidos los primeros cordados. Esta extraordinaria diversificación de los organismos ocurre durante el primer Período del Paleozoico: el Cámbrico. De ahí el nombre con el que se conoce este proceso: “explosión cámbrica”.

Al final del Paleozoico, Período Pérmico, se produjo la mayor extinción de especies de toda la historia de la Tierra.

#### Períodos de la Era Paleozoica

Cámbrico	542 – 488 M.a.
Ordovícico	488 – 444 M.a.
Silúrico	444 – 416 M.a.
Devónico	416 – 359 M.a.
Carbonífero	359 – 299 M.a.
Pérmico	299 – 251 M.a.



## Mesozoico: la Era de los dinosaurios

Durante la **Era Mesozoica** (251-66 millones de años atrás) aparecieron y se diversificaron los grupos restantes de organismos, algunos de los cuales dominaron por largo tiempo. Entre las plantas aparecieron y se diversificaron las **angiospermas** o plantas con flor, las que dominaron hacia finales de esta Era.

Entre los vertebrados, los reptiles fueron el grupo que experimentó el mayor desarrollo, por lo que este lapso de tiempo también se conoce como la Era de los reptiles. Durante esta Era, además, producto de la diversificación de los reptiles, aparecieron los **dinosaurios**, los **mamíferos** y finalmente las **aves**, estas últimas a partir de un grupo de dinosaurios. Las gimnospermas y los dinosaurios dominaron la Tierra por casi 160 millones de años.

Hacia finales de la Era **Mesozoica** se produjeron **extinciones masivas marinas y terrestres** y desaparecieron los últimos dinosaurios. Hacia finales de esta Era, antes de la extinción de los dinosaurios, los mamíferos eran un grupo de animales de tamaño pequeño, como los roedores o pequeños insectívoros actuales, cuyo destino estuvo marcado por la desaparición de los reptiles dominantes.



### Era Mesozoica

Los reptiles experimentaron una espectacular diversificación durante el Mesozoico y colonizaron hábitats muy diversos, tanto terrestres como acuáticos. Adquirieron su máximo desarrollo y diversificación.

Al final del Mesozoico se produjo la extinción de los dinosaurios y de muchas otras especies de animales y plantas.

#### Períodos de la Era Mesozoica

Triásico	251 – 200 M.a.
Jurásico	200 – 146 M.a.
Cretácico	146 – 66 M.a.

## Cenozoico: la Era de los mamíferos

Durante la **Era Cenozoica** (66 millones de años atrás hasta el presente), luego de las extinciones masivas, ocurrió un nuevo evento de diversificación de los mamíferos, las aves, los insectos y las plantas con flor. Desde el punto de vista de los animales que habitaron la Tierra, esta puede ser calificada como la Era de los mamíferos. Este grupo, al cual pertenecemos los seres humanos, apareció durante el Mesozoico, tímidamente, con pequeños animales no más grandes que un gato. Sin embargo, luego de haber sobrevivido a la extinción de los dinosaurios, probablemente debido a su pequeño tamaño y gran capacidad de adaptación, ocuparon todos los ambientes, se diversificaron y extendieron a través del mundo.

Luego, hace unos 50 millones de años, probablemente debido a cambios en las condiciones ambientales que favorecieron el desarrollo de extensos bosques, los mamíferos y otros grupos de animales comenzaron progresivamente a aumentar de tamaño. Este incremento culminó en lo que se conoce como **megafauna**, compuesta por mamíferos, aves y reptiles de gran tamaño. Entre los mamíferos se cuentan los mastodontes y mamuts, osos y leones gigantes, megaterios, tigres diente de sable, entre muchos otros menos conocidos. Entre las aves existieron las llamadas **aves del terror**, depredadoras de gran tamaño, no voladoras, habitantes originarias de Sudamérica, algunas de las cuales llegaron a medir casi tres metros de alto, con un tamaño de cabeza casi tan grande como la de un caballo. Aves semejantes existieron en Europa, Norteamérica y Australia.

Hace unos 45 millones de años surgieron los antepasados de los primeros simios. Después, hace unos 6-7 millones de años aparecieron los primeros **homínidos**, simios bípedos emparentados con otros antropoides como los chimpancés de andar cuadrúpedo. Finalmente, hace unos dos millones de años aparece el género *Homo* y hace unos 100 mil años los primeros seres humanos modernos (*Homo sapiens*).

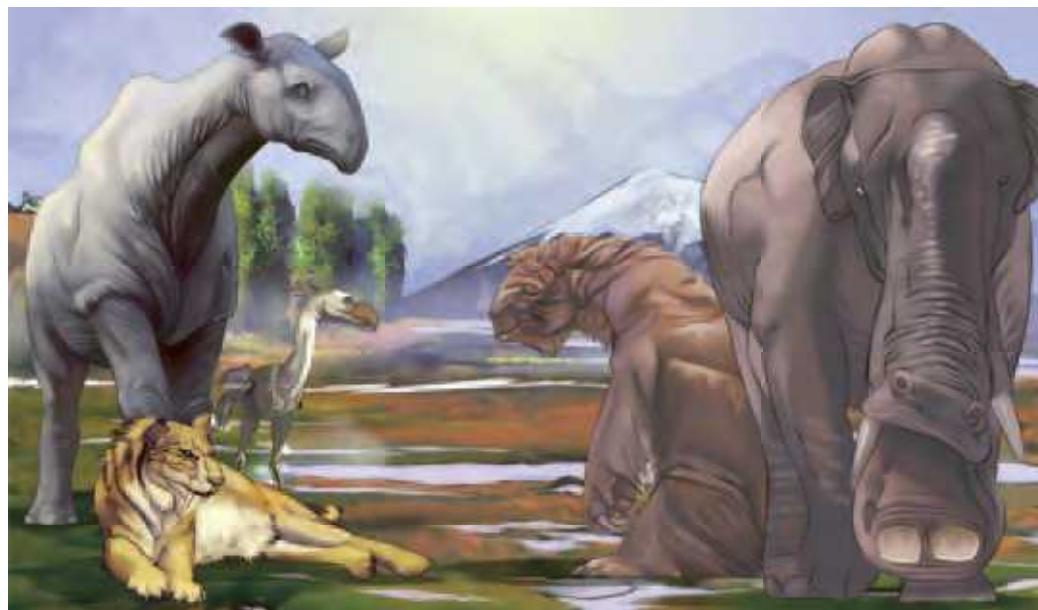
La mayor parte de la llamada megafauna se extinguió hace unos 40.000-10.000 años atrás, con algunas diferencias entre continentes, pero curiosamente en una asociación temporal bastante estrecha con la aparición de los **seres humanos**, por lo que se postula que su desaparición está relacionada con esto último. Una de las evidencias indirectas que tienden a apoyar esta hipótesis de extinción de origen antrópico es la desaparición de especies ocurrida en Nueva Zelanda (hace unos 700-600 años), coincidente con la llegada de los primeros seres humanos provenientes de la Polinesia.

## Era Cenozoica

Llamamos Era Cenozoica a los últimos 66 millones de años de historia de la Tierra. En ella se distinguen dos Períodos: Terciario y Cuaternario. Este último abarca desde hace 2,6 millones de años hasta la actualidad. Si el Mesozoico fue la era de los reptiles, en el Cenozoico son los mamíferos y las aves los que alcanzaron su máximo desarrollo.

### Períodos de la Era Cenozoica

Terciario	66 M.a. - 2,6 M.a.
Cuaternario	2,6 M.a. - Actualidad.



## Actividad

- A partir de la correcta **interpretación** de la información de la tabla, responde cuánto tiempo transcurrió entre:
  - La formación del Universo y de la Tierra.
  - La formación de la Tierra y la aparición de los primeros procariontes fotosintéticos.
  - La aparición de los primeros procariontes fotosintéticos y los primeros eucariontes.
  - La aparición de los primeros eucariontes y los primeros invertebrados.
  - La aparición de cada uno de los principales grupos de vertebrados (peces, anfibios, reptiles, mamíferos y aves).
  - La aparición de los homínidos y la aparición de los primeros seres humanos.

Evento	Tiempo (años)
Formación del Universo	15.000.000.000
Formación de la Tierra	4.600.000.000
Primeros procariontes fotosintéticos	3.500.000.000
Primeros eucariontes	1.500.000.000
Primeros invertebrados	600.000.000
Primeros peces	500.000.000
Primeros anfibios	400.000.000
Primeros reptiles	300.000.000
Primeros mamíferos	200.000.000
Primeras aves	140.000.000
Primeros primates	60.000.000
Primeros homínidos	6.000.000
Primeros seres humanos	100.000

Este recuento muestra que la vida en la Tierra ha pasado por etapas de apogeo, en las que los organismos han proliferado y se han diversificado, y por períodos de declinación, en los que se han producido extinciones masivas, algunas de las cuales han afectado a grupos completos de organismos y han reducido la diversidad y abundancia de ellos, probablemente posibilitando la aparición y diversificación posterior de otros grupos o tipos de organismos.

# La diversidad de vida

Muchos estudiosos han realizado grandes esfuerzos por registrar, describir, caracterizar, categorizar y, por lo tanto, ordenar la gran diversidad de organismos existentes.

Las semejanzas y diferencias que presentan los distintos tipos de organismos eran, y todavía son, el punto de partida para cualquier método de **clasificación**. Características como el movimiento permitían separar a la mayoría de los animales de las plantas y hongos, pero estos últimos se clasificaban juntos. Dentro de los animales, el tamaño y la organización corporal, cantidad y tipos de estructuras, son todas características que sirvieron a las primeras clasificaciones y algunas siguen aún siendo criterios válidos.

Basado en sus propias observaciones y conocimientos de la época, **Aristóteles** (384-322 a.C.) no solo hizo descripciones de organismos y de su anatomía, sino que desarrolló sus propios criterios de clasificación. Con una fuerte base filosófica y el concepto de “**escala de la naturaleza**” hizo notar que había un orden desde lo inanimado a las plantas, animales sin sangre o *anaima* (invertebrados), animales con sangre o *enaima* (vertebrados) y finalmente el ser humano en la posición más alta de la escala de la naturaleza. La vitalidad y el movimiento eran características muy importantes en la clasificación de Aristóteles y por tanto algunos animales que no se mueven (sésiles), según su clasificación se ubicaban muy cerca de las plantas en su escala natural.

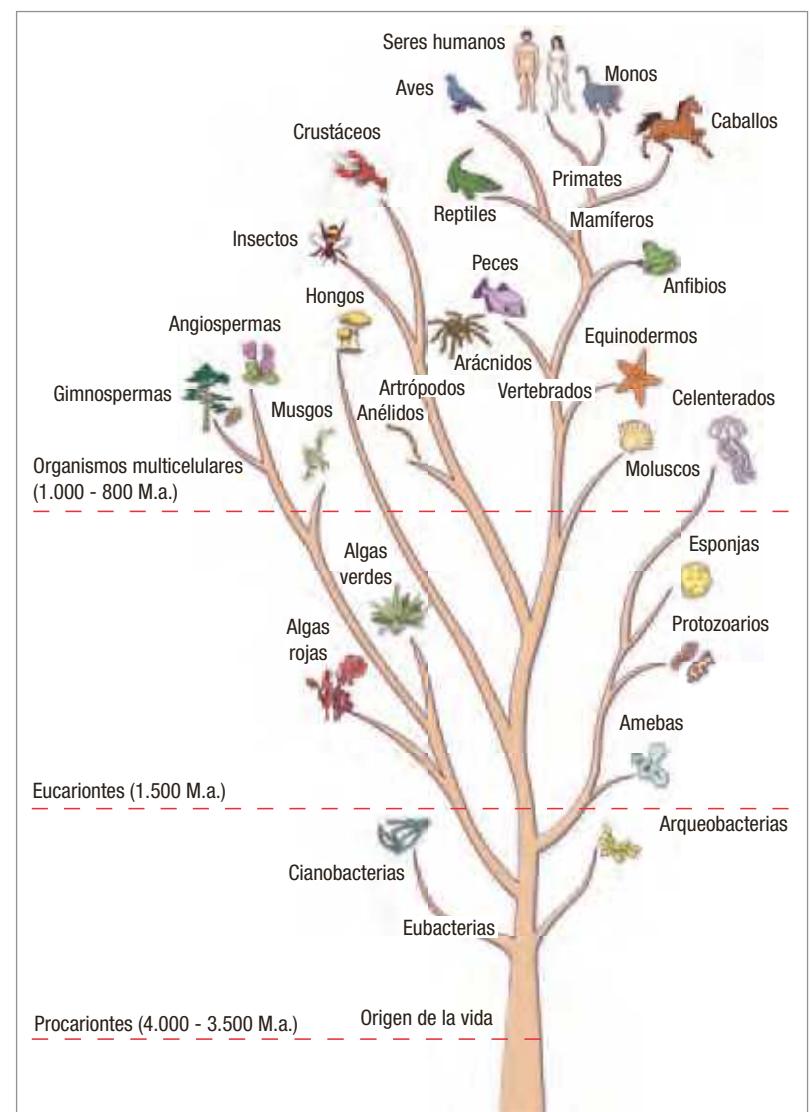
A medida que los conocimientos aumentaban y se disponía de mayor información y nuevos procedimientos e instrumentos, los métodos de ordenación se fueron pareciendo cada vez más a los actuales y algunas clasificaciones aún son válidas.

Junto con clasificar, los seres humanos nos hemos preguntado de dónde surgieron estas formas de vida tan diversas. Las explicaciones, como en todos los ámbitos del conocimiento, se relacionan con creencias, información previa, observaciones y análisis de evidencias.

La **diversidad de especies** que vemos en la actualidad es el resultado de un largo camino, desde la aparición de las primeras formas de vida, unicelulares de estructura simple, hasta organismos multicelulares complejos, como la mayoría de los animales que actualmente conocemos.

## Para GRABAR

Los científicos han descrito cerca de 1,5 millones de especies y se piensa que existen entre 4 y 10 millones.



▲ La gran variedad de formas de vida observada actualmente es el resultado de los procesos evolutivos de diversificación y extinción que han ocurrido desde el origen de la vida en nuestro planeta.



▲ Los fósiles muestran que la Tierra a lo largo de su historia ha estado poblada por especies diferentes. En la fotografía se ve a dos estudiantes observando un fósil de ammonites. ¿Sabes qué tipo de organismos eran estos y dónde vivían? ¿Por qué hoy en día se encuentran en localidades montañosas?

# El origen de la diversidad

Hasta ahora hemos hecho solo un recuento de la historia de las apariciones de especies y tenemos una idea de la diversidad pasada y actual de ellas. Pero ¿cómo **surgieron** todas estas especies? Existen evidencias, desde los inicios de la humanidad, que demuestran que los seres humanos han sido capaces, por necesidad o por gusto, de identificar y diferenciar distintos organismos, pero además se ha intentado explicar el origen de esta diversidad. Veamos algunas de estas visiones, **previas a las ideas de Darwin**.

## Relación entre diversidad y creación divina

La mayoría de las culturas ancestrales y pueblos de la Antigüedad contaban con mitos creationistas para explicar el origen del Universo, de la Tierra, de las plantas, de los animales y finalmente de los seres humanos.

Las descripciones de tales eventos eran bastante generales, pero la mayoría coincide en un orden de creación desde organismos más sencillos hasta los seres humanos.

Sin duda, el creationismo de origen judeocristiano, basado en el **libro del Génesis**, es el que ha tenido mayor influencia en las ideas occidentales, debido principalmente a la gran importancia político-social de la Iglesia en la historia de nuestra sociedad. Esta influencia hizo que por mucho tiempo la única idea aceptada que intentó explicar el origen de la diversidad fuera la creación divina. Este fue el pensamiento predominante entre los científicos, incluso durante la Era de la Razón (siglo XVII) y de la Ilustración (siglo XVIII y parte del XIX). Según esta creencia, todas las especies habían sido creadas por Dios en el inicio de los tiempos y habían permanecido inalteradas desde su creación. Esta visión estática de las especies se conoce como **fijismo**, que corresponde a un tipo de creationismo que no concibe el cambio en las especies luego de haber sido creadas. En la medida en que aparecía evidencia de extinciones y apariciones de nuevas formas de vida en el pasado, también se intentó explicar estos acontecimientos como parte de un plan divino.

Es así que científicos como **Georges Cuvier** (1769-1832), experto en Paleontología, elaboró la teoría de las catástrofes o **catastrofismo** para explicar las extinciones y la aparición de nuevas especies en el registro fósil. En ella se explicaba la extinción de especies como un evento de destrucción divina, el último de los cuales correspondería al diluvio universal descrito en el libro del Génesis. La aparición de nuevas formas de vida se explicaba como acontecimientos de creación divina luego de los eventos de destrucción.



▲ La idea de inmutabilidad de las especies se incorporó en la cultura judeocristiana a través de los relatos del libro del Génesis.

### Para GRABAR

La idea de creación divina no se restringe solo al Universo y a la Tierra, ni tampoco a la tradición judeocristiana.

## Los precursores del evolucionismo

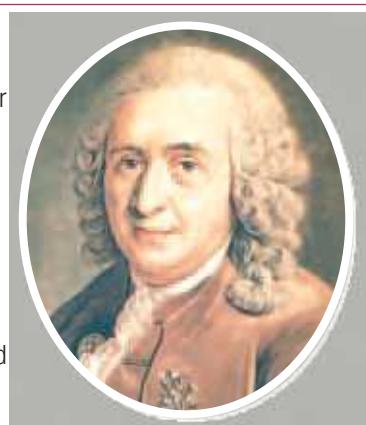
Las primeras **ideas evolucionistas** de las cuales se tiene registro corresponden a filósofos y pensadores griegos como Anaximandro, quien probablemente fue discípulo de Thales de Mileto e influyó a muchos otros como Empédocles, Epicuro y Sócrates. Anaximandro pensaba que la vida se había iniciado en el agua y que los seres humanos provenían de organismos semejantes a peces. Algunas de estas ideas fueron traspasadas a los romanos, pero la gran influencia que ejerció Aristóteles hizo que las ideas de evolución y cambio no prosperaran. Posteriormente, con la conversión de los romanos al cristianismo se inicia la influencia de las ideas creacionistas de raíz bíblica en la sociedad occidental. Este pensamiento haría que las concepciones creacionistas-fijistas dominaran el ambiente intelectual durante toda la Edad Media y el Renacimiento hasta el siglo XVIII (Ilustración).

Durante el siglo XVIII ocurrieron una serie de cambios sociales de raíz filosófico-intelectual que afectaron radicalmente la forma de pensar. En este período, las estructuras sociales, religiosas, mercantiles y políticas fueron cuestionadas, y esto hizo que nuestra forma de ver el mundo y a nosotros mismos cambiara. Curiosamente, en cuanto al tema del origen de la diversidad, quienes sentaron las bases intelectuales para un cambio hacia la visión evolucionista fueron científicos que eran defensores y partidarios de la concepción creacionista-fijista predominante en esta época.

### Creacionistas-fijistas

#### Carl von Linné (1707-1778)

Conocido como Linneo, fue un destacado botánico sueco, creador del sistema binomial de clasificación que se usa actualmente para nombrar especies. Propuso además un sistema jerárquico de clasificación (*Sistema Naturae*), que sentó las bases de lo que luego se llamaría sistemática filogenética o el estudio de las relaciones de parentesco entre especies. Linné intentó ordenar y sistematizar las nomenclaturas existentes en su época, las cuales debido a la creciente cantidad de especies descubiertas se habían vuelto muy complejas y sin ninguna uniformidad, lo que atentaba contra la utilidad de dichas clasificaciones.



#### Georges Louis Leclerc, Conde de Buffon (1707-1788)

Conocido como Buffon, fue un eminente científico francés del siglo XVIII. Entre otras muchas cosas, se propuso la tarea de describir la historia natural de todos los seres vivos conocidos en una obra de 44 volúmenes. Creía que al interior de las especies podían ocurrir cambios, que él llamó degeneraciones, producidos por la interacción con el ambiente, los cuales podían dar lugar a la existencia de órganos vestigiales (órganos atrofiados, sin uso aparente). Aun cuando se le atribuye haber propuesto que las especies podían modificarse para crear otras, en realidad en sus libros él plantea estas ideas como preguntas para luego refutarlas por medio de argumentos biológicos, como la infertilidad de los híbridos entre especies. Este pensamiento estuvo probablemente influido por la doctrina creacionista-fijista dominante en esa época. Buffon, al parecer, estaba preocupado por las consecuencias de las clasificaciones propuestas por Linné, que suponían relaciones entre las especies (familias que agrupaban géneros) que según Buffon no eran sino "invenciones de los hombres para alivio de su memoria". Sus argumentos, sin embargo, plantearon una posibilidad razonable de cambio que fue desarrollada por sus sucesores. Buffon también creía que la Tierra era mucho más antigua de lo que planteaba la Biblia.



▲ Anaximandro pensaba que la vida se había iniciado en el agua y que los seres humanos provenían de seres semejantes a peces.

### Ampliando MEMORIA

**Los órganos vestigiales** son estructuras anatómicas, generalmente no funcionales, que presentan algún nivel de atrofia en el desarrollo. Su origen fue explicado por Buffon como degeneraciones ocurridas al interior de una especie producto de su adaptación a las condiciones del ambiente. Actualmente se consideran órganos cuya función original se ha perdido durante la evolución.

### Georges Cuvier (1769-1832)

Experto paleontólogo y anatomista comparado, desarrolló la teoría de las catástrofes para explicar las extinciones que aparecían en el cada vez más abundante registro fósil. Su postura creacionista-fijista lo llevó a enfrentar y tratar de desestimar a Lamarck en los círculos científicos, incluso después de la muerte de este.



## Evolucionismo pre-darwiniano

A modo de aclaración es necesario mencionar que varios pensadores y científicos durante el siglo XVIII opinaban que las especies podían cambiar. Algunos creían que estos cambios podían dar origen a distintas especies y otros incluso pensaban, a partir del concepto de la escala de la naturaleza, que especies “inferiores” podían generar a especies “superiores” en la escala. Sin embargo, ninguno aventuró alguna explicación acerca de cómo esto podía ocurrir.



▲ A modo de anécdota, se cuenta que el abuelo de Darwin, médico y poeta, escribió un poema (*The temple of nature*) en el que se vislumbran ideas evolucionistas.

### Jean-Baptiste-Pierre-Antoine de Monet Caballero de Lamarck (Jean-Baptiste Lamarck) (1744-1829)

Conocido como Lamarck, fue el primero en postular una teoría de evolución biológica sobre la base del cambio al interior de las especies y en proponer mecanismos para dicho cambio. Según Lamarck, existía en los animales una “voluntad” por medio de la cual se podía promover el desarrollo de una estructura u órgano a través de su uso, o su atrofia a través del desuso, principio que denominó la ley del uso y desuso.

También postuló que los organismos podían transmitir estas modificaciones a su descendencia, principio que denominó la ley de la herencia de los caracteres adquiridos. La acumulación de estos cambios progresivos daría lugar a las modificaciones observadas en las especies. La aplicación más famosa de este modelo de evolución está dada por la explicación al largo del cuello de la jirafa. Lamarck fue atacado y desacreditado en su época por científicos creacionistas-fijistas, particularmente por Georges Cuvier, pero sus ataques no fueron sobre la base de argumentos científicos sino religiosos. Los postulados de Lamarck se basaron en la mejor información existente en su época y en conceptos e ideas que eran ampliamente aceptados en todos los círculos sociales. Esta teoría tuvo importantes repercusiones en los evolucionistas posteriores, incluso entre algunos que desarrollaron su trabajo en pleno siglo XX.

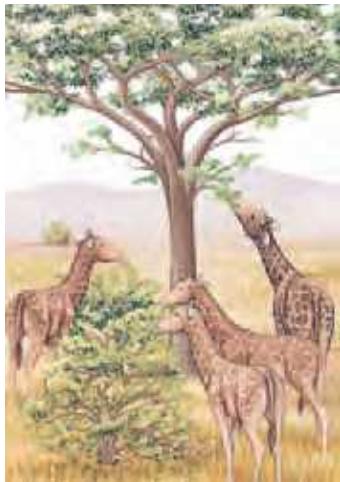
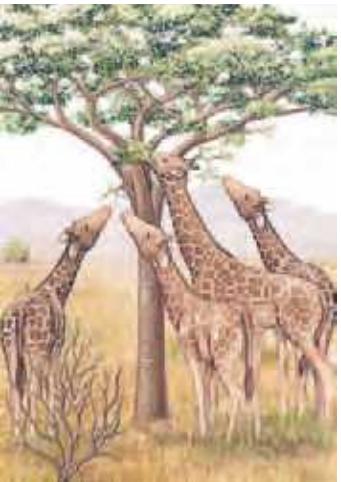
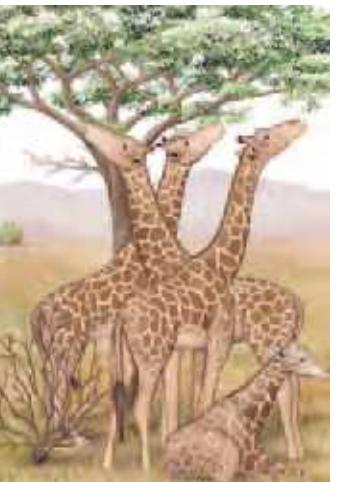
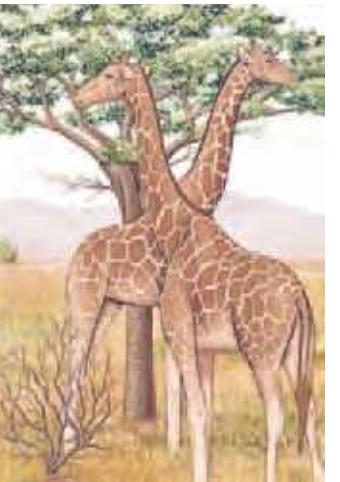


## ¿Qué postulaba el lamarckismo o transformismo?

La teoría de los caracteres adquiridos se apoya en los siguientes supuestos:

- Las condiciones del medio ambiente en el que se desarrolla un ser vivo **varían** a lo largo del tiempo.
- Los cambios ambientales **crean nuevas necesidades** que exigirán a los individuos la modificación de sus hábitos o conductas.
- Surgen nuevos hábitos que irían acompañados del **mayor o menor uso de determinados órganos**, lo que provocaría su desarrollo o atrofia. Así, los individuos se modificarían.
- Estas modificaciones, inducidas por el ambiente, **serían transmitidas a la descendencia**. Con el tiempo, todos los individuos habrían cambiado: la especie se habría transformado.

El ejemplo clásico con el que se relacionan las ideas de Lamarck es la evolución del cuello de las jirafas.

La evolución de las jirafas según Lamarck			
			
1. Las jirafas viven en la sabana alimentándose de los brotes de los árboles. En época de sequía las hojas escasean.	2. Ante la falta de hojas, las jirafas estirarían su cuello y sus patas para lograr alcanzar las hojas situadas a más altura.	3. El estiramiento de las patas y el cuello provocaría su alargamiento. Estos nuevos caracteres serían heredados por los descendientes.	4. La siguiente generación de jirafas poseería patas y cuello más largos. El proceso se repetiría generación tras generación.
Los conocimientos actuales sobre la herencia de los caracteres niegan la posibilidad de que las modificaciones corporales adquiridas a lo largo de la vida de un individuo, por uso o desuso, se transmitan a la descendencia. Solo se heredan aquellos caracteres cuya información reside en los genes.			

## Criticas al lamarckismo

- No hay pruebas de que exista en los organismos un impulso hacia la transformación, y los cambios que se producen no tienen relación con una **voluntad** de ellos.
- Los conocimientos actuales sobre la herencia de los caracteres niegan la posibilidad de que las modificaciones corporales adquiridas a lo largo de la vida del individuo, por uso o desuso, se transmitan a la descendencia; solo se heredan aquellos caracteres cuya información reside en los **genes**.

A pesar de que los nuevos conocimientos biológicos han mostrado que algunos aspectos fundamentales del transformismo eran erróneos, las ideas de Lamarck contribuyeron en su tiempo a la aceptación progresiva de las teorías evolucionistas.



▲ Uno de los ejemplos utilizados por Lamarck a favor de sus ideas es el del topo que "por sus costumbres, hace poco uso de la vista" y que solamente tendría "ojos muy pequeños porque ejercita muy poco este órgano".

## Actividad

### 1. Aplicando lo leído, responde.

- ¿Cuál sería la explicación para el cuello largo de las jirafas según Lamarck?
- Menciona qué información de las imágenes está representando los principios de uso y desuso, y la herencia de los caracteres adquiridos.

### 2. Formen grupos de trabajo de cuatro compañeros o compañeras.

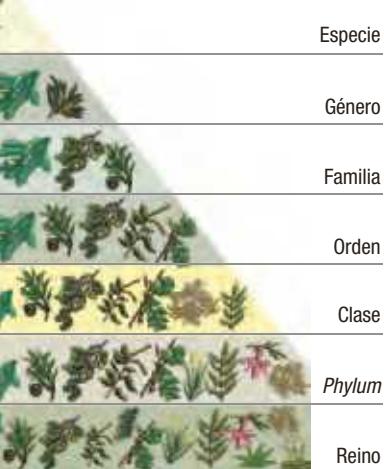
- Imaginen que se encuentran en una reunión científica hacia fines del siglo XVIII. En esta época, algunos de los participantes defienden la postura creacionista y otros la visión evolucionista propuesta por Lamarck para explicar el tamaño cerebral humano. Teniendo eso en consideración, cada grupo deberá **representar** ambas posturas frente al curso y entregar un informe con un **resumen** de los argumentos propuestos.

## Para GRABAR

La primera teoría formal de evolución de los seres vivos fue desarrollada por Jean-Baptiste Lamarck, quien propuso los principios de uso y desuso, y la herencia de los caracteres adquiridos como mecanismos del cambio evolutivo.



▲ La ausencia en la época de Linneo de una explicación científica a las semejanzas entre los diferentes grupos impidió disponer de un criterio adecuado para seleccionar las características examinadas.



# El estancamiento científico: cuando el conocimiento no avanza

## Desarrollo del conocimiento en su contexto histórico

En esta doble página analizaremos dos casos históricos de destacados científicos de los siglos XVIII y XIX. Veremos de qué manera el ambiente intelectual, los conocimientos, los prejuicios y las creencias de la época (y personales) influyeron en su visión y con ello en el **avance del conocimiento**.

### Carl von Linné, Linneo (1707-1778)

Médico, botánico y zoólogo sueco que ha sido considerado como el padre de la **taxonomía** por el desarrollo de sus sistemas jerárquicos de clasificación y de nomenclatura binomial.

Antes de su muerte llegó a ser reconocido como uno de los científicos más importantes de Europa. Sus creencias religiosas lo condujeron a la teología natural, escuela de pensamiento que durante el siglo XVII tenía gran representación entre los científicos, muchos de los cuales pertenecían al ámbito eclesiástico o eran profundamente creyentes. Para estos científicos, la **creación e inmutabilidad** (creacionismo-fijismo) eran cosas incuestionables. Para Linneo, el estudio de la naturaleza era una forma de intentar entender la sabiduría de Dios mediante el análisis de su obra creadora. Según él, un sistema de clasificación natural solo podría revelar este orden divino de la creación.

Linneo trabajó arduamente en el desarrollo de un sistema natural de clasificación, partiendo con las plantas y ampliándolo luego a otros grupos de organismos. Su método de clasificación de plantas se basó exclusivamente en el análisis de las estructuras sexuales de las flores. Con el tiempo, esto probó ser poco práctico e incapaz de dar cuenta de todas las diferencias y semejanzas entre las especies y actualmente es utilizado como un criterio más, junto con muchas otras características para la clasificación de una especie. Sin embargo, el sistema jerárquico de clasificación ideado por Linneo está actualmente vigente, como también su sistema de nomenclatura binomial, en el que los nombres de las especies constan de dos partes: la primera corresponde al género (en mayúscula) y la segunda a la especie (en minúscula).

Durante el desarrollo de su método de clasificación, Linneo observó muchísimas y muy diversas especies, primero de su país natal, luego de naciones cercanas dentro de Europa, y finalmente especímenes provenientes de todas partes del mundo colectados por otros naturalistas durante los numerosos viajes de exploración que se realizaban en esa época. Él mismo consiguió que varios de sus discípulos participaran de algunos de estos viajes con el propósito de aumentar su colección. Lo curioso de todo esto, y es por lo que se considera que Linneo realizó un gran aporte a la teoría de evolución aun cuando él era creacionista, es que el sistema jerárquico de clasificación establece **relaciones entre las especies** mediante la agrupación de estas en categorías más amplias que reúnen a especies similares y las separan de las más disímiles.

Esta agrupación y tipo de estructura jerárquica es precisamente la que sugiere conexiones de parentesco entre las especies, relaciones que Linneo nunca concibió. Sus ideas y creencias religiosas le impidieron ver lo que podría haber sido una hipótesis sugerida a partir de su sistema natural de clasificación.

Linneo también fue criticado en su tiempo. Algunos cuestionamientos estaban fundados en ciertos problemas con su sistema de clasificación, que, al estar basado solo en las estructuras sexuales de las plantas, algunas veces agrupaba especies claramente disímiles. Sin embargo, parte de la crítica tenía su origen en que ocupara los órganos sexuales para establecer su clasificación, lo cual para algunos resultaba aborrecible.

## Georges Cuvier (1769-1832)

Naturalista y zoólogo francés de fines del siglo XVIII y principios del XIX. Entre sus muchos logros destacan sus aportes a la paleontología y el desarrollo de la anatomía comparada. Fue reconocido por su habilidad para **reconstruir animales completos** a partir de la observación de unos pocos huesos o fragmentos de estos. También fue famoso por defender la idea de que los **fósiles** eran restos de seres vivos que en algún momento habían habitado nuestro planeta. Las extinciones de especies, en tanto, las explicaba como resultado de catástrofes naturales que él llamó “revoluciones de la superficie del globo”. Todas estas ideas se basaban en el análisis de evidencias reales, como la existencia de fósiles, ya que muchas de estas especies ya no existían, pero al observar estratos geológicos de distinta apariencia, extensión y aparente antigüedad, era posible asociarles tipos de fósiles determinados, en sucesión desde formas más sencillas a las más complejas.

Para Cuvier, la inmutabilidad de las especies se relacionaba con su convicción de que cualquier cambio en la forma de un órgano **alteraría su función** y, por lo tanto, afectaría el delicado equilibrio entre los distintos órganos de un organismo cualquiera, lo que haría inviable cualquier transformación de estos. Este argumento lo convirtió en un férreo opositor a Lamarck y su teoría de la evolución. Según Cuvier, todas las evidencias mostraban que las especies no cambiaban. Daba como prueba de esto la semejanza que él había encontrado entre restos momificados de personas y gatos egipcios, los que no mostraban mayores diferencias al ser comparados con restos actuales de esas especies.

En sus estudios paleontológicos y de anatomía comparada, Cuvier se vio enfrentado a innumerables similitudes entre especies, las que le permitieron establecer relaciones entre ellas y realizar reconstrucciones anatómicas a partir de unos pocos restos. Estas semejanzas y coincidencias de estructuras son evidentes al analizar no solo las especies actuales o las extintas entre ellas, sino, además, al comparar especies actuales y extintas, por lo que cuesta creer que Cuvier con todo su genio no haya sido capaz de darse cuenta de esto.

Sean cuales hayan sido sus razones, lo cierto es que Cuvier nunca concibió la transformación de las especies. Debe, sin embargo, destacarse que tenía argumentos científicos (parciales y con supuestos equivocados), basados en la información disponible en su época que sustentaban sus creencias y afirmaciones.

La información con respecto a sus argumentos religiosos es contradictoria. Existen versiones que lo presentan como un defensor del creacionismo y de haber relacionado las catástrofes con actos de destrucción y creación de especies (la versión más aceptada), pero hay otras versiones más actuales que lo presentan como una persona creyente, que posiblemente pensaba que Dios había creado las especies (tal como Darwin, incluso durante una buena parte de su viaje), pero que defendió sus ideas con argumentos científicos e hizo alusión a causas naturales para explicar la aparición y desaparición de especies, sin hacer referencia a actos de creación o destrucción divina.

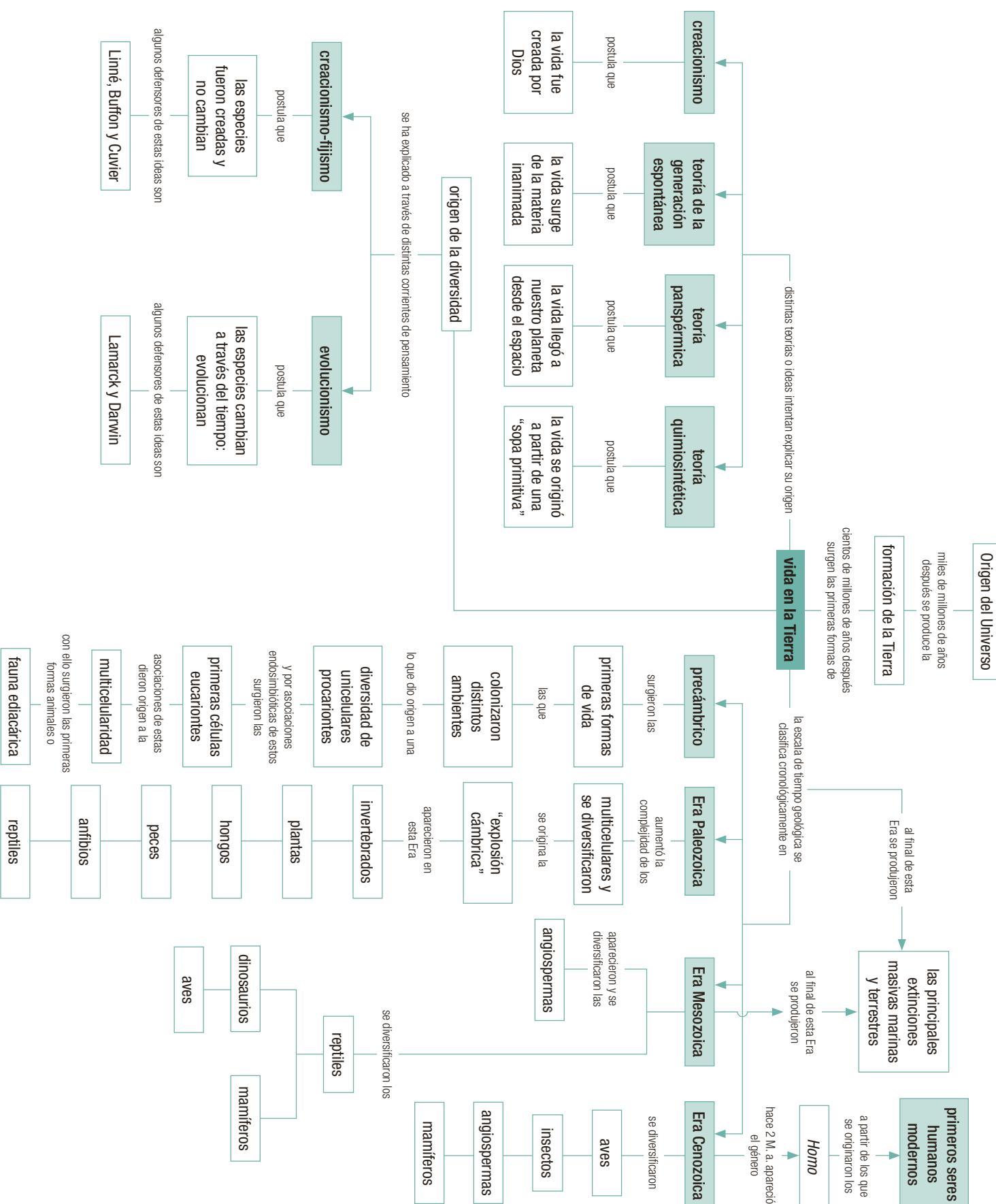
Con respecto a sus verdaderas razones, probablemente nunca las sabremos con certeza, porque incluso al revisar documentos originales es imposible estar seguro de todos los motivos tras una afirmación. Esto se complica aún más en nuestros días, en los que la aparente necesidad de inmediatez de resultados, las malas prácticas académicas (como copiar y pegar desde documentos ajenos, sin revisión, sin crítica, sin mayor análisis) y la gran cantidad de este tipo de información en la red hacen que la búsqueda de información sea riesgosa. El estudio de la historia de la ciencia está lleno de este tipo de problemas y una parte de esto se puede resolver mediante la lectura y el análisis de los documentos originales. Esta es una tarea complicada debido a ciertas dificultades prácticas, como el acceso a los documentos (en parte solucionado a partir de nuevas tecnologías de digitalización), la lectura en otros idiomas y finalmente la interpretación que nosotros mismos haremos de afirmaciones e ideas ajenas.



▲ Cuvier fue un destacado paleontólogo y anatomista comparado. En estas figuras se representan algunas de sus ilustraciones originales.

# Organizando favoritos

El siguiente organizador gráfico resume las relaciones entre los principales conceptos abordados en la unidad. Selecciona un concepto que consideres clave y construye a partir de este tu propio organizador.

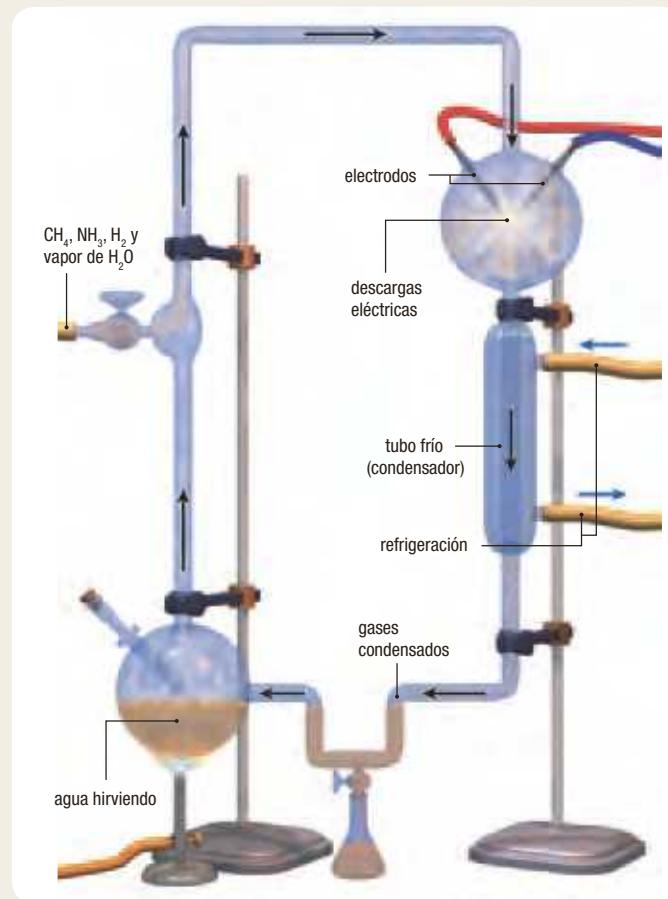


# Cargando disco

Te invitamos a resolver el siguiente ejemplo de pregunta de **comprensión** que tiene relación con la **teoría quimiosintética**.

- 1.** ¿Cuál(es) de las siguientes alternativas sobre el experimento de Miller y Urey es(son) correcta(s)?
  - I. Se obtuvieron moléculas orgánicas sencillas.
  - II. Prueba que a partir de la sopa primitiva se originó la vida.
  - III. Da cuenta del origen de los primeros organismos quimiosintéticos.

A. Solo I.  
 B. Solo II.  
 C. Solo I y II.  
 D. Solo II y III.  
 E. I, II y III.



A continuación analicemos las respuestas.

- A. Correcta.** Miller y Urey en su experimento sometieron a descargas eléctricas a las moléculas inorgánicas que supuestamente estaban presentes en la atmósfera primitiva (metano, amoníaco, hidrógeno y vapor de agua) y obtuvieron moléculas orgánicas, como aminoácidos, urea y ácidos grasos.
- B. Incorrecta.** El experimento de Miller y Urey no da cuenta del origen de la vida. Efectivamente, lograron obtener moléculas orgánicas, pero esto no prueba que esas moléculas hayan evolucionado químicamente hasta dar origen a la vida; por lo tanto, la opción es incorrecta.
- C. Incorrecta.** Aunque la opción I es correcta, al ser incorrecta la II la alternativa se descarta.
- D. Incorrecta.** Esta opción es doblemente falsa. Como ya mencionamos, la opción II es incorrecta porque, aunque el experimento intenta recrear las condiciones de la sopa primitiva propuesta por la hipótesis de Oparin y Haldane, no logra probar que la vida pueda originarse a partir de materia inorgánica. Por otro lado, la opción III también es incorrecta. La teoría quimiosintética no tiene relación con el origen de los primeros organismos quimiosintéticos. Tal como ya mencionamos, no explica el origen de ningún tipo de forma de vida, solo la formación de moléculas orgánicas.
- E. Incorrecta.** Es falsa porque incluye dos opciones que son incorrectas.

Entonces la alternativa correcta es A

	A	B	C	D	E
1	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

**I. Marca la alternativa que consideres correcta.**

- 1.** Durante el período de evolución química prebiótica se postula que aparecieron:
  - A. Las primeras moléculas orgánicas.
  - B. Los primeros organismos anaeróbicos.
  - C. Niveles altos de oxígeno molecular ( $O_2$ ).
  - D. Organismos pluricelulares muy primitivos.
  - E. Organismos unicelulares con mitocondrias.
  
- 2.** El proceso de fotosíntesis cambió el curso de la evolución porque:
  - I. Transformó la atmósfera primitiva.
  - II. Coincide con el origen de la multicelularidad.
  - III. Favoreció el surgimiento de nuevos tipos de vida.
  - A. Solo III.
  - B. Solo I y II.
  - C. Solo I y III.
  - D. Solo II y III.
  - E. I, II y III.
  
- 3.** La evolución química prebiótica se caracteriza por la existencia de:
  - I. Reacciones que originaron moléculas más complejas.
  - II. Organismos unicelulares con metabolismo aeróbico.
  - III. Una atmósfera rica en moléculas inorgánicas.
  - A. Solo I.
  - B. Solo II.
  - C. Solo III.
  - D. Solo I y II.
  - E. Solo I y III.
  
- 4.** De los siguientes eventos, ¿cuál es el más reciente?
  - A. Big Bang.
  - B. Aparición de las algas.
  - C. Origen de los probióntes.
  - D. Dominio de los dinosaurios.
  - E. Aparición de  $O_2$  en la atmósfera.

**5. ¿Cuál de los siguientes eventos ocurrió durante el Paleozoico?**

- A. Explosión cámbrica.
- B. Aparición de los homínidos.
- C. Extinción de los dinosaurios.
- D. Surgimiento de los mamíferos.
- E. Extinción de las aves del terror.

**6. ¿Cuál de las siguientes alternativas presenta una secuencia temporal correcta?**

- A. Paleozoico – Precámbrico – Cenozoico – Mesozoico.
- B. Eucariontes – Invertebrados – Anfibios – Dinosaurios – Aves.
- C. Precámbrico – Fauna ediacara – Mesozoico – Homínidos – Megafauna.
- D. Primeros procariontes – Invertebrados – Reptiles – Anfibios – Mamíferos.
- E. Paleozoico – Extinción de los trilobites – Plantas terrestres – Primeros homínidos – Extinción de los dinosaurios.

**7. ¿Por qué el inicio de la Era Paleozoica es considerado como una “explosión evolutiva”? Porque:**

- A. Apareció la vida terrestre en la Tierra.
- B. Surgió la gran diversidad de mamíferos actuales.
- C. Un meteorito provocó la extinción de los dinosaurios.
- D. Apareció la mayoría de los grupos animales conocidos.
- E. En esa época hubo mucho vulcanismo que dio origen a la vida.

**8. El Precámbrico constituye casi el 90% de la historia de la Tierra. La escasez de registro fósil se debe a que:**

- I. Se trataba de vida microscópica marina.
  - II. La vida se extinguío por el choque de un meteorito.
  - III. La mayoría de las rocas de esa época se han transformado.
- A. Solo I.
  - B. Solo II.
  - C. Solo III.
  - D. Solo I y II.
  - E. Solo I y III.

**9.** Los mamíferos sobrevivieron a la extinción del Mesozoico debido principalmente a:

- I. Su pequeño tamaño corporal.
- II. Su gran tamaño y ferocidad.
- III. Su gran capacidad de adaptación.
- A. Solo I.
- B. Solo I y II.
- C. Solo I y III.
- D. Solo II y III.
- E. I, II y III.

**10.** En una excavación se encontraron restos de un tiranosaurio de la Era Mesozoica. Al seguir excavando, encontraron un fósil mucho más antiguo de un:

- A. Mamut.
- B. Trilobite.
- C. Homínido.
- D. Megaterio.
- E. Ave gigante.

**11.** El primero en proponer una teoría de evolución de los organismos fue:

- A. Georges Cuvier.
- B. Francesco Redi.
- C. Louis Pasteur.
- D. Alexander Oparin.
- E. Jean Baptiste Lamarck.

**12.** ¿Cuál de las siguientes afirmaciones no corresponde a las ideas de Buffon?

- A. Las especies fueron creadas por Dios.
- B. La Tierra es más antigua que lo que plantea la Biblia.
- C. Las especies cambian por la interacción con el ambiente.
- D. Los órganos vestigiales son ejemplos de degeneraciones en las especies.
- E. Las clasificaciones propuestas por Linné reflejan las relaciones entre especies.

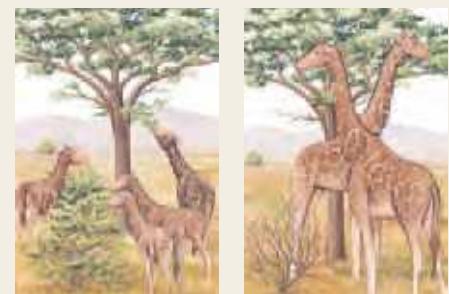
**13.** Al nombre de Georges Cuvier se le asocia el desarrollo de ideas, como:

- I. La teoría de las catástrofes.
- II. La evolución de los organismos.
- III. El sistema natural de clasificación.
- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y II.
- E. Solo I y III.

**14.** La teoría de Lamarck postula que:

- I. Ciertos caracteres adquiridos durante la vida de un organismo pueden ser heredados.
- II. En los animales existía una voluntad que podía promover el desarrollo de un órgano.
- III. El uso y desuso de un órgano pueden promover su desarrollo o atrofia, respectivamente.
- A. Solo III.
- B. Solo I y II.
- C. Solo I y III.
- D. Solo II y III.
- E. I, II y III.

**15.** ¿Cómo se explica el cambio en el largo del cuello de la jirafa según Lamarck?



- I. Para alcanzar su alimento, las jirafas estiran su cuello.
- II. A lo largo de su vida, el cuello de la jirafa se estira (por uso).
- III. La jirafa con cuello estirado traspasa esta característica a su descendencia.
- A. Solo III.
- B. Solo I y II.
- C. Solo I y III.
- D. Solo II y III.
- E. I, II y III.

### II. Analiza la siguiente situación procedural y luego responde.

Los mamíferos surgieron de un linaje de reptiles pertenecientes a la subclase *Synapsida*, específicamente de aquellos del Orden *Therapsida*. A fines del Carbonífero, este grupo de reptiles “mamaliformes” se apartaron del resto. Los mamíferos primitivos se originaron a finales del Triásico, hace unos 210-220 millones de años; sin embargo, los dinosaurios eran dominantes en esa época y los mamíferos del Mesozoico eran pequeños organismos de hábitos nocturnos. Recién a finales del Cretácico, con la extinción de los dinosaurios, comenzó la espectacular radiación adaptativa de los mamíferos que los llevó a ocupar una posición dominante durante la Era Cenozoica.

Los mamíferos actuales se dividen en tres grupos diferenciados entre sí fundamentalmente por el desarrollo temprano de sus crías. Los monotremas son mamíferos que se caracterizan por poner huevos; los marsupiales tienen un corto desarrollo en el útero materno y completan gran parte del crecimiento al interior de la bolsa marsupial, y los placentarios se identifican porque las crías son retenidas en el útero materno durante largo tiempo, donde son alimentadas por una placenta.

#### Planteamiento del problema

En el noreste de China se encontró un fósil de un animal muy bien conservado. El trabajo de un equipo de científicos del Museo Carnegie de Historia Natural en Estados Unidos se encargó de su clasificación y lo describió en una publicación de la prestigiosa revista *Nature* (ver referencia) como un mamífero parecido a la musaraña y que vivió hace unos 160 millones de años. El mamífero euterio (placentario) más antiguo conocido databa de 125 millones de años (*Eomaia scansoria*), por lo que era importante determinar si este nuevo hallazgo pertenecía al mismo grupo. La pregunta clave que se hicieron los investigadores fue:

¿Apareció el grupo de los mamíferos placentarios en un tiempo anterior de lo que se pensaba hasta la fecha?

#### Formulación de hipótesis

“Si el fósil encontrado en China pertenece a los mamíferos placentarios, entonces la aparición de la placenta como adaptación evolutiva tiene más de 160 millones de años”.

#### Procedimiento experimental y obtención de resultados

Estudiaron el fósil mediante técnicas modernas y compararon los resultados con otros fósiles. Los investigadores realizaron una confección holográfica mediante técnicas computacionales, y a partir de los restos bastante conservados de los huesos y del registro dentario disponible en el fósil hallado se pudo recrear cómo habría sido su aspecto.



#### Interpretación de resultados y elaboración de conclusiones

El cráneo incompleto del fósil, parte de su esqueleto, así como impresiones de los tejidos blandos residuales y del pelo permitieron incluirlo en el grupo de mamíferos. Lo más importante que encontraron fue la dotación completa de dientes y los huesos de las patas, lo que les permitió a los paleontólogos establecer claramente que era un animal más cercano a los mamíferos placentarios que vivían en los árboles que a los mamíferos marsupiales.

La nueva especie fósil encontrada se clasificó como *Juramaia sinensis*, que significa “madre del Jurásico de China”. *Juramaia* reveló características de adaptación que podrían haber ayudado a los primeros mamíferos placentarios a sobrevivir en un entorno difícil como el Jurásico. Las extremidades de *Juramaia* estaban adaptadas para trepar. Considerando que la mayoría de los mamíferos no placentados del Jurásico vivieron exclusivamente en el suelo, esto representa una capacidad exclusiva de su clase para subir a los árboles y escapar así de sus depredadores.

- ¿Cómo se relacionan los datos obtenidos con la hipótesis formulada? ¿Resultó ser válida esta última?
- ¿Qué ventajas le aportaban a *Juramaia* las adaptaciones de sus extremidades?
- Menciona dos conclusiones que se puedan desprenden de este hallazgo relacionadas con el dinamismo de las ciencias.

#### Referencia:

Chong-Xi Yuan, Zhe-Xi Luo, Qing-Jin Meng y Qiang Ji. (2011). A Jurassic eutherian mammal and divergence of marsupials and placentals. *Nature*, 476, 442–445.

# Cerrar sesión

## I. Revisa tus respuestas de alternativas.

Pregunta	Contenido evaluado	Habilidad	Clave	Mi revisión			Logro alcanzado
				Correctas	Incorrectas	Omitidas	
1	Origen de la vida. Páginas 102 a 115.	Comprender					/ 3
2		Comprender					
3		Comprender					
4	Vida en la Tierra. Páginas 118 a 125.	Recordar					/ 7
5		Recordar					
6		Recordar					
7		Comprender					
8		Comprender					
9		Comprender					
10		Aplicar					
11	Precursoras del evolucionismo. Páginas 126 a 131.	Recordar					/ 5
12		Recordar					
13		Comprender					
14		Comprender					
15		Comprender					

## II. Revisa los criterios que se consideran para la respuesta correcta de la situación procedural.

Etapa del método	Criterios
Interpretación de resultados.	<p>a. La respuesta debe considerar que los resultados obtenidos en el análisis del fósil sí permitieron confirmar que <i>Juramaia</i> era un mamífero que estaba en la línea de los placentarios y, por lo tanto, la hipótesis resultó ser válida.</p> <p>b. La respuesta debe considerar las ventajas relacionadas con la posibilidad que tenía <i>Juramaia</i> de trepar a los árboles y escapar de sus depredadores gracias a las adaptaciones de sus extremidades.</p>
Elaboración de conclusiones.	<p>c. La respuesta debe considerar conclusiones del tipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nuevos hallazgos en ciencias permiten recabar antecedentes que aportan a la permanente reconstrucción de procesos que en gran parte aún desconocemos, como es el caso de la historia evolutiva.</li> <li>- Las distintas técnicas modernas han permitido obtener nuevos antecedentes que, en conjunto con los más convencionales, les han permitido a los científicos cruzar los resultados, compararlos y con ello dar cuenta de nueva información.</li> </ul>

### Mi ESTADO

Anota el nivel de logro de tus aprendizajes de la unidad según la categoría de desempeño dada: 1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

- Interpreté resultados obtenidos en distintas actividades procedimentales.
- Comprendí las principales teorías e ideas relacionadas con el origen de la vida.
- Conocí los principales hitos relacionados con la historia evolutiva de los seres vivos en la Tierra.
- Conocí distintas visiones clásicas para explicar el origen de la diversidad de vida en el planeta.

# Adaptación y cambio evolutivo

A  
B  
C  
D

## MENÚ de inicio

### ¿Qué aprenderás?

### ¿Para qué?

### ¿Dónde?

Elaboración de conclusiones.	Analizar los resultados de distintas investigaciones y elaborar conclusiones a partir de estos.	Páginas 140, 141, 172, 173 y 188
Darwin y la teoría de la selección natural.	Comprender el impacto científico y cultural de la teoría de Darwin en relación con teorías o creencias como el fijismo, el creacionismo, el catastrofismo y el evolucionismo.	Páginas 142 a 149
Implicancias de la obra de Charles Darwin.	Conocer controversias de interés público relacionadas con ciencia y tecnología, considerando los aspectos biológicos, éticos, sociales y culturales.	Páginas 150 y 151
Evidencias de la evolución.	Identificar las principales evidencias de la evolución orgánica obtenidas mediante métodos como el registro fósil, la anatomía y embriología comparada, el análisis bioquímico y los estudios biogeográficos.	Páginas 154 a 157
Efectos de los cambios genéticos y las variaciones ambientales.	Comprender los mecanismos de evolución, la adaptación y los efectos que tienen en la formación de especies los procesos de divergencia genética y aislamiento.	Páginas 152, 153, 160 a 173
Evolución humana.	Conocer algunas características biológicas de la especie humana y su historia evolutiva.	Páginas 174 a 183



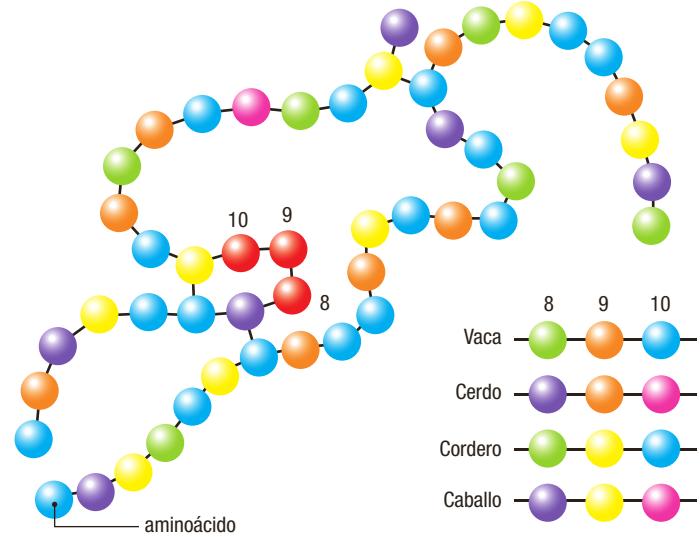
## ABRIR SESIÓN

Al realizar un estudio para establecer el parentesco evolutivo entre el cerdo, la vaca, el cordero y el caballo, los datos aportados por la anatomía comparada indicaron que:

- Todos tienen un antepasado común cercano.
- La vaca y el cordero son los que están más emparentados.
- El caballo está más emparentado con el cerdo que con los otros dos mamíferos.

El estudio se completó con el análisis de una proteína, la insulina. La secuencia de aminoácidos resultó muy similar en los cuatro mamíferos: tan solo se encontraron diferencias en tres aminoácidos (8, 9 y 10 en la figura).

1. Analiza si los datos aportados por la biología molecular apoyan o refutan la hipótesis propuesta por los estudios anatómicos.
2. ¿Cuál puede ser el aporte de este tipo de técnicas en la reconstrucción de acontecimientos evolutivos? Explica.



► En la fotografía se ve a un grupo de niños observando la reconstrucción del esqueleto de un *Velociraptor*. ¿Por qué este tipo de hallazgos son considerados evidencias de la evolución?



# Iniciando

## ETAPAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
3. Procedimiento experimental.
4. Obtención de resultados.
5. Interpretación de resultados.
6. Elaboración de conclusiones.

## ¿QUÉ ES UNA CONCLUSIÓN?

Es una afirmación que se hace a partir de las evidencias e interpretaciones que entrega el desarrollo de un trabajo de investigación.

## ¿PASOS PARA ELABORAR UNA CONCLUSIÓN?

**Paso 1:** revisar si la hipótesis es correcta o no según los resultados obtenidos y su interpretación.

**Paso 2:** establecer la relación entre la hipótesis y la interpretación de los resultados de la investigación.

**Paso 3:** formular una afirmación que explique la relación entre la hipótesis y la interpretación de los resultados obtenidos.



▲ Fotografía real de ambos tipos de polillas.

La teoría de la evolución plantea la posibilidad de cambio en las especies biológicas. Dichas modificaciones generalmente ocurren en forma gradual y muy lentamente, por lo tanto son muy difíciles de observar en la escala de tiempo de la vida de una persona. Debido a esto, es bastante difícil diseñar un experimento en el que se demuestre la evolución de una especie. Sin embargo, existe un caso documentado en el cual fue posible observar **cambios poblacionales**, por medio de la **selección natural**, como los que se espera que ocurran durante el **proceso evolutivo**.

## Planteamiento del problema

La mariposa o polilla del abedul (*Biston betularia*) es una especie común en Inglaterra, y, como tal, ha sido frecuentemente capturada para formar parte de colecciones entomológicas de museos y de privados. Hasta antes del año 1848, todas las colecciones mostraban mariposas de color gris claro, pero ese año se capturó una mariposa de la misma especie que era de color café oscuro.

- a. ¿Cuál crees que fue la causa de que en 1848 se capturara una polilla de alas oscuras cuando hasta entonces no se había recolectado ninguna?

Al comparar dos colecciones de esta mariposa, una con las capturas de 1848 y otra con las de 1900, se observó que este último año las mariposas oscuras eran las más abundantes.

- b. ¿Por qué podrían las polillas oscuras, casi inexistentes en 1848, ser las que más abundaban en 1900?

En su ambiente natural, estas polillas son depredadas por varias especies de pájaros mientras están posadas sobre los troncos de los árboles. Previo a la Revolución Industrial, las polillas de color claro se confundían fácilmente sobre el fondo también claro de la corteza de los abedules cubiertos de líquenes. Hacia fines del siglo XIX, el gran desarrollo industrial de Inglaterra provocó una enorme contaminación ambiental que ennegreció los troncos de los árboles y mató a los líquenes. En estas condiciones, las mariposas claras eran fácilmente visibles sobre los troncos y las oscuras pasaban inadvertidas.

- c. ¿Cómo podría explicar la contaminación el aumento de mariposas oscuras en las colecciones?

## Formulación de hipótesis

Con la información anterior se puede plantear la siguiente hipótesis para explicar el aumento de las polillas oscuras.

“Al oscurecerse los troncos, las polillas oscuras son menos visibles a los depredadores y por lo tanto se ven favorecidas, dejando una mayor descendencia que las hace ser cada vez más abundantes”.



## Procedimiento experimental

Una forma de poner a prueba la hipótesis es comparar la recolección de polillas obtenidas en dos bosques que presentan condiciones muy distintas: uno con claros signos de contaminación, en el que los abedules se caracterizan por tener troncos oscurecidos por el hollín y sin líquenes, y otro sin signos de contaminación y donde los abedules tienen troncos claros y están cubiertos con líquenes.

## Obtención de resultados

Al colectar polillas en ambos tipos de bosques, se obtuvieron los siguientes resultados.

Muestra	Bosque sin contaminación		Bosque contaminado	
	Polillas claras	Polillas oscuras	Polillas claras	Polillas oscuras
1	21	2	0	35
3	44	3	2	28
4	17	1	1	54

## Interpretación de los resultados

- a. A partir de los resultados anteriores, ¿es posible concluir que la contaminación ejerce un efecto sobre la abundancia de polillas oscuras? ¿Por qué?
- 
- 



- b. Explica con tus propias palabras cómo actuó la selección natural en el caso de la polilla *Biston betularia*.
- 
- 



- c. ¿Qué podría haber ocurrido con esta población si no hubiesen existido las polillas oscuras?
- 
- 

- d. ¿Qué crees tú que ocurriría con la abundancia de las polillas claras y oscuras si la contaminación disminuyera y se lograra eliminar el hollín de los árboles?
- 
- 

## Elaboración de conclusiones

- a. Formen grupos de trabajo, lean las siguientes preguntas, discutan sus respuestas y **elaboren un informe** al respecto.
- b. ¿Resultó correcta la hipótesis formulada? ¿Cómo se relaciona con el procedimiento experimental y este, a su vez, con la interpretación de los resultados obtenidos?
- c. ¿Qué nos enseña este ejemplo acerca de la incidencia de los cambios ambientales en las especies?
- d. ¿Qué nos revela este ejemplo sobre las posibilidades de adaptación de los organismos?
- e. Expliquen por qué este puede ser considerado como un caso de cambio evolutivo.

### Mi ESTADO

- En esta actividad, ¿qué te resultó más difícil y por qué?
- ¿Qué consecuencias puede tener la actividad humana en el proceso evolutivo de determinadas especies? Reflexiona al respecto.

# Charles Darwin y su teoría de la evolución

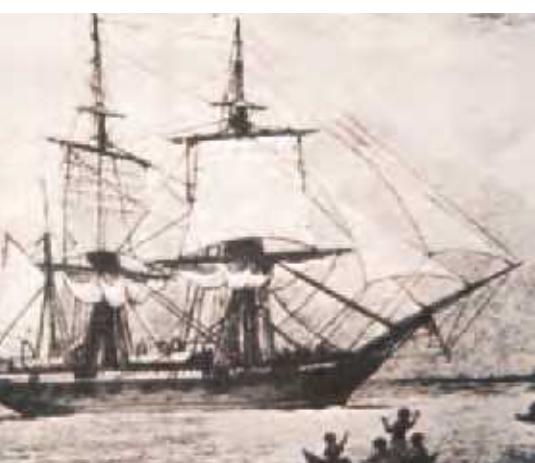


▲ Charles Darwin (1809-1882).

Charles Darwin (1809-1882) es conocido por su **teoría de la evolución** por medio de la **selección natural**. Desde niño manifestó gran interés por las Ciencias Naturales. Luego de un fallido intento por estudiar Medicina, en 1828 ingresó a Christ's College en Cambridge a estudiar Teología. Comenzó a asistir voluntariamente a las clases del reverendo John Henslow, con quien compartió y desarrolló su afición por el naturalismo.

Con Henslow aprendió de Botánica, Entomología y Geología, además de desarrollar su capacidad de observación y la rigurosidad que lo caracterizó durante toda su carrera. Era un observador meticuloso y un gran pensador; su afición por las Ciencias Naturales lo llevó a leer acerca de Geología, Paleontología y Demografía, entre otros temas. La asociación de Darwin con Henslow, con quien desarrolló a lo largo de los años una amistad entrañable, no solo le permitió acercarse al estudio de las Ciencias Naturales, sino que le posibilitó conocer a un sinnúmero de personajes importantes en el mundo académico. A solicitud de Henslow, Darwin profundizó en el estudio de la Geología y se inscribió en un curso con Adam Sedgwick, a quien acompañó durante ese mismo verano en una excursión para mapear la geología de Gales del Norte. En 1831, al volver de su viaje con Sedgwick, se encontró con una carta de Henslow, quien lo propuso como acompañante del capitán Robert Fitzroy y naturalista, sin paga, a bordo del barco de su majestad H.S.M. Beagle en un viaje alrededor del mundo que duraría cinco años y durante el cual Darwin recabó, a partir de sus observaciones, la información que resultaría clave para desarrollar su teoría de la evolución.

Al partir de Inglaterra (Plymouth), Charles Darwin llevaba consigo una vasta experiencia como naturalista y conocimientos de muchos grupos de organismos, lo cual le sirvió en su trabajo de observación y recolección de toda clase de especies. También llevaba consigo el libro *Principios de Geología*, de Charles Lyell, que fue de suma importancia durante su viaje y que le sirvió de inspiración para formular su teoría. En su libro, Lyell refutaba la teoría de las catástrofes a partir de evidencias geológicas y postulaba, por una parte, la idea de que los cambios geológicos ocurrían en forma lenta y gradual, y por otra, que los procesos observados en la actualidad, como terremotos, vulcanismo, erosión y sedimentación, eran del mismo tipo que los que habían ocurrido desde el origen de nuestro planeta (uniformitarismo) y que la Tierra tenía una edad de varios millones de años. Esto le dio a Darwin la idea de cambio gradual y el “tiempo necesario” para que pudiera operar la evolución.



▲ Durante su viaje en el *Beagle* (1831-1836), Darwin recogió abundantes muestras e hizo numerosos registros sobre la flora y fauna que observó.

## El viaje del *Beagle*



Durante su viaje, Darwin tuvo la oportunidad de observar ambientes muy diversos, en los que pudo ver muchos tipos de organismos vivos y en ciertos lugares encontró fósiles de organismos extintos, algunos de los cuales guardaban una **estrecha relación** con organismos actuales. Una de las cosas que llamaron profundamente la atención a Darwin fue la aparente **adaptación** a los ambientes particulares que presentaban todas las especies. También le interesó la notoria **convergencia morfológica** (similitud de forma) que presentaban especies distintas que vivían en regiones separadas, pero en ambientes similares.

Durante su paso por la Patagonia argentina, le llamaron la atención los fósiles de mamíferos de gran tamaño (megaterios, mastodontes, milodones y otros animales afines) que pudo observar. Algunas de estas especies poseían corazas en forma de placa semejantes a las de los actuales armadillos, lo cual le sugirió a Darwin la posibilidad de relación entre **especies extintas y actuales**. Durante su paso por Chile, Darwin tuvo la oportunidad de vivir la experiencia de un terremoto y maremoto mientras estaba en Valdivia y presenciar una erupción del volcán Osorno. Además, visitó varias ciudades y poblados, recorrió el valle de Casablanca y se internó en la cordillera de los Andes, donde pudo observar numerosas formaciones fosilíferas.

Las islas Galápagos fueron probablemente uno de los lugares más importantes para la formulación de la teoría de la evolución. Muchas de las observaciones de Darwin en estas islas fueron cruciales para la formulación de su teoría. Una de las cosas que más le llamaron la atención a Darwin fue el hecho de que islas relativamente cercanas, pero con diferencias en los ambientes y recursos que presentaban, tenían especies distintas de organismos muy parecidos y posiblemente relacionados.

¿Cómo era posible que en estos lugares pequeños y alejados hubiese una diversidad mayor que en el continente? Uno de los primeros cuestionamientos acerca de la posibilidad de creación de las especies surgió como resultado de estas observaciones. Si las especies habían sido creadas en forma especial por un dios todopoderoso, ¿por qué guardaban más relación las especies de las Galápagos con las del continente americano que con especies de islas en todo aspecto parecidas a estas, pero distantes? ¿Y por qué las especies presentes en estas otras islas se parecían más a las de los continentes cercanos a ellas?

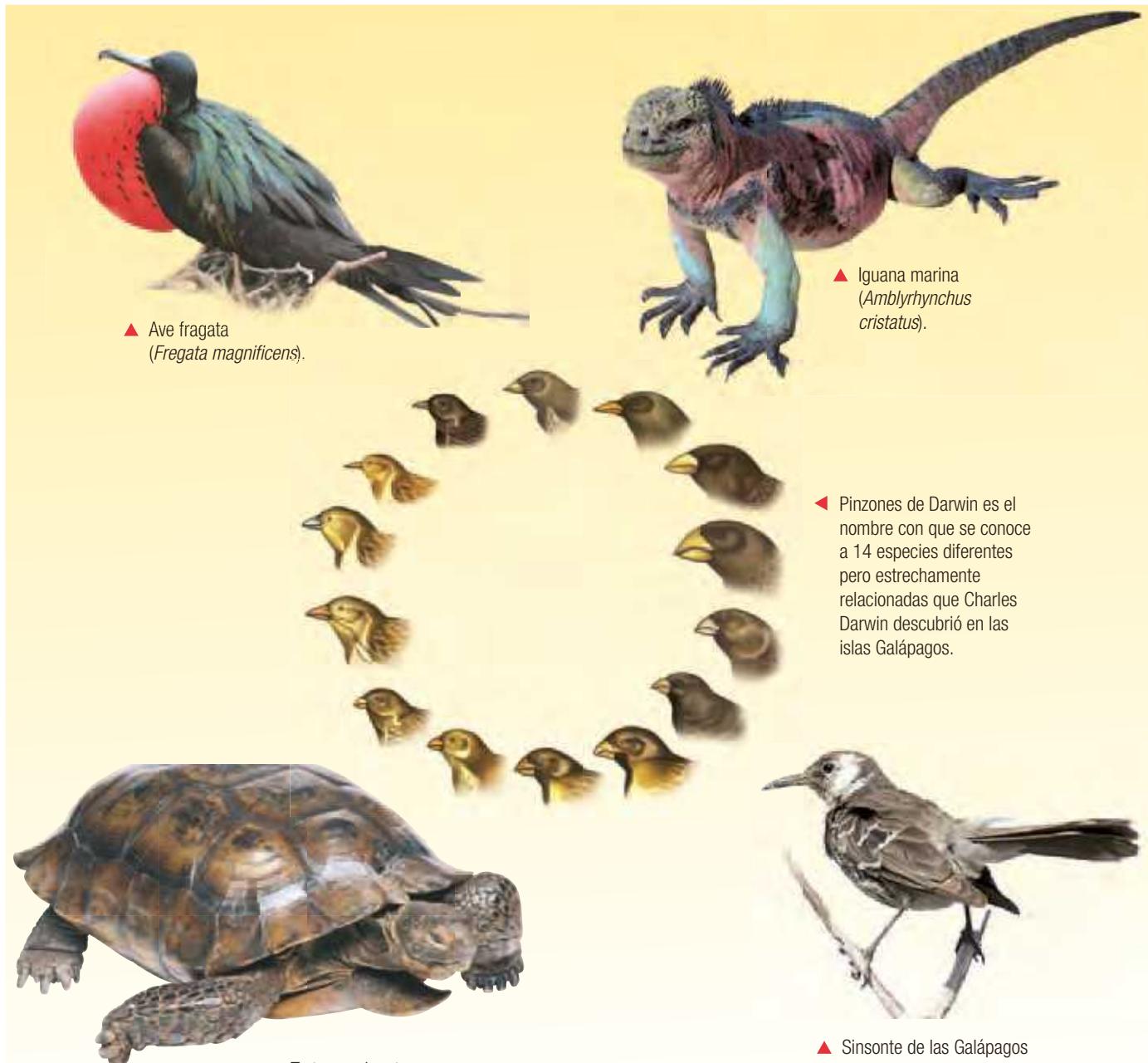
Entre las especies que Darwin observó se encontraban las tortugas terrestres o Galápagos, que presentaban diferencias muy marcadas en su morfología, lo que dependía de la isla en la que se encontraran y las especies de las cuales se alimentaran. También colectó distintas especies de pinzones, las que presentaban diferencias de forma y tamaño del pico, además de otras variantes morfológicas y conductuales de acuerdo al hábitat donde se encontraban y los recursos de los que se alimentaban. Menos conocidos, pero igualmente importantes, fueron los sinsontes, otra especie de ave, de tamaño pequeño y de amplia distribución en Norte y Sudamérica, que fueron clasificados erróneamente por Darwin, y que posteriormente al ser reclasificados en Inglaterra lo hicieron dudar de la inmutabilidad de las especies.



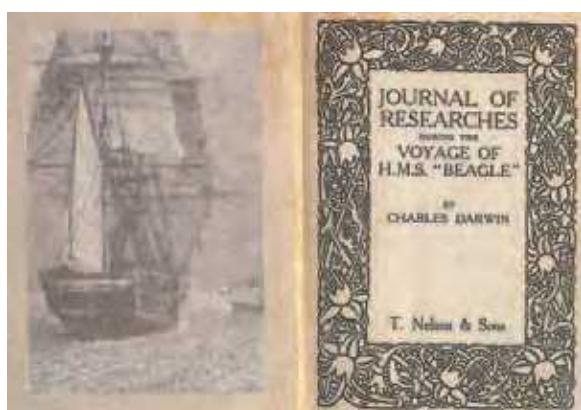
▲ El naturalista Charles Darwin planteó en su libro *El origen de las especies* dos ideas revolucionarias: la evolución biológica y la selección natural.



## Algunas de las especies que observó Darwin en las islas Galápagos



De vuelta en Inglaterra se dedicó a catalogar e identificar las especies que había recolectado a través de su viaje. En este período también comenzó a escribir el diario de su viaje, el cual fue publicado al poco tiempo, después de lo cual se dedicó a escribir una serie de artículos y libros en los que presentó sus principales descubrimientos e ideas. Poco después de su regreso, en octubre de 1838, Darwin leyó el *Ensayo sobre el principio de la población*, del sociólogo inglés Thomas Malthus, en el cual se mencionaba la **lucha por la existencia**, lo que Darwin inmediatamente asoció con las condiciones en las cuales las variaciones favorables tenderían a ser preservadas y las desfavorables destruidas. A partir de esto, Darwin comenzó a elaborar las ideas que lo llevarían a consolidar su teoría de la evolución por medio de la selección natural. En 1837 comenzó su primer libro de notas acerca del **origen de las especies**, tema al que dedicó la mayor parte de su tiempo por el resto de su vida.



▲ Diario que escribió Darwin durante su viaje en el *Beagle*.

## La selección natural

Darwin utilizó el término selección natural para referirse a la sobrevivencia diferencial que ocurre entre los organismos en el ambiente natural. Él relacionó esto con el bien desarrollado concepto de selección artificial, o la selección que realizan los criadores de especies domésticas.

Las ideas clave para esbozar su teoría de evolución serían las siguientes:

- **Las especies presentan una gran capacidad reproductiva.**  
Todas las especies, incluso las de menor fertilidad, tienden a producir un número mayor de descendientes que los necesarios para su mantención. Estas crías en exceso deberán competir por los recursos, que son limitados (alimentos, espacio), lo cual lleva a **la lucha por la existencia**.
- **Los individuos de todas las especies presentan variación.**  
Pequeñas diferencias entre los individuos pueden conferir ventajas adaptativas. La mayoría de estas variaciones son heredables.
- **Los individuos que presentan ventajas pueden vivir más y dejar una mayor descendencia.**

En la lucha por la existencia, algunos individuos se verán beneficiados respecto de las condiciones ambientales y aquellos que muestren variaciones favorables dejarán más descendientes que los que tienen variaciones menos favorables.

- **Las especies cambian.**  
Si las condiciones ambientales se mantienen relativamente constantes, las variaciones más favorables (a estas condiciones) serán más abundantes en cada generación y las más desfavorables tenderán a desaparecer. Esto explica la adaptación de las especies a su ambiente.

En 1858, Darwin recibió para su revisión un manuscrito de **Alfred Russell Wallace** en que desarrollaba el concepto de la selección natural y llegaba esencialmente a sus mismas conclusiones con respecto al origen de las especies. A sugerencia de sus amigos Charles Lyell y Joseph Hooker, el manuscrito de Wallace y un resumen de las ideas de Darwin fueron presentados en forma simultánea ante la comunidad científica, por lo que el crédito se le atribuye a ambos.



▲ La población de canarios que viven en libertad se encuentra adaptada a su medio. Su color les permite camuflarse en el medio en el que viven.



▲ Los canarios seleccionados de forma artificial, para que tengan colores llamativos, tienen poca posibilidad de sobrevivir en su medio natural, ya que son reconocidos fácilmente por sus depredadores.



**Alfred Russel Wallace** (1823-1913) realizó largos viajes como naturalista por la selva amazónica y el archipiélago de Malasia. Le influyeron de forma poderosa las lecturas de Lyell y Malthus.

A pesar de llegar a conclusiones semejantes a las de Darwin, su origen más modesto y el que expusiera su teoría de forma menos desarrollada debieron ser la causa de que su renombre entre los científicos fuera menor que el de Darwin.

## Ejemplo de evolución por selección natural

1. Entre los conejos silvestres existen diferencias en el color del pelaje, un carácter hereditario. La mayoría tienen el pelaje pardo oscuro, pero algunos lo tienen claro.



2. Los conejos tienen abundante descendencia; si todos los descendientes sobrevivieran, la Tierra estaría invadida y acabarían muriendo por falta de recursos.



3. Los conejos pardos pasan más desapercibidos que los de pelaje claro para sus depredadores, por lo que tienen más posibilidades de sobrevivir y dejar descendientes que heredaran esa característica.



4. Generación tras generación, de forma continua y gradual, cada vez serán más abundantes los conejos de pelaje pardo oscuro que los de pelaje claro en la población.



### Actividad

1. A partir de la **interpretación** del esquema, responde.

- En una población de 100 conejos, donde inicialmente hay 50 de pelaje pardo oscuro y 50 de pelaje claro, y el número total de la población no varía: ¿Cambiará el color del pelaje tras varias generaciones? ¿Qué cambios se observarán y por qué?
- ¿Qué explicación le daría Lamarck a la herencia de estos rasgos?
- ¿Qué explicación le daría Lamarck al mecanismo de cambio?
- ¿Cuál sería la diferencia entre Darwin y Lamarck para explicar esta situación?

## Lo que Darwin anticipó

Darwin fue un pensador incansable y esto se demuestra en la gran cantidad de presentaciones, documentos científicos, libros y cartas que escribió durante su vida. En muchos de estos documentos discute temas para los cuales no existía una explicación en su tiempo, y en varios de ellos la anticipación de las respuestas y la claridad de los argumentos utilizados aún hoy nos sorprende. Muchos de sus planteamientos se basaron en la observación de patrones y en la interpretación de estos sobre la base de los conocimientos de la época, pero otros fueron meras especulaciones que a la larga probaron ser acertadas. En la mayoría de estos casos, la capacidad de observación y relación de Darwin sorprende al lector.

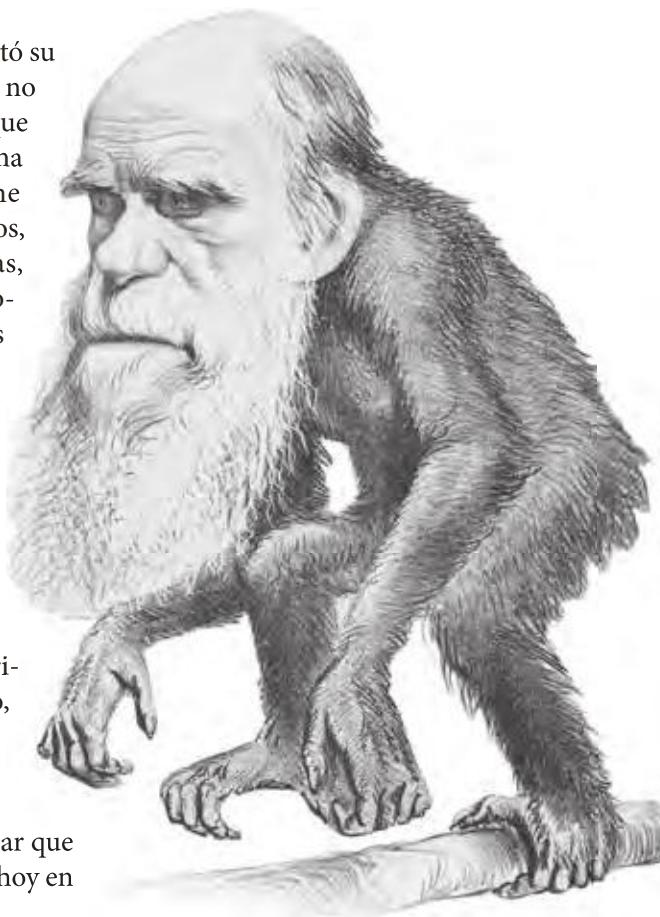
## La evolución de los seres humanos

Este fue un tema particularmente sensible al momento que Darwin presentó su teoría de la evolución mediante la selección natural. Sin embargo, Darwin no se refirió a este asunto en forma explícita en *El origen de las especies*, sino que fue tratado en forma especial en un libro diferente, en el cual aborda el tema de nuestra evolución: *El origen del hombre*. En este libro, Darwin propone como la cuna de la humanidad el continente africano, y a los grandes simios, particularmente a los chimpancés, como nuestras especies más cercanas, adelantándose casi un siglo a los descubrimientos que llevaron a que la comunidad científica aceptara estas ideas. Lo más extraordinario de esto es que en la época de Darwin, para la mayoría de los intelectuales y personas interesadas en el tema era inaceptable que los seres humanos hubiesen evolucionado a partir de otras formas de vida. Además, atribuir como antepasados de nuestra especie a los simios africanos tenía el inconveniente de proponer a este continente como cuna de la humanidad, restando importancia a Eurasia (Europa y Asia) en la historia de los orígenes de nuestra especie.

Darwin, además, postuló una relación entre el andar bípedo de los seres humanos y la posibilidad de desarrollo cerebral de nuestra especie, describiendo también los principales cambios estructurales de nuestro cráneo, columna, pelvis y pies durante este proceso. Llama también la atención la gran lucidez con la que describe la progresiva especialización de nuestras manos y su relación con el bipedalismo, y cómo esto pudo determinar en gran medida nuestro destino y éxito como especie. Es necesario mencionar que la mayoría de estas ideas siguen siendo consideradas como probables aún hoy en día, luego de casi 150 años después de haber sido propuestas.

## La domesticación

Darwin en *El origen de las especies* trata en su capítulo primero el tema de la domesticación y la selección artificial. Este mismo tema es desarrollado en un libro escrito con posterioridad (*La variación de los animales y las plantas bajo domesticación*). Es curioso que él notara ciertas características propias de las especies domésticas, como las orejas caídas, atribuyendo erróneamente este rasgo al desuso de los músculos de las orejas en las variedades dóciles. Casi un siglo después, científicos rusos que trabajaban con zorros (una especie considerada no domesticable) encontraron que este rasgo (orejas caídas) aparecía en individuos propensos a la domesticación, junto con otras características propias de los fenotipos más dóciles dentro de una población. Algunos de estos rasgos resultan bastante sorprendentes y a la vez familiares a aquellos conociédores de las diversas razas de perros. Por ejemplo, en muchos individuos aparecen manchas de distinto color en la piel (rasgo común a varias especies domésticas, entre ellas vacas, caballos, cerdos), colas más cortas, con un número menor de vértebras y una tendencia a curvarse sobre el lomo, como ocurre en algunas razas de perros.



▲ Caricaturas como estas dan cuenta de la resistencia originada como respuesta ante las ideas de Darwin sobre la evolución humana.

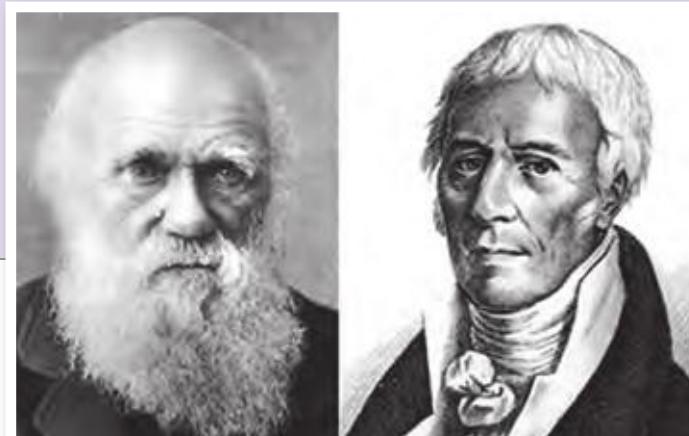


▲ Dmitry Belyaev, científico ruso, demostró que mediante la selección artificial era posible obtener zorros de comportamiento dócil y que presentaban cambios físicos evidentes, como las orejas caídas, característica directamente relacionada con conductas de sumisión en los perros.

Otra cosa que Darwin anticipó, sin tener una explicación para ello, fue el hecho de que la selección de ciertas características producía cambios en otras no seleccionadas. Lo que Darwin no sabía y recién comienza a dilucidarse es que muy probablemente ciertos genes asociados con la domesticación tienen efectos complejos, capaces de afectar varios caracteres en forma simultánea. Además, determinados genes son comunes a especies domesticables y presentan mutaciones capaces de producir alteraciones en el comportamiento y apariencia de los individuos en los que se encuentran. Finalmente, algunos de estos genes han sido encontrados en nuestro genoma, y podrían en parte explicar nuestra historia evolutiva, puesto que se relacionan directamente con conductas más dóciles y gregarias que podrían dar cuenta de la tendencia social de los seres humanos.

### Darwin y Lamarck, ¿qué tan distintas eran sus ideas?

La diferencia fundamental entre Darwin y Lamarck radica en que este último atribuía el cambio de las especies a una voluntad de ascender en la escala de la naturaleza, en tanto que Darwin lo atribuía a la constante selección de los individuos más aptos, proceso que llamó selección natural. En cuanto a la transmisión de las características entre generaciones, ambos pensaban que parte de los cambios ocurridos durante la vida de un individuo se transmitían a su descendencia: herencia de los caracteres adquiridos.



## Lo que Darwin no pudo explicar

En la época en que Darwin escribió su obra se desconocían muchas de las estructuras y procesos biológicos necesarios para explicar la forma en la que operaba la evolución. En ese tiempo, la mayoría de los científicos no eran capaces de explicar los patrones hereditarios, atribuyendo en forma arbitraria, y muchas veces tendenciosa, lo observado a distintos tipos de explicaciones, pero sin ser capaces de dar cuenta de todas las observaciones. Los mecanismos de la herencia todavía esperaban por ser dilucidados. Los trabajos realizados por el monje agustino Gregor Mendel, capaces de explicar los patrones de la herencia, aun cuando habían sido realizados con anterioridad, no fueron re-descubiertos sino hasta el año 1900. Darwin nunca pudo descartar completamente, al menos como una explicación alternativa, los postulados de Lamarck acerca del uso y desuso de los órganos como parte de la explicación del origen de la variabilidad entre los individuos de una población y la herencia de los caracteres adquiridos para explicar el traspaso de características entre padres e hijos.

En la época de Darwin, muchos de los conocimientos, estructuras, conceptos y procesos que hoy conocemos, tales como la estructura celular y nuclear, las mutaciones, la reducción del material genético durante la meiosis y su restitución durante la fecundación, eran todos desconocidos y tuvieron que pasar varias décadas antes que el gran puzzle pudiera ser ordenado. Las ideas actuales sobre evolución han sido enriquecidas por estos nuevos conocimientos e ideas, particularmente las que tienen que ver con la genética a nivel molecular, de los individuos y las poblaciones, los cuales dieron finalmente origen a lo que se conoce como la **síntesis moderna o teoría sintética de la evolución**.

# La teoría sintética o síntesis moderna

Luego que Darwin presentara su teoría de la evolución por selección natural, aun entre aquellos que aceptaban la idea de la evolución, los mecanismos y procesos propuestos fueron objeto de debate. Algunos, como **Alfred R. Wallace** y **August Weismann**, no creían en la herencia de los caracteres adquiridos que Darwin había aceptado. Weismann descubrió los **cromosomas** y propuso que transportaban la **información hereditaria**. A su vez, pensaba que este material hereditario **no era afectado** por los cambios ocurridos durante la vida de los organismos. Weismann, además, postuló que era la **reproducción sexual** la responsable de generar **variabilidad** al interior de las especies al combinar la información de los progenitores.

Otros dudaban que la **selección natural**, actuando de manera gradual, fuera capaz de generar nuevas especies. **Thomas H. Huxley**, a partir de la interpretación del registro fósil, propuso que la evolución ocurría **a saltos**, y que grupos completos de especies “aparecían” sin una transición clara con formas anteriores. La “explosión cámbrica” es un buen ejemplo de esto, ya que en los estratos precámbricos la vida estaba prácticamente ausente y luego aparecía una gran diversidad de formas de vida. El descubrimiento de las **mutaciones** entregó un posible mecanismo biológico para la ocurrencia de estas “transiciones relativamente bruscas” y surgió el **saltacionismo** (evolución a saltos).

El redescubrimiento del trabajo de **Gregor Mendel**, en el año 1900, por **Hugo de Vries** y **Carl Correns**, ayudó a sentar la **base genética de la herencia**. En un inicio, la herencia mendeliana parecía apoyar la variación discontinua y, por lo tanto, las ideas saltacionistas.

**Thomas H. Morgan**, que trabajó con mutaciones en la especie *Drosophila*, aportó en un inicio con sus ideas al saltacionismo y posteriormente ayudó a entender cómo se generaba variabilidad al interior de las especies al mostrar que en general las mutaciones no originaban nuevas especies. Al unirse con las ideas de Weismann sobre la participación de los cromosomas en la transmisión de la herencia, y de la reproducción sexual en la generación de la variabilidad, comenzó a esbozarse una respuesta a las preguntas que Darwin no pudo contestar con respecto a la **generación de variabilidad** dentro de las especies y a la **transmisión de las características hereditarias** entre generaciones.

El desarrollo de la genética de poblaciones por parte de **Ronald A. Fisher**, **John B. S. Haldane** y **Sewall Wright** permitió demostrar que la **selección natural** era capaz de generar **cambios de frecuencias en los genes** al interior de las poblaciones y que estos podían explicar la **aparición de nuevas especies**.

En la década de 1930 comenzó a gestarse lo que se conoce como **teoría sintética de la evolución** o **síntesis moderna** que integró estos avances con los aportes de numerosos científicos, como **Theodosius Dobzhansky**, discípulo de Morgan, **Ernst Mayr** y **Julian Huxley**, nieto de Thomas Huxley, quien fue el primero en utilizar el término síntesis moderna.

## Ampliando MEMORIA

Originalmente, el término **neodarwinismo** fue utilizado para referirse a la teoría de la evolución defendida por Wallace y Weismann, quienes negaban las ideas propuestas por Lamarck. Posteriormente, este nombre ha sido utilizado como sinónimo de la teoría sintética o síntesis moderna, la cual incluye además los aportes de la genética.

## Para GRABAR

La teoría sintética de la evolución incluye las ideas de Darwin acerca de la selección natural, el descubrimiento de las mutaciones, y los aportes de la genética mendeliana y de poblaciones.

Los **cambios** que ocurren en las especies pueden ser explicados por la **aparición de mutaciones** al interior de las poblaciones y las **variaciones en las frecuencias génicas**, mediante la **selección natural**.

En síntesis, la evolución se puede explicar sobre la base de la **acumulación de mutaciones favorables** preservadas por la selección natural.

## Ejemplo de evolución por selección natural según la teoría sintética



1. En los conejos silvestres existen dos alelos diferentes (formas en que se expresa un gen) para el color del pelaje: el **A**, que determina el color oscuro y el **a**, que determina el color blanco.



2. Si no existiese selección natural, los conejos invadirían la Tierra y acabarían muriendo por falta de recursos.



3. Los conejos que llevan el alelo **A** (**AA** y **Aa**) son de pelaje oscuro, lo que le confiere a estos individuos la posibilidad de dejar más descendientes que aquellos que no poseen ese alelo (los de pelaje blanco **aa**).



4. Generación tras generación, el alelo **A**, responsable del pelaje oscuro, será cada vez más frecuente en la población; mientras que el alelo **a** irá disminuyendo su frecuencia, pudiendo llegar a desaparecer.

# Algunas implicancias de la obra de Charles Darwin

## Aspectos éticos, sociales y culturales relacionados con ciencia y tecnología

El libro *Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural, o la preservación de las razas favorecidas en la lucha por la existencia*, de Charles Darwin, ha sido probablemente una de las obras de mayor importancia en la historia de la biología. En este libro, Darwin intenta dar cuenta del origen de las especies, tema que hasta entonces había sido llamado “el misterio de misterios” y que se encontraba en la base de una discusión que trascendía el ámbito de las ciencias. Sin embargo, su relevancia no se restringe al terreno de la biología. Sus **implicancias científicas, religiosas, sociales y económicas** han sido vastas.

En esta doble página veremos un ejemplo de la aplicación de los postulados de Darwin en las ciencias sociales y políticas y algunas de las consecuencias que esto tuvo en nuestra historia.

### Eugenésia: la perversión de una teoría científica

La historia de la humanidad ha estado plagada de perversiones, abusos y crímenes sugeridos, avalados y desarrollados en nombre de la política, la religión y la ciencia. Ejemplos con motivaciones **político-sociales** se pueden encontrar en la historia de todos los pueblos y naciones. Durante las innumerables guerras, revoluciones como la bolchevique, china, cubana, francesa o en golpes de Estado como los ocurridos en Argentina, Chile, España, entre otros, se cometieron atrocidades difíciles de enumerar. Durante las guerras santas, las cruzadas y la Inquisición, en tanto, se vivieron abusos y crímenes con motivos **religiosos**.

Los cometidos en nombre de la **ciencia** tampoco han sido escasos. Muchos programas de investigación, aún hoy en día, han sido implementados y financiados por razones bélicas. Ejemplos de esto son las líneas de trabajo desarrolladas para llevar a cabo una guerra química y biológica. Los “estudios” realizados en Alemania con seres humanos en los campos de la muerte, durante la Segunda Guerra Mundial, son otro ejemplo de crímenes contra la humanidad, en parte cometidos en nombre de la ciencia. Las teorías atómica y de la relatividad, en tanto, sirvieron de sustento conceptual, sin ser su objetivo, para el desarrollo de la bomba atómica.

La **teoría de la evolución** no estuvo ajena al desarrollo de **ideologías criminales** en el ámbito sociopolítico de inicios y mediados del siglo XX. Como en los otros casos, científicos conocidos participaron activamente como ideólogos e investigadores en estas iniciativas. Ejemplo de esto es el “darwinismo social”, que aplica los conceptos de la lucha por la existencia y de la “sobrevivencia del más fuerte” más allá del contexto biológico. Según esta visión, estos principios naturales se aplicarían al desarrollo de la estructura social. Bajo este prisma, el **libre mercado** y la **existencia de clases sociales** serían una consecuencia natural de la evolución de nuestra especie. Esto además podría validar científicamente la aparición de fenómenos como la competencia entre individuos, grupos sociales y naciones.

A partir de la noción de la evolución como premisa (lucha por la existencia) se desarrolló la idea de que los seres humanos podíamos y debíamos controlar nuestro destino evolutivo. Según esto, algunos científicos plantearon la “obligación” que teníamos como especie de **mejorar nuestras características biológicas**, particularmente aquellas relacionadas con nuestras capacidades intelectuales o físicas, con el objetivo de garantizar el futuro de la especie.

La ciencia de la **biometría o bioestadística** surgió como resultado de los intentos de entender y predecir matemáticamente cómo se comportaban diversas características en las poblaciones (y en las especies) ante mecanismos de selección y la posibilidad de pronosticar los resultados evolutivos de los procesos de selección que estaban operando sobre ellas.

Tomando como base los conceptos de la **lucha por la existencia**, la **sobrevivencia de los más aptos** y la posibilidad de **evolución direccional** de las características hereditarias, los denominados **eugenésicos** proponían la reproducción diferencial de nuestra especie, privilegiando a los “más aptos” (eugenesia positiva) o restringiendo la reproducción de los “menos aptos” (eugenesia negativa). Esto en la práctica significaba implantar programas de **reproducción selectiva**.

Los fundadores de la biometría, Galton, Pearson y Fisher, fueron todos partidarios y promotores de programas eugenésicos en Inglaterra al alero de universidades como Cambridge y de prestigiosos institutos de investigación. Sus ideas sirvieron además de inspiración a otros muchos científicos y pseudocientíficos de la época para promover dichas ideas en otras naciones. Estados Unidos fue el primer país del mundo en implantar programas eugenésicos de **esterilización obligatoria**. Entre los años 1907 y 1963 se esterilizó a más de 60.000 personas, principalmente a los considerados “débiles mentales”. En algunas instituciones psiquiátricas esto se llevó al extremo al implementar programas de eutanasia mediante la administración de leche infectada con tuberculosis como una forma de “muerte piadosa” de los menos aptos.

El caso de Estados Unidos sirvió de inspiración y ejemplo para otros países. Fue así como a mediados del siglo XX la mayor parte de los Estados nórdicos estudiaron o implantaron programas eugenésicos (eugenesia negativa) con el fin de mejorar su población. En Alemania, donde científicos como Haeckel adhirieron a estas ideas, se implantaron programas eugenésicos que esterilizaron a más de 300.000 personas entre los años 1933 y 1939. Durante la aplicación de estos programas se esterilizó no solo a personas con problemas mentales y físicos, sino también a algunos que sufrían epilepsia, sordera, ceguera y otras enfermedades hereditarias e incluso a personas alcohólicas. A partir de 1939, la eugenesia se sustituyó por un programa de eutanasia, que durante la Segunda Guerra Mundial culminó con programas de exterminio masivo en los campos de concentración, también conocidos como **campos de la muerte**.

La historia de la humanidad ha estado plagada de abusos y crímenes, algunos cometidos en nombre de ideales que están sesgados según el prisma con el que se miran. Esto ha hecho que muchas personas, incluso algunos considerados genios, hayan participado activamente en dichas atrocidades. En este caso, el objetivo de mejorar nuestra especie y nuestras posibilidades a futuro podría parecer razonable. ¿A quién no le gustaría un mundo en el que no hubiese enfermedades, en el que tuviéramos el máximo de las capacidades posibles en todos los ámbitos que pudiéramos pensar o desear? Sin embargo, si esto se hace a partir de la discriminación o la eliminación de otras personas es **inaceptable moralmente**.

Todos tenemos un **derecho irrenunciable a la vida**; sin importar cuáles sean las consideraciones, **nadie tiene derecho a tomar una vida humana**. Además, biológicamente hablando, algunas características que bajo ciertas circunstancias aparecen como **negativas**, al cambiar las condiciones ambientales pueden resultar adaptativas. Tal es el caso, por ejemplo, de la anemia falciforme, enfermedad hereditaria que causa una salud disminuida en las personas infectadas, pero que en ambientes donde está presente la malaria constituye una **condición favorable** ante la infección.

Aún en los tiempos modernos, estas ideas y otras, que parecían superadas, **vuelven a aparecer** con nuevos matices y partidarios cada cierto tiempo. Por ejemplo, en Singapur, una sociedad caracterizada por el crecimiento económico y el orden social, y que es tomada como referente por muchos países en el mundo, ha habido intentos por establecer programas eugenésicos en pleno siglo XXI.



▲ Grupo de niños judíos junto a una alambrada del campo de concentración de Auschwitz una vez liberados.

### Ampliando MEMORIA

En Estados Unidos, variadas instituciones participaron de investigaciones con fines eugenésicos creando registros, institutos y promoviendo programas de mejoramiento genético humano en varios estados. Esto se realizó en asociación con instituciones prestigiosas, como la Rockefeller Foundation y la Carnegie Institution for Science.

Al igual que en Estados Unidos, en Alemania muchas instituciones y personas consideradas como referentes dentro de la sociedad participaron activamente de estos procesos, muchas veces cooperando y sacando partido de las circunstancias. Empresas como IG Farben, por ejemplo, utilizaron como esclavos a los prisioneros de Auschwitz.

### Actividad

1. Considerando hipotéticamente que no hubiesen límites tecnológicos para intervenir el genoma humano, ¿cómo podríamos establecer los límites éticos para decidir hasta dónde intervenir?
  - a. A nivel individual?
  - b. A nivel de nuestra descendencia?
  - c. A nivel de especie? **Reflexionen** grupalmente.

# Otros mecanismos de evolución

Hasta ahora hemos visto que la **teoría de la evolución** es un **proceso** que ha permitido **explicar**, sin invocar poderes sobrenaturales, la **aparición de nuevas especies**, que fue la gran pregunta sobre la cual estos conceptos fueron desarrollados. También discutimos que la **selección natural** es un **mecanismo** probable del proceso de cambio evolutivo. Sin embargo, debemos recordar que la selección natural no da cuenta de todos los fenómenos y en sí misma no logra responder todas las preguntas relacionadas con la evolución de las especies.

Sabemos también que la **síntesis moderna** surgió a partir de los avances en el área de la genética y que con ella dos de las principales preguntas que Darwin no pudo responder han encontrado respuesta: **qué genera la variabilidad** al interior de las poblaciones y **cómo se transmiten las características** a la descendencia.

Ahora discutiremos sobre algunos de los mecanismos de cambio genético que, cuando actúan sobre una población, provocan **modificaciones en la frecuencia de los alelos** presentes en ella. Estas modificaciones eventualmente culminan en la **diferenciación de las poblaciones** hasta formar **especies distintas**.

## Mutación



▲ Mutantes para el color de ojos en *Drosophila melanogaster*.

Todos los procesos de multiplicación celular, responsables del crecimiento de los organismos y los de reproducción, requieren que la **información genética sea duplicada**. Pero durante la duplicación de los genes pueden ocurrir errores en la lectura de las secuencias o alterarse su ordenamiento. Estos errores se conocen como **mutaciones**, las que pueden modificar la información que codifica para algunas características o la forma en que estas se expresan, lo que genera **variabilidad al interior de las poblaciones**.

Las mutaciones pueden afectar las **líneas celulares somáticas**, involucradas en el crecimiento, o las **germinales**, responsables de la producción de gametos. Cuando las mutaciones ocurren durante la vida del individuo y solo afectan a la línea somática, esos cambios no son transferidos a la descendencia. Si las mutaciones afectan a la línea germinal, ya sea porque ocurren muy temprano en el desarrollo, afectando la línea somática y germinal, o solo se producen en la línea germinal, estas modificaciones son traspasadas a la descendencia.

La **mutación** en sí misma es la **fuente primera de variabilidad**, ya que da cuenta de la aparición de nuevas variantes (alelos) de los genes. Por lo general, y tal como observara Morgan en su tiempo, la presencia de mutaciones por sí solas (sin mediar otros procesos) **no es suficiente para explicar la aparición de nuevas especies**. Salvo algunos casos extremos de reordenamiento genético, como cambios de ploidía, delecciones, duplicación o fusión de cromosomas, podrían dar origen a nuevas especies.

## Recombinación y crossing-over

Durante la formación de las células sexuales o gametos ocurre la **meiosis**, proceso durante el cual la dotación cromosómica diploide se reduce a la mitad al **separarse en forma independiente** unos de otros los **pares de cromosomas homólogos**. Como resultado de esto, los cromosomas provenientes de cada uno de los progenitores se pueden combinar en los gametos, proceso que se conoce como **recombinación**. Además, durante la meiosis los cromosomas homólogos pueden **intercambiar** parte de su material genético, proceso conocido como **crossing-over**.

Ambos mecanismos **generan variabilidad** al permitir **combinar características de los dos progenitores en la descendencia**.

## AYUDA

Actualmente sabemos que la información genética es la responsable de un gran porcentaje de las características de los seres vivos. Conocemos también que esta información genética está contenida en el **núcleo** de las células en unas estructuras llamadas **cromosomas**. Estos, a su vez, están formados por una macromolécula llamada **ADN**, en la cual, a partir de la combinación de cuatro nucleótidos, está codificada toda la información. Algunas de estas secuencias, a las cuales llamaremos **genes**, codifican información que determina características particulares.

## Deriva génica

La deriva génica es un proceso de **cambio aleatorio en la frecuencia de alelos** de una **población** a través de las **generaciones**. Como este es un cambio azaroso, generalmente carece de ventaja adaptativa o incluso puede llegar a resultar perjudicial. La deriva génica, a diferencia de la selección natural, actúa tanto sobre características fenotípicas potencialmente adaptativas, las que son **objeto de selección** (por ejemplo, caracteres visibles) como sobre características neutras con respecto a la selección, las que no son **ni favorables ni perjudiciales**, e incluso actúa sobre secuencias no codificantes de ADN.

La deriva génica afecta siempre a todas las poblaciones; sin embargo, su magnitud depende principalmente del **tamaño de la población reproductora**, ya que los acontecimientos aleatorios pueden causar cambios de magnitud relativamente mayores en una población pequeña, donde es más probable que un alelo de baja frecuencia se pierda. De esta manera, la deriva génica tiende a reducir la **variación genética** dentro de una población.

¿Cómo se pueden ver los efectos de la deriva génica? Cuando un grupo de organismos coloniza un lugar nuevo o cuando quedan muy pocos individuos supervivientes dentro de una población debido a fluctuaciones ambientales, estos poseen solo una pequeña parte de la variabilidad genética que había en la población original y a medida que aumenta el número de individuos, como resultado de su cruce, la población adquiere una composición genética distinta de la que había en la población inicial.

## Flujo génico

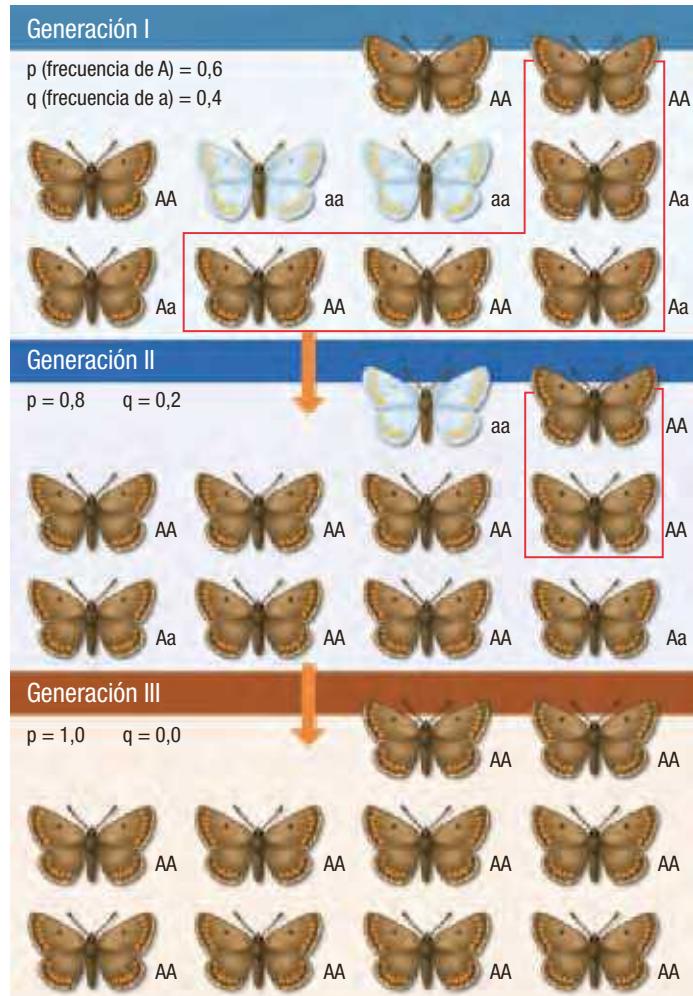
El flujo génico, determinado por la **salida o entrada de genes a una población**, también puede ser un mecanismo importante de cambio. Sin embargo, también es uno de los mecanismos más importantes en la **mantención de las poblaciones** como **miembros de una misma especie**, ya que mientras este flujo no se ve interrumpido, los cambios que ocurren en una población son transmitidos a las otras. Al interrumpirse el flujo génico entre poblaciones, la posibilidad de **divergencia** aumenta si estas se ven sometidas a condiciones distintas (procesos selectivos divergentes) o si son afectadas por la deriva génica, con lo que se van convirtiendo en poblaciones distintas.

## Apareamiento no aleatorio

En el apareamiento no aleatorio o no azaroso, que es lo que ocurre en la práctica en la naturaleza, los individuos escogen a otro con quien reproducirse a partir de la selección de ciertas características fenotípicas que están presentes en la población. Esta **selección sexual** es un tipo de apareamiento no aleatorio, pero no es el único. Otros ejemplos son la **endogamia**, reproducción entre individuos emparentados, y la **autofertilización**, mecanismo reproductivo que ocurre en algunas plantas, como las arvejas de Mendel, y en animales de tipo hermafrodita, como las tenias.

### Para GRABAR

Todos los mecanismos de evolución al actuar sobre una población provocan **modificaciones en las frecuencias alélicas**, las que producen los cambios genéticos que pueden resultar en la diferenciación de esta población hasta **generar una nueva especie**.



▲ En este ejemplo de deriva génica se representa la fijación de un alelo en tres generaciones. Las líneas rojas señalan la fracción de individuos de la población que se reprodujeron en las dos primeras generaciones. En este caso, como resultado azaroso de los cruces, en la generación III el alelo A se encuentra presente en homocigosis en todos los individuos de la población.

## AYUDA

Una característica genética es **seleccionable u objeto de selección** cuando su manifestación fenotípica presenta algún **valor adaptativo**, es decir, le confiere al organismo que lo posee una **ventaja** o una **desventaja** con respecto a los organismos que no lo presentan.

Algunas características genéticas, aun cuando se manifiestan fenotípicamente, no producen ni ventajas ni desventajas a los organismos que las presentan y son, por lo tanto, **neutrales en términos de selección**.

# Evidencias de la evolución

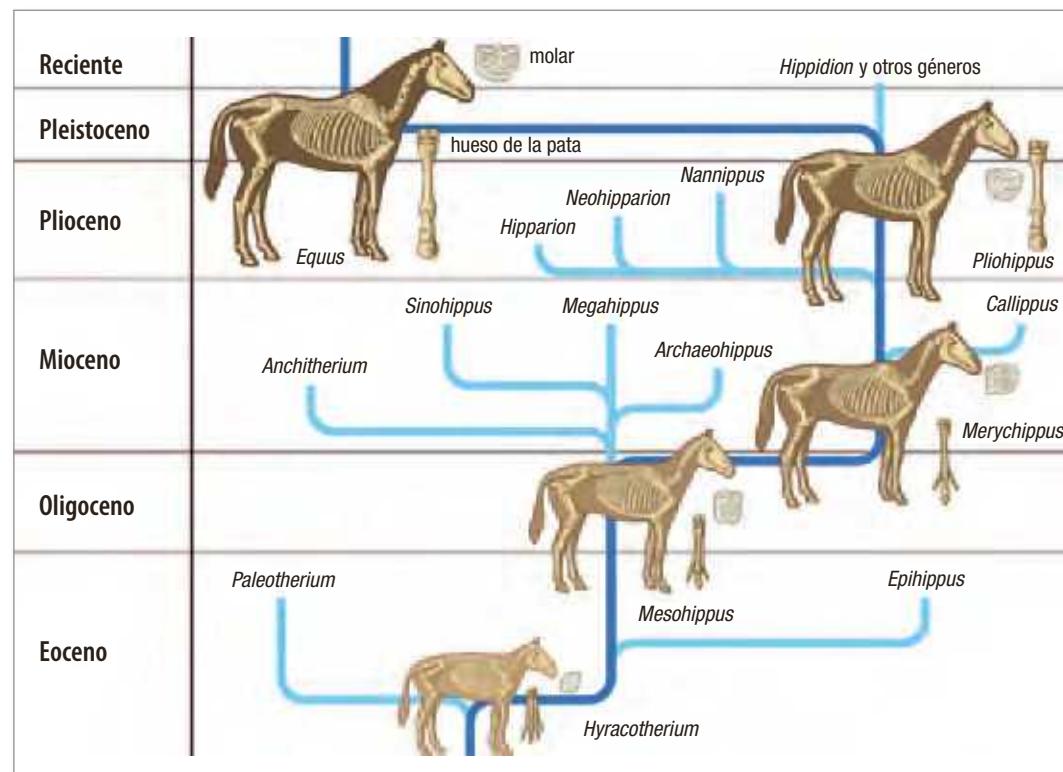
## Evidencias paleontológicas

El **registro fósil** muestra un claro aumento en los niveles de complejidad de los organismos a través de la historia de la vida en la Tierra. Además, en muchos casos, tal como observara Darwin en la Patagonia argentina, existen semejanzas entre formas extintas y actuales, lo que hace pensar en relaciones de parentesco entre las especies.

El descubrimiento de especies con características intermedias, también llamadas **formas de transición entre especies**, como lo que ha ocurrido en la evolución de las ballenas, o entre **grupos de especies supuestamente emparentadas**, como lo sucedido entre los reptiles y mamíferos, sirve de apoyo a la idea de evolución. Las series de transición, formadas por todas las especies o formas transicionales de una especie o grupo de especies, entregan mucha información acerca de la **secuencia** y la **forma** en que ocurrieron los cambios.

Los métodos de **datación** permiten estimar la **antigüedad de los fósiles** y con ello se puede establecer una idea del tiempo que transcurrió entre las formas de transición. A su vez, la datación permite comparar fósiles de diferentes lugares y asociar restos de distintas especies, con lo que se pueden, además, describir algunas de las condiciones ecológicas de los ambientes en los que estas vivían.

Uno de los casos mejor estudiados corresponde al de la **evolución del caballo**. El registro fósil para esta especie abarca unos 50 millones de años. La evidencia indica que los caballos actuales habrían evolucionado a partir de herbívoros pequeños que posiblemente habitaban ambientes boscosos y se alimentaban principalmente de ramas. Entre los cambios anatómicos más importantes figuran la reducción del número de dedos (de cuatro a uno) y el aumento de tamaño desde animales semejantes a perros de mediano tamaño hasta los caballos que conocemos actualmente.



Gracias al registro fósil se ha logrado estudiar la evolución del caballo a través del tiempo, comenzando su registro hace unos 50 millones de años atrás. El árbol propuesto es una representación de las relaciones establecidas según la evidencia disponible.



▲ El trilobites es un artrópodo fósil característico del Paleozoico.



▲ Los pterosaurios fueron un grupo de reptiles voladores que llegaron a alcanzar 12 metros de envergadura.



▲ El *Archaeopteryx* tenía plumas y pico como las aves, pero este poseía dientes y los dedos de las extremidades anteriores acababan en uñas.



▲ Huellas fosilizadas de dinosaurio.

## Evidencias anatómicas

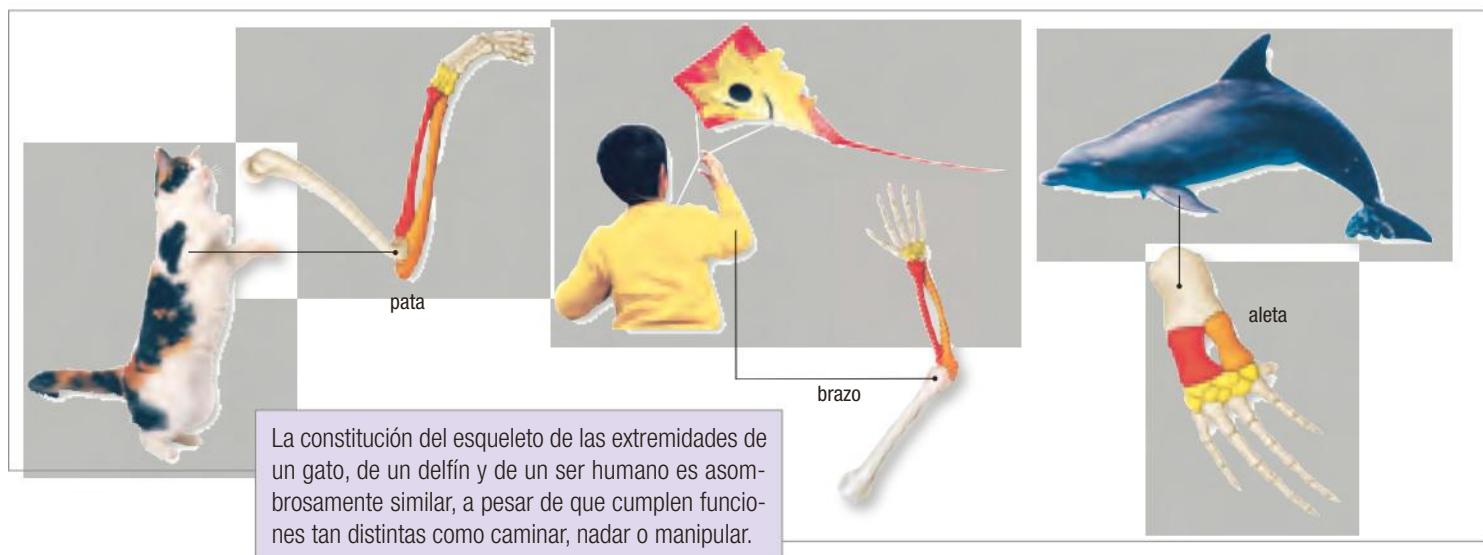
La evolución biológica se basa en el principio de **descendencia con modificación**. Si las variaciones se manifiestan en la anatomía o morfología de los organismos, entonces puede ser posible estudiar los cambios ocurridos a través del tiempo mediante el estudio de las especies actuales y/o el registro fósil de especies posiblemente relacionadas. El estudio de la **anatomía comparada** permite inferir relaciones entre las especies a partir de la existencia de estructuras afines en los organismos.

- **Órganos homólogos**

Son estructuras que poseen un **origen embrionario común** y pueden, o no, compartir forma y función, como las aletas de un delfín y el brazo de una persona. Si estos órganos tienen un origen embrionario común, es muy probable que al menos parte de sus estructuras sean **semejantes**. Este parecido será mayor mientras más cercanas sean las especies estudiadas.

### Ampliando MEMORIA

Curiosamente, aun cuando la anatomía comparada es uno de los mayores apoyos a la teoría de la evolución, uno de los principales anatomistas comparados, el francés Georges Cuvier, fue un creacionista-fijista y enérgico opositor a la idea de evolución propuesta por Lamarck. Posteriormente, el inglés Richard Owen, también anatomista comparado, aun cuando era evolucionista se opuso a la idea de la selección natural propuesta por Charles Darwin.



Los **órganos análogos**, por su parte, tienen un origen embrionario distinto, pero comparten su función, como las alas de una mariposa y las de un ave. Estas estructuras no tienen mucha utilidad al establecer relaciones de parentesco entre las especies, a menos que habiéndose pensado que eran homólogas se descubra que son estructuras análogas.

- **Órganos vestigiales**

Como su nombre lo dice, son estructuras que aparecen como **vestigios u órganos atrofiados** en las especies, generalmente sin una función clara, como las muelas del juicio, el apéndice o el tubérculo de Darwin en humanos. Los órganos vestigiales llamaron la atención de Buffon, haciéndolo pensar en la posibilidad de cambio al interior de las especies. Lamarck, en tanto, atribuye su existencia al uso y desuso, principio que actualmente sabemos que no es correcto. Los órganos vestigiales, sin embargo, muchas veces logran dar cuenta de relaciones entre especies lejanamente emparentadas, en las que ciertos órganos pueden haberse reducido en tamaño, función o ambos, pero cuya presencia indica un origen común.



▲ El tubérculo de Darwin es un engrosamiento del borde de la oreja presente en muchos seres humanos y que se interpreta como un vestigio de la punta de la oreja, característica común en distintos mamíferos.

## Evidencias embriológicas

Muchos grupos de organismos presentan características comunes en etapas tempranas de desarrollo. Esto se puede explicar a partir de las relaciones de parentesco entre las especies, las cuales compartirían ciertos patrones de desarrollo debidos al origen común y diferirían en aquellos que constituyen las variantes entre ellas.

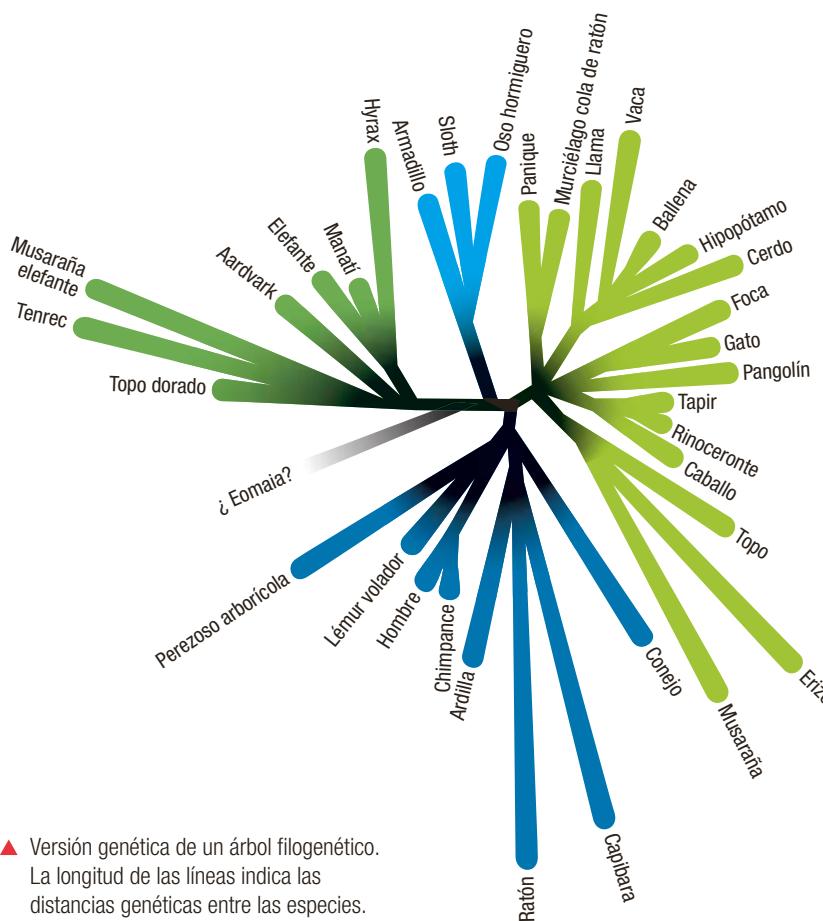
Aun cuando este principio todavía es aceptado, se sabe que las primeras descripciones de estas semejanzas hechas por Ernst Haeckel fueron exageradas.

Que organismos tan diferentes, como un anfibio y un mamífero, comparten fases del desarrollo embrionario tan similares se debe a que ambos han heredado los patrones de desarrollo de un antecesor común.



## Evidencias bioquímicas

Muchos de los avances recientes en **biología molecular** permiten reafirmar la existencia de cambio evolutivo **al interior de las especies** y establecer relaciones de parentesco **entre especies diferentes**.



▲ Versión genética de un árbol filogenético. La longitud de las líneas indica las distancias genéticas entre las especies.

Las **proteínas** son macromoléculas formadas por aminoácidos, cuyo orden de secuencia es determinante tanto en su forma como en su función. Un cambio en la secuencia aminoacídica muy probablemente producirá una alteración que puede hacer que la proteína no sea funcional. Proteínas que resultan críticas para ciertos procesos biológicos, como la hemoglobina, tienden a ser conservadas, es decir, presentan muy pocas variaciones entre las especies, lo cual las convierte en buenos marcadores de cambio evolutivo.

El **ácido desoxirribonucleico** (ADN) constituye la base de la información genética de todos los seres vivos. Está formado por secuencias codificadas muy precisas, cuyas alteraciones se conocen como mutaciones. El ADN controla todas las funciones celulares, entre ellas la formación de proteínas. El desarrollo de las técnicas de secuenciación de ácidos nucleicos ha permitido el estudio del genoma de las especies con un nivel de resolución mayor que lo que permite la investigación de las proteínas. Distintas porciones del ADN poseen diferentes tasas de mutaciones. Algunas zonas son altamente variables, lo que permite detectar, por ejemplo, diferencias entre padres e hijos, y otras son bastante conservadas, lo que posibilita encontrar diferencias y similitudes entre especies o grupos de especies con distintos niveles de parentesco.

**A**ctividad

1. A continuación se presenta una secuencia parcial del gen para la hemoglobina en distintas especies.

<b>Vaca</b>	GCTGCACTGT	GATAAGCTGC	ACGTGGATCC	TGAGAACTTC
<b>Chimpancé</b>	GCTGCACTGT	GACAAGCTGC	ACGTGGATCC	TGAGAACTTC
<b>Gallina</b>	ACTGCATTGT	GACAAGCTGC	ATGTGGACCC	CGAGAACTTC
<b>Cabra</b>	GCTGCACTGT	GATAAGCTGC	ACGTGGATCC	TGAGAACTTC
<b>Rana</b>	GAAGCACCGT	GAGGAACCTCC	ACGTGGACCC	TGAAAACCTTC
<b>Ser humano</b>	GCTGCACTGT	GACAAGCTGC	ACGTGGATCC	TGAGAACTTC

- a. **Identifica** las diferencias en la secuencia de bases nitrogenadas y a partir de eso **determina** el grado de homología que hay para el mismo gen en las especies que se están comparando.
- b. Considerando un ancestro común, ¿qué especies estarían más emparentadas a partir de sus coincidencias para este gen?
- c. ¿Te hace sentido el resultado encontrado? ¿Será posible extrapolar este resultado al resto del genoma? **Reflexionen** en grupos.

## Evidencias biogeográficas

Por lo general, las especies de regiones geográficas más cercanas comparten más semejanzas entre sí que con aquellas de zonas apartadas.

La existencia de regiones biogeográficas con grupos zoológicos y botánicos bien diferenciados y característicos, a la luz de los postulados creacionistas, había sido interpretada como una evidencia de la creación especial de especies adaptadas a las condiciones de su entorno. Sin embargo, Darwin, de ideas creacionistas cuando se embarcó en el *Beagle*, comenzó a poner en duda la idea de la **creación especial**, en parte debido a los patrones biogeográficos que observó (relaciones entre las especies de islas y de sus continentes cercanos).



Bajo el prisma **evolucionista**, los patrones de distribución de las especies, actualmente alterados por la acción de los seres humanos, no solo resultan coherentes, sino que son capaces de explicar las posibles relaciones de parentesco entre especies.

▲ La separación de los continentes provocó el aislamiento de las especies y favoreció un proceso evolutivo por separado a partir de antecedentes comunes.

Al considerar la historia geológica de la Tierra, el análisis de los **patrones biogeográficos** tiende a apoyar la existencia de la evolución. Así, la **deriva continental** da cuenta de algunas interrogantes con respecto a la distribución de ciertas especies emparentadas en continentes que actualmente están separados. Por ejemplo, América del Sur y África en algún momento en la historia de la Tierra fueron parte del supercontinente Gondwana. Esto puede explicar ciertas similitudes entre especies en ambos continentes, cuyas diferencias se deberían a procesos de adaptación y cambio a través del largo tiempo en el que han estado separadas.

**A**ctividad

1. Observa la figura y luego responde.

- a. El monito del monte es un marsupial que habita en América del Sur, pero está emparentado con los marsupiales de Australia. ¿Cómo puede ser esto posible? **Explica**.
- b. **Investiga** sobre otras especies con las que ocurra el mismo fenómeno.



# A nalizando disco

## Evaluación de proceso

### I. Responde las preguntas de alternativas.

Darwin y selección natural

1. Su viaje alrededor del mundo le permitió a Darwin observar que:
  - I. Animales extintos no guardan relación con los actuales.
  - II. Los animales y las plantas están adaptados al ambiente que habitan.
  - III. Existe convergencia morfológica de organismos en ambientes similares.

A. Solo I.  
B. Solo II.  
C. Solo III.  
D. Solo I y III.  
E. Solo II y III.
2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre Darwin es incorrecta?
  - A. Encontró fósiles de organismos semejantes a los actuales.
  - B. Observó la adaptación de diversas especies a su ambiente.
  - C. Estudió distintas especies de tortugas en las islas Galápagos.
  - D. A partir de sus estudios determinó la edad geológica de la Tierra.
  - E. Recolectó fósiles de animales marinos en cordilleras alejadas del mar.
3. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones da cuenta de uno de los postulados de Darwin?
  - A. La reproducción es una ventaja evolutiva.
  - B. Solo las especies más fértiles evolucionan.
  - C. Los individuos de una especie luchan por la existencia.
  - D. La selección natural actúa sobre los que más se reproducen.
  - E. Las variaciones favorables de una especie tienden a desaparecer.

4. Entre las premisas de la teoría evolucionista de Darwin están:

- I. Los individuos dentro de una especie presentan variaciones.
  - II. Las especies no tienen más crías que las necesarias para su mantención.
  - III. Los individuos que presentan ventajas adaptativas producen mayor descendencia.

A. Solo I.  
B. Solo I y II.  
C. Solo II y III.  
D. Solo I y III.  
E. I, II y III.
5. ¿Cuál de las siguientes alternativas no es un postulado de la teoría de la evolución según Darwin?
  - A. Las especies cambian y se adaptan al ambiente.
  - B. Las especies tienden a producir crías en exceso.
  - C. Los individuos de todas las especies presentan variaciones.
  - D. Las variaciones favorables en cada generación tenderán a desaparecer.
  - E. Los individuos que presentan ventajas adaptativas dejan más descendencia.
6. Es incorrecto decir que el proceso de selección natural:
  - A. Actúa sobre todos los organismos.
  - B. Influye en el tamaño de las poblaciones.
  - C. Da cuenta de una competencia entre los individuos.
  - D. Se manifiesta en la cría artificial de animales y plantas.
  - E. Favorece a los individuos más aptos en un ambiente.
7. La teoría sintética de la evolución:
  - I. Incluye las ideas de Darwin y los aportes de la genética.
  - II. Considera el uso y desuso de los órganos como mecanismo evolutivo.
  - III. Explica los cambios en las especies por aparición de mutaciones en las poblaciones.

A. Solo I.  
B. Solo I y II.  
C. Solo II y III.  
D. Solo I y III.  
E. I, II y III.

**Otros mecanismos evolutivos****8. De la selección sexual podemos decir que:**

- I. No es al azar.
- II. Es un proceso natural de apareamiento aleatorio.
- III. Influye en la frecuencia alélica de las poblaciones.
- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y III.
- E. Solo II y III.

**9. Sobre el flujo génico podemos decir que:**

- I. No se puede ver interrumpido entre las poblaciones.
- II. Está determinado por la entrada y salida de genes a una población.
- III. Juega un papel importante para mantener a una población como parte de una especie.
- A. Solo I.
- B. Solo I y II.
- C. Solo II y III.
- D. Solo I y III.
- E. I, II y III.

**Evidencias de la evolución****10. ¿Cuál de las siguientes alternativas no es un ejemplo de evidencias de la evolución?**

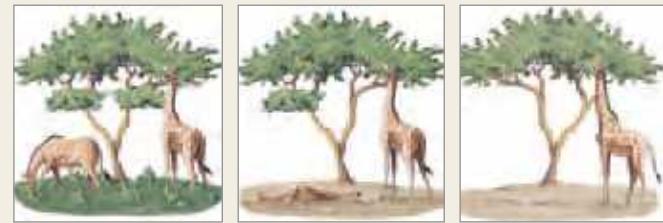
- A. La existencia de órganos homólogos.
- B. La generación espontánea de la vida.
- C. Los fósiles de organismos extintos.
- D. Las similitudes moleculares entre especies.
- E. Los patrones biogeográficos de distribución de especies.

**11. Los órganos vestigiales:**

- I. Están atrofiados o quedan vestigios.
- II. No siempre poseen una función clara.
- III. No aportan conocimiento evolutivo.
- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y II.
- E. Solo II y III.

**12. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es incorrecta con respecto a la evolución del caballo?**

- A. El registro fósil para esta especie data de unos 50 millones de años.
- B. Su historia se ha reconstituido a partir de evidencia paleontológica.
- C. El número de dedos de las extremidades se redujo de cuatro a uno.
- D. El tamaño ha ido disminuyendo hasta las dimensiones que conocemos hoy.
- E. Los caballos actuales habrían evolucionado a partir de herbívoros pequeños.

**II. Responde la pregunta de desarrollo.****Darwin y selección natural****13. Explica la siguiente secuencia de imágenes a partir de la teoría de selección natural propuesta por Darwin.****PISTAS**

En la unidad anterior vimos el ejemplo de la evolución de las jirafas según Lamarck. Desarrolla ahora este mismo caso, pero según las ideas de Darwin.

**Mi ESTADO**

Anota el nivel de logro de tus aprendizajes hasta ahora según la categoría de desempeño dada: 1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

Pude comprender los postulados de la selección natural y el aporte de Darwin al estudio de la evolución.  
(Preguntas 1 a 7 y 13).

Identifiqué diversos mecanismos de cambio genético que provocan modificaciones en la frecuencia alélica de las poblaciones.  
(Preguntas 8 y 9).

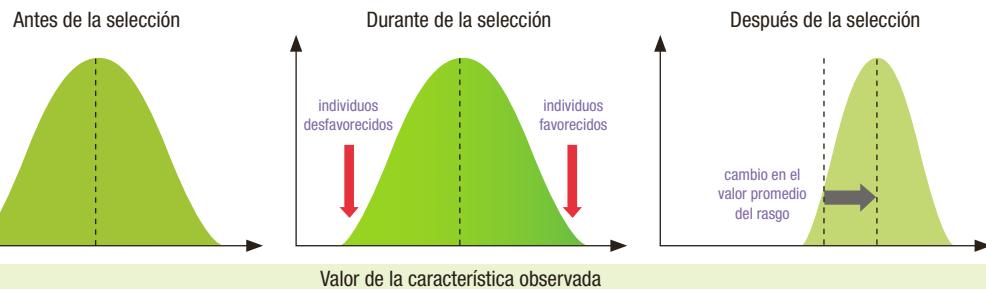
Conocí distintas evidencias que dan cuenta del proceso evolutivo.  
(Preguntas 10 a 12).

# Selección natural y especiación

La selección natural, como ya hemos mencionado, actúa sobre las poblaciones haciendo que aquellos organismos con **ventajas adaptativas** sean más exitosos en su reproducción y, por lo tanto, **transfieran a su descendencia** las características que resultan ser ventajosas. Las **fuerzas o presiones selectivas**, en tanto, están determinadas por aquellas **condiciones del medio ambiente**, biótico y abiótico, para las cuales la existencia de ciertas características fenotípicas resulte **ventajosa** o **perjudicial** para el organismo que la presenta e incida sobre su capacidad reproductiva.

## Tipos de selección

- **Selección direccional.** Este es probablemente el tipo de selección en el que pensamos más comúnmente. En este caso, **uno de los extremos poblacionales se ve favorecido** con respecto al otro para una determinada característica. El resultado es que los valores de esta característica en la población tienden a cambiar en la dirección del extremo favorecido y a disminuir en el desfavorecido. Por ejemplo, si una especie de ave se alimenta de semillas cuyos tamaños oscilan en un rango restringido, es probable que sus aparatos bucales presenten, a su vez, una distribución de tamaños que guarde relación con el de dichas semillas. Si por algún



motivo, por ejemplo, un aumento progresivo de las precipitaciones, se produce una mayor proporción de semillas de gran tamaño y una diminución de las pequeñas, las aves con aparatos bucales más grandes tendrán acceso a una cantidad mayor de recursos y probablemente se verán favorecidas en su reproducción. Por el contrario, las aves con aparatos bucales más pequeños se verán desfavorecidas y su reproducción posiblemente estará comprometida. Si el tamaño de los aparatos bucales es una característica heredable, es probable que estos sean más grandes en la nueva generación.

- **Selección disruptiva.** En este tipo de selección, los organismos que presentan los **valores extremos** de una característica (valores bajos y altos) **se ven favorecidos** con respecto a los que muestran valores intermedios (cercaos al promedio). El resultado de esto es que los extremos de la población tienden a aumentar y el centro a disminuir, generando una distribución bimodal y eventualmente dos subpoblaciones separadas. Este tipo de selección puede ocurrir, por ejemplo, si la oferta alimentaria para una especie de aves está dada por semillas de dos especies distintas de plantas, una con semillas pequeñas y otra con semillas grandes. Las aves con aparatos bucales de

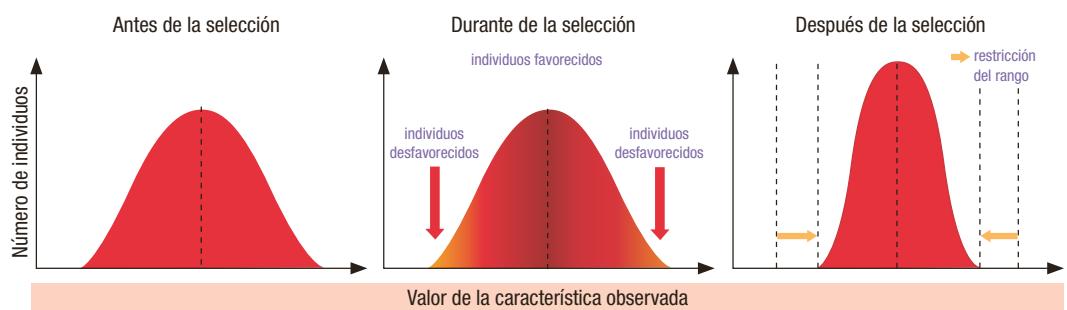


tamaños extremos se verán favorecidas con respecto a las de porte intermedio.

Este tipo de selección puede eventualmente culminar en **especiación** (surgimiento de nuevas especies) si ambas subpoblaciones **se diferencian** lo suficiente y se **aíslan genéticamente**.

- Selección estabilizadora o estabilizante.** En este tipo de selección pueden existir presiones selectivas negativas en ambos extremos de la distribución, o una presión selectiva positiva en el centro de esta, de forma tal que **la distribución del rasgo tiende a restringirse** en lugar de ampliarse.

Este tipo de selección ocurre cuando alguna variable importante para la supervivencia o reproducción de la especie posee límites letales en ambos extremos de su distribución y una **zona óptima en el centro de la misma**. Un ejemplo de esto se observa en los tamaños de los recién nacidos, los que se encuentran bajo una fuerte presión selectiva que **favorece los tamaños intermedios** por sobre los pequeños y grandes.



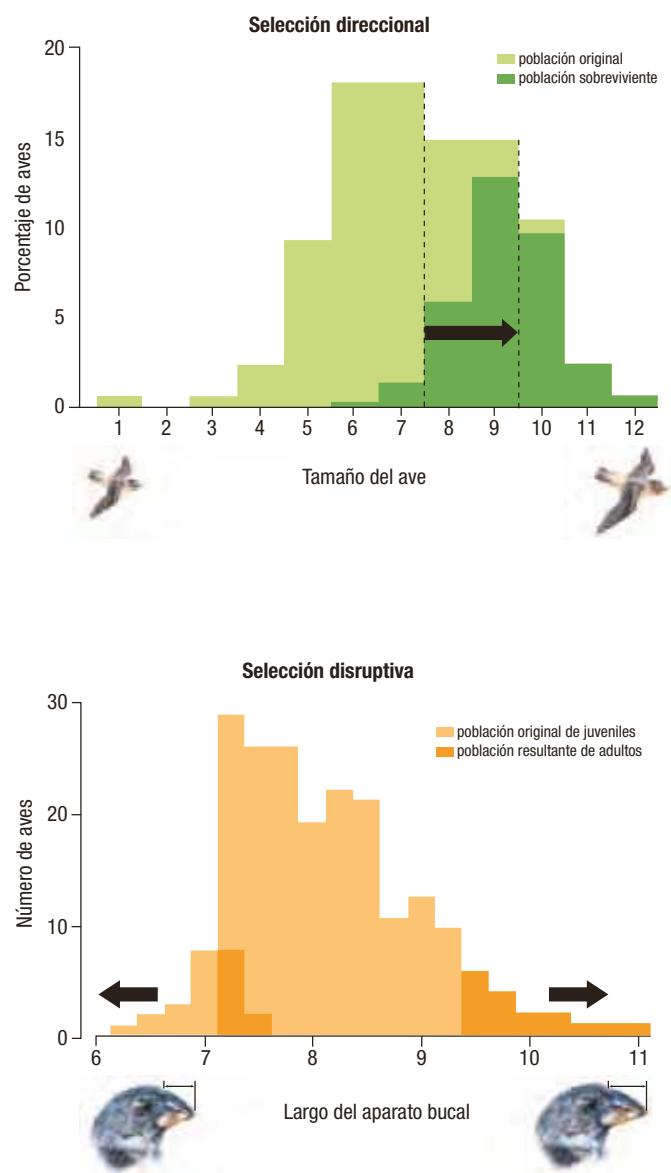
- Selección sexual.** Este es un tipo de selección natural en la cual los principales rasgos seleccionados no se relacionan con aumentos en la supervivencia de los organismos, sino con ciertas características anatómicas (que llamaremos rasgos sexuales), conductuales o biológico-reproductivas. Todas estas características en muchos casos no solo no aumentan la supervivencia de los organismos que los presentan, sino que pueden llegar a comprometerla. Tal es el caso de las especies cuyos machos tienen coloración vistosa o estructuras anatómicas que dificultan su movimiento, lo que los hace más susceptibles a la depredación. Esta mayor susceptibilidad, por su parte, agrega una presión selectiva que en cierta forma garantiza que solo aquellos capaces de sobrellevar esta mayor presión de selección sobrevivan y, por lo tanto, traspasen estos genes a su descendencia.



▲ La diferencia entre el macho y la hembra en estas especies es notable y se manifiesta principalmente por el tamaño de la cola y su colorido plumaje. Estas diferencias son el resultado de la selección sexual de rasgos presentes en los machos.

## Evolución: cambio filético y divergencia

Hasta ahora hemos dicho que la evolución está dada por cambios a nivel de las poblaciones y que estos eventualmente pueden producir especies nuevas (especiación). Hemos discutido también los tipos de selección y cómo estos afectan a las poblaciones.



**La selección direccional** tiende a hacer que las poblaciones cambien en un sentido, como es un aumento en el tamaño del aparato bucal. Si esto afecta a toda una especie (a todas sus poblaciones), diremos que ella está cambiando. A estas variaciones ocurridas en un linaje se les conoce como **cambios filéticos** y han sido ampliamente descritos en muchas especies y linajes. Como la mayor parte de los cambios son graduales y difíciles de observar, se manifiestan en el registro fósil. La dificultad de esto radica en la imposibilidad de saber a ciencia cierta si dichos cambios han producido una nueva especie y en qué momento. Por ejemplo, al analizar el registro fósil de la evolución de los caballos es posible observar semejanzas entre los fósiles que nos permiten inferir relaciones de parentesco entre ellos. Muchas de estas variaciones son bastante graduales y podrían ser producto de cambios filéticos producidos a lo largo del tiempo por selección direccional (como el aumento del tamaño o la disminución del número de dedos). Sin embargo, a partir de los fósiles no es posible saber si estos constituyen cambios al interior de una especie o si hubo especiación.

**La selección disruptiva**, por su parte, tiende a separar las poblaciones y es, por lo tanto, una  **posible fuente de especiación** al promover la diferenciación de poblaciones al interior de una especie. Si cada población es exitosa y se diferencian entre sí, pueden dar origen a dos especies distintas.

Aunque parecen actuar en forma distinta, ambos tipos de selección pueden producir procesos de divergencia y eventualmente nuevas especies. La selección direccional, por ejemplo, actuando en direcciones distintas sobre poblaciones aisladas puede generar los cambios necesarios para que dichas poblaciones se conviertan eventualmente en especies diferentes.

Por otro lado, aun cuando estos tipos de selección actúen, pueden no producir especiación, ya que para que esta se produzca es necesario que entre las poblaciones **se interrumpa permanentemente e irreversiblemente el flujo genético**. Esta interrupción es la base

de la especiación, cuya manifestación observable es la **divergencia**, proceso que se manifiesta cuando las especies van acumulando diferencias entre ellas debido a los procesos de adaptación.

No obstante, dos especies pueden ser tan parecidas entre sí que no es posible distinguirlas a partir de sus características morfológicas. En este caso se habla de especies “crípticas”, que son un ejemplo de que la condición fundamental y necesaria para el proceso de especiación es el aislamiento de los **acervos genéticos**, esto es, que los materiales genéticos de dos poblaciones no se mezclen. Este aislamiento ocurre en la práctica mediante **mecanismos de aislamiento reproductivo**.

# Mecanismos de aislamiento reproductivo

Para que dos poblaciones se transformen en especies distintas, además de los cambios genéticos que puedan producirse es necesario que sus acervos genéticos se mantengan separados. Se reconocen dos tipos principales de mecanismos de aislamiento reproductivo: aquellos que **previenen la unión de los gametos** y evitan que se forme un cigoto (mecanismos precigóticos) y los que actúan luego de la formación del cigoto, **evitando o reduciendo la formación de híbridos o limitando su futura reproducción** (mecanismos poscigóticos).

## Mecanismos precigóticos

Entre estos se encuentran todos aquellos que **evitan la unión** de los gametos o células sexuales.

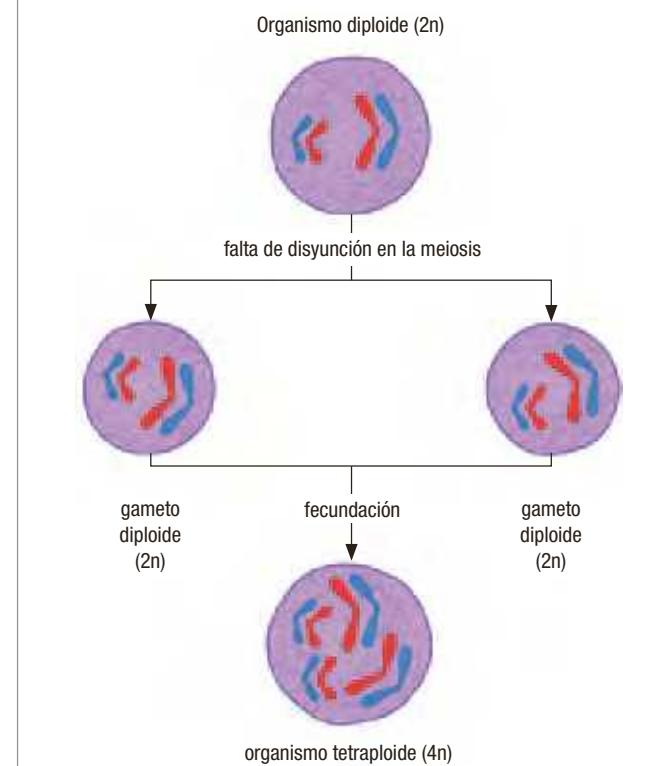
- **Aislamiento geográfico.** Se produce por la existencia de barreras, como montañas, cuerpos de agua (océanos, lagos, ríos) o, dependiendo del tipo de especie, zonas de hábitats desfavorables o infranqueables, como desiertos, pantanos o praderas, entre otros.
- **Aislamiento ecológico.** Se produce cuando las especies utilizan hábitats distintos dentro de la misma zona geográfica. El uso de hábitats diferentes hace que los individuos de las especies no se encuentren o no interactúen entre sí. Por ejemplo, poblaciones distintas de una misma especie de insectos parásitos pueden valerse de huéspedes diferentes, lo que proporciona la necesaria separación para que surjan barreras reproductivas.
- **Aislamiento estacional o temporal.** Este tipo ocurre cuando las especies se reproducen en épocas distintas, previniendo el encuentro de individuos fértiles de ambas poblaciones.
- **Aislamiento mecánico.** Ocurre cuando los órganos sexuales son incompatibles por forma o tamaño, lo cual previene la cópula.
- **Aislamiento conductual.** Ocurre cuando las conductas reproductivas de las especies hacen que los individuos no se reconozcan entre sí, evitando la cópula. Este mecanismo es particularmente importante en especies donde las conductas de apareamiento son elaboradas. Ejemplos de esto se pueden encontrar en mamíferos, aves, peces, entre otros.
- **Aislamiento gamético.** En este caso, los gametos no se reconocen entre sí. Esto ocurre porque las señales químicas de los gametos de una especie (fertilicinas) no son reconocidas por los gametos de la otra. Esto es común en especies acuáticas de fecundación externa, en las que gametos de distintas especies pueden encontrarse en la columna de agua.
- **Aislamiento por barreras bioquímicas o inmunológicas.** En este caso, existen mecanismos de aislamiento que operan a nivel bioquímico o inmunológico en especies con fecundación interna, principalmente a nivel de los conductos sexuales femeninos.
- **Aislamiento genético.** Este caso ocurre cuando existen variaciones importantes en la estructuración del material genético. Particularmente relevantes son los cambios de ploidía, delecciones, duplicación o fusión de cromosomas, los cuales hacen que los organismos que los poseen queden inmediatamente aislados del resto de la población. En plantas es común encontrar poliploides fértiles y entre los helechos al parecer es un proceso usual, siendo la mayoría de las especies descritas poliploides.

## Ampliando MEMORIA

Existen tres especies gemelas de *Drosophila*, casi indistinguibles morfológicamente (*D. serrata*, *D. birchii* y *D. dominicana*), nativas de Australia, Nueva Guinea y Nueva Bretaña, que en muchas regiones coexisten geográficamente. A pesar de su semejanza genética y proximidad evolutiva, no existen híbridos en la naturaleza.

La fuerza del aislamiento ecológico entre las especies gemelas ha sido comprobada en el laboratorio agrupando machos y hembras de diferentes especies. Este es un ejemplo de aislamiento reproductivo.

## Formación de un organismo poliploide



## Mecanismos poscigóticos

Entre estos se encuentran todos aquellos que evitan el desarrollo de híbridos fértiles de la mezcla de las especies.

- **Inviabilidad de los híbridos.** En este caso, luego de formado el cigoto ocurren alteraciones del desarrollo que producen la muerte del híbrido en cualquier momento antes de que alcance la fertilidad. Muchas de estas mortalidades ocurren a nivel de unas pocas células o temprano en el desarrollo embrionario.
- **Esterilidad de los híbridos.** Ocurre cuando los híbridos son capaces de crecer y desarrollarse, pero no son fértiles. Un ejemplo conocido de esto se da en las mulas, animales infértilles que son producto de la crusa entre un burro y una yegua. Esta esterilidad puede darse por una falta de desarrollo de las gónadas, como en el caso de las mulas, o por problemas en la formación de los gametos, cuyos cromosomas al no ser homólogos no pueden aparearse durante la meiosis, lo que produce gametos estériles con un número variable de cromosomas. Esto es lo que resulta de la crusa entre rábanos (*Raphanus sativus*) y repollos (*Brassica oleracea*).
- **Deterioro de la segunda generación híbrida ( $F_2$ ).** En este caso, los híbridos de la  $F_1$  son completamente viables y fértiles, pero la descendencia de estos muere, o tiene un vigor muy reducido o pierde su fertilidad. Esto ocurre en muchas especies vegetales (e incluso variedades) en las que los híbridos pueden ser más vigorosos, pero que al cruzarse entre sí los descendientes de la  $F_2$  son débiles y tienden a morir en la etapa de semilla o plántula.

### Concepto biológico de especie

Las especies son dinámicas y difíciles de definir biológica y evolutivamente. Según el biólogo Ernst Mayr, las especies son grupos de poblaciones naturales que se cruzan entre sí, real o potencialmente, y que están separadas reproductivamente de otros grupos similares.

### Ampliando MEMORIA

Las ardillas Kaibab y de Abert habitan en lados opuestos del Gran Cañón del río Colorado. Este río es una barrera geográfica que impide el flujo génico entre las poblaciones. En algún momento se pensó que correspondían a especies diferentes, pero actualmente los especialistas concuerdan en que probablemente son variantes geográficas de la misma especie. Lo que sí es cierto es que el aislamiento geográfico ha hecho que estas poblaciones se diferenciaran. ¿Será posible que estemos ante un caso de especiación en progreso?

### Actividad

1. Considerando los mecanismos de aislamiento estudiados, **analiza** detenidamente el siguiente ejemplo y luego responde.

Durante los períodos de glaciaciόn del Pleistoceno, las gaviotas argénteas (*Larus argentatus*) buscaron refugio al sur de los bordes del hielo. A partir de un grupo inicial distribuido desde Siberia al mar Caspio, varios grupos se separaron.

Un grupo se asentó en Escandinavia (población  $A_1$ ) y más al sur, en las Islas Británicas y Francia (población  $A_2$ ). Estas poblaciones pueden actualmente cruzarse entre ellas y su descendencia es fértil.

- a. Según la definición de especie biológica, ¿perteneцен estas poblaciones a la misma especie?

**Explica.**

Otro grupo emigró hacia la costa pacífica de Asia ( $B_1$ ) y posteriormente pasó a Norteamérica ( $B_2$ ). Las poblaciones  $B_1$  y  $B_2$ , aunque presentan diferencias morfológicas, pueden cruzarse.

- b. Si sobre estas especies actuaran mecanismos poscigóticos, menciona y **explica** dos de ellos y cuáles serían sus consecuencias biológicas.

Posteriormente, una parte de  $B_2$  pasó de nuevo a Europa y coexiste con  $A_2$ , pero sin cruzarse.

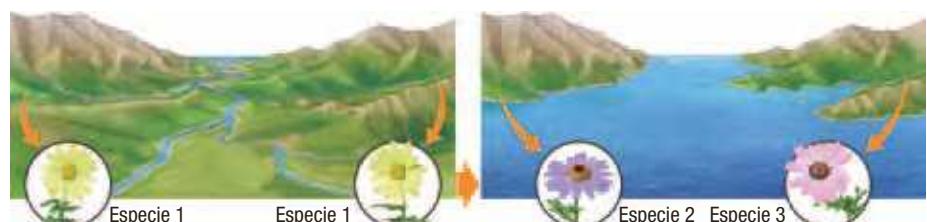
- c. Qué tipo de aislamiento puede estar afectando a estas poblaciones? Menciona y **explica** cómo actúan tres de los mecanismos posibles.

- d. ¿Qué tipo de aislamiento ocurre entre  $A_1$  y  $B_1$ ?



## Especiación: la formación de nuevas especies

Como hemos visto, la evolución puede producir la aparición de nuevas especies a partir de una original. Hemos revisado los mecanismos de aislamiento que permiten la mantenimiento de las especies y que probablemente se encuentran íntimamente relacionados con su formación. Pero ¿en qué condiciones surgen las especies en el ambiente natural? ¿Cuáles son las circunstancias que llevan a que dos poblaciones pertenecientes originalmente a la misma especie se diferencien y aíslen llegando a constituirse en especies distintas? Se han postulado dos tipos principales de especiación de acuerdo a si las poblaciones comparten o no el mismo espacio geográfico.



▲ Este es un ejemplo de especiación alopatrásica, en el que poblaciones de una especie ancestral quedan separadas por la aparición de una barrera acuática que interrumpe el flujo génico, lo que permite la diferenciación de estas en dos nuevas especies.

**La especiación alopatrásica o alopatrídica** ocurre cuando las poblaciones están **separadas físicamente**. Esta separación puede deberse a la aparición de una barrera física y, por lo tanto, en este caso opera el **mecanismo de aislamiento geográfico** entre las poblaciones. Ejemplos de aparición de barreras geográficas han ocurrido en la historia geológica de la Tierra en innumerables ocasiones. La aparición de la Cordillera de los Andes, la separación de los continentes, la formación y desaparición del Istmo de Panamá, la aparición de un río, lago o desierto, son todos ejemplos de barreras que al parecer han contribuido a la formación de nuevas especies. La divergencia genética, que es en parte origen y consecuencia del proceso de especiación, puede ocurrir, como hemos visto, producto de varios mecanismos de evolución que pueden actuar en forma simultánea.



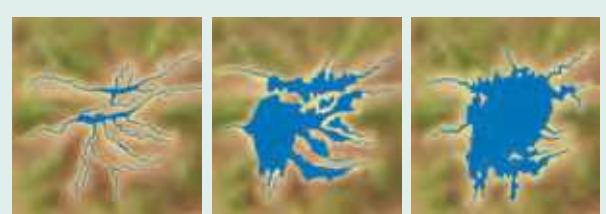
**La especiación simpátrica o simpátrida** ocurre cuando las poblaciones ocupan **el mismo espacio geográfico**. En estas circunstancias, la interrupción del flujo génico, condición necesaria para el proceso de especiación, debe ser alcanzada mediante algún **mecanismo de aislamiento ecológico, conductual o genético** que permita la proximidad física de las poblaciones y el aislamiento genético de las mismas. El aislamiento ecológico es posible cuando miembros de una especie utilizan hábitats distintos, lo que favorece el aislamiento de las subpoblaciones que utilizan dichos ambientes. En especies con conductas de apareamiento complejas, la diferenciación de algunos individuos puede resultar en el no-reconocimiento por parte del resto, de manera que quedan en la práctica aislados del resto de la población. En el caso de cambios de ploidía, pérdida, ganancia o fusión de cromosomas, los individuos que los presentan pueden quedar inmediatamente aislados del resto de la población y constituir, por lo tanto, una nueva especie si existe fertilidad entre ellos y en su descendencia.

▲ En el lago Malawi (zona centro-oriental de África) existen unas 500 especies de peces cíclidos. El origen de esta espectacular especiación puede estar en su especialización en una gran diversidad de hábitos alimenticios.

### Actividad

#### 1. Analiza la siguiente información y luego responde.

El lago Victoria (África) contiene más de doscientas especies similares de peces cíclidos. Se diferencian por las mandíbulas y los dientes, adaptados a distintos tipos de alimentos, aunque también presentan diferencias en el color, el tamaño y la forma. Una de las hipótesis para explicar esta gran cantidad de especies es que su diversificación guarda estrecha relación con la historia geológica del lago.

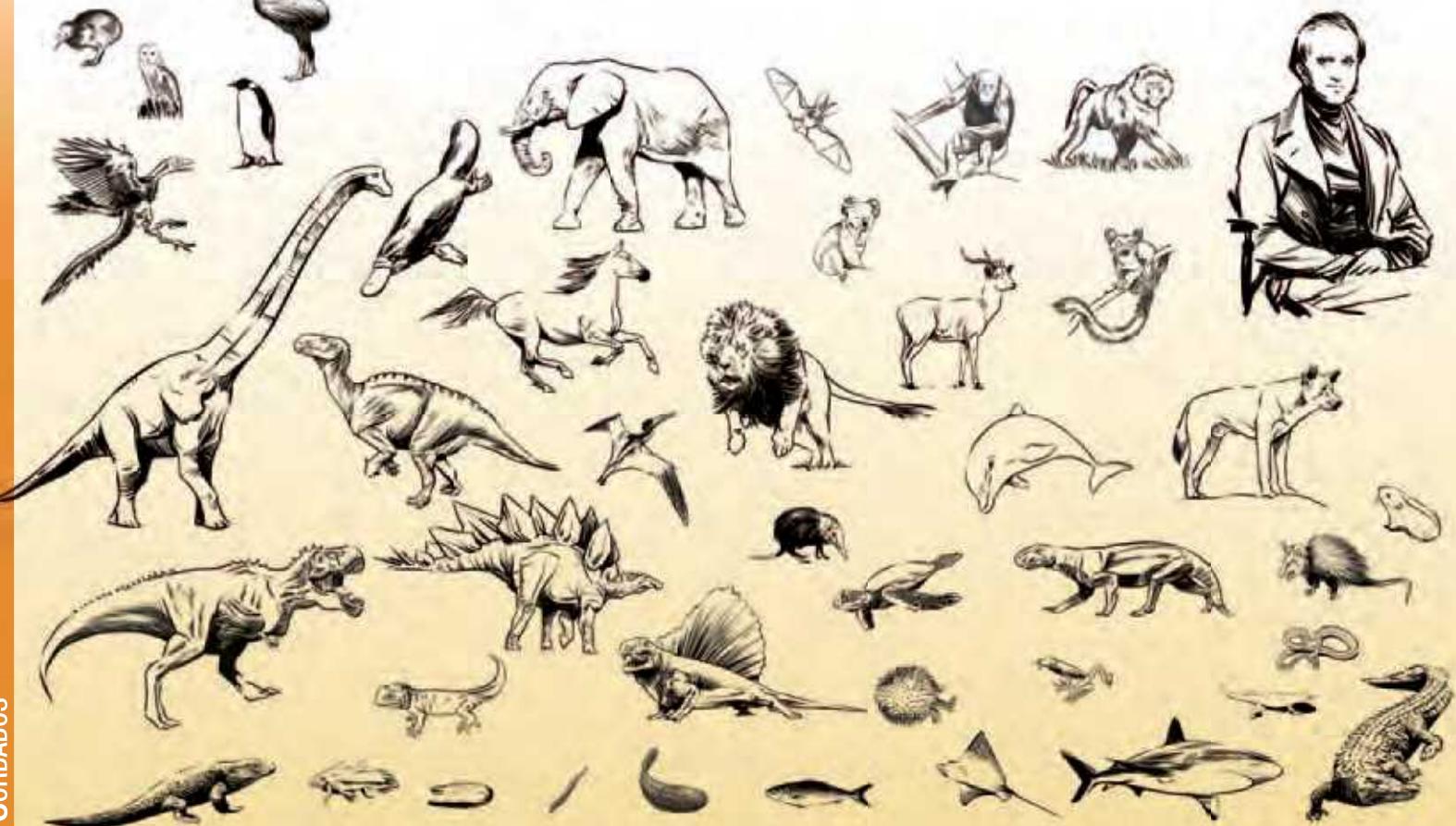


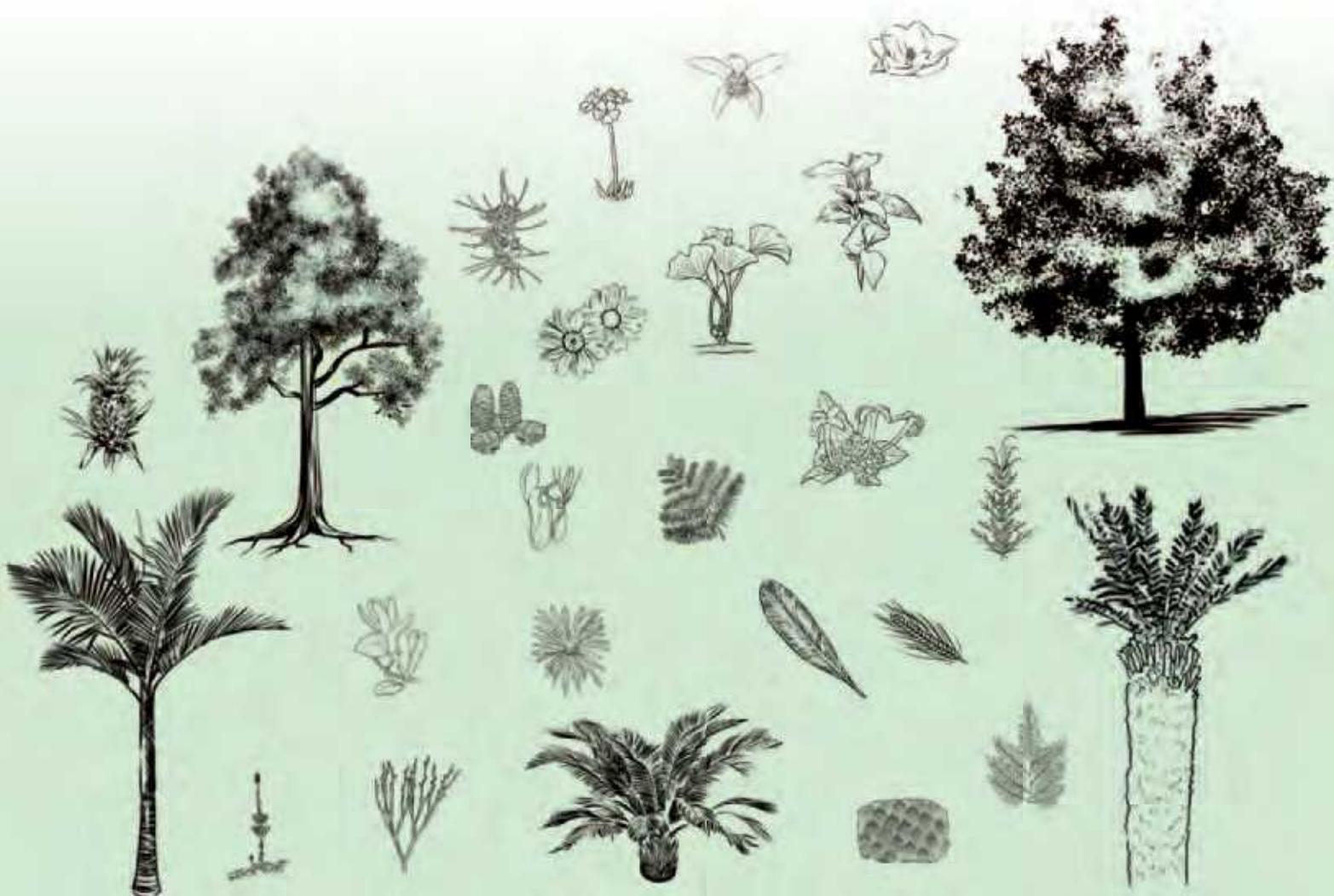
Hace un millón de años → Lago Victoria en la actualidad

- La siguiente figura muestra los cambios que ha experimentado este lago en el último millón de años. Mirando las imágenes, ¿qué tipo de aislamiento y especiación es posible que haya ocurrido en el lago Victoria que explique la gran diversidad de cíclidos que allí se encuentran?
- ¿Es posible que hayan operado otros mecanismos de aislamiento además del que ya mencionaste? Según esto, ¿es factible que haya ocurrido otro tipo de especiación? **Explica**.

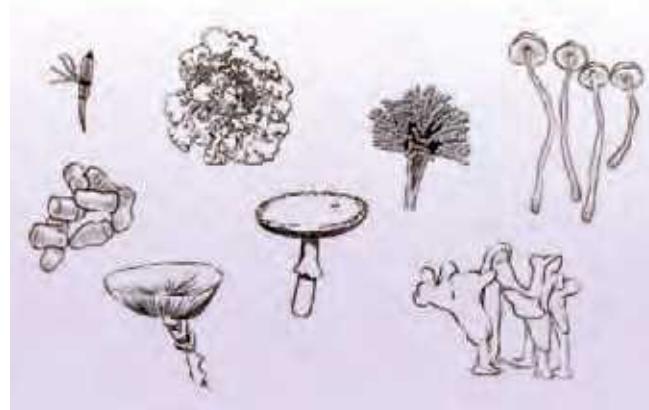
# Evolución y diversificación de la vida

En esta doble página se muestran algunos representantes de los principales grupos que alguna vez habitaron o habitan nuestro planeta.





PLANTAS



HONGOS



PROTISTAS

# Evolución y adaptación



▲ La gran mayoría de los mamíferos deja caer pelo ("pelechan") durante los veranos para soportar mejor el calor y producen en cambio una cubierta densa de pelo durante los inviernos para aislarse mejor del frío y mantener su calor corporal (guanaco en la imagen).



▲ La mayoría de los arbustos del matorral de Chile central dejan caer parte de su follaje (hojas) durante el verano, para así minimizar la pérdida de agua a través de los estomas. No dejan caer sus hojas durante el invierno, cuando el agua abunda y no hace calor (varilla brava en la imagen).

Fue Darwin quien propuso la selección natural como el mecanismo de cambio evolutivo que podía dar cuenta de la **adaptación** de las especies a su medio ambiente. Esta adaptación es el resultado de la lucha por la existencia que se manifiesta en una mayor reproducción de los fenotipos más aptos a las condiciones imperantes en el medio ambiente, con respecto a los menos aptos o desfavorecidos.

También hemos discutido cómo la selección de los fenotipos favorecidos puede relacionarse con la selección de sus genotipos asociados (y los alelos) y cómo esto puede modificar las **frecuencias alélicas** dentro de una población. La modificación de las frecuencias alélicas es la manifestación genético-poblacional de la evolución.

Pero ¿bajo qué circunstancias los procesos evolutivos producen adaptación?

Como hemos visto, existen varios mecanismos evolutivos, pero no todos ellos resultan en la adaptación de las poblaciones al medio ambiente. Los procesos meramente azarosos, como la aparición de mutaciones, la recombinación, el *crossing-over* y la deriva génica pueden, o no, resultar en una ventaja adaptativa, pero esto ocurre en forma independiente a las condiciones del medio ambiente y, por lo tanto, tienden a **no producir adaptación**.

El apareamiento no aleatorio, por lo general, reduce el tamaño efectivo de la población reproductiva; por lo tanto, produce una disminución de la variabilidad genética y con ello reduce las probabilidades de adaptación. En el caso particular de la selección sexual (un tipo de apareamiento no aleatorio) se ha discutido desde los tiempos de Darwin si corresponde, o no, a un fenómeno distinto al de la selección natural, ya que muchas veces las características seleccionadas parecen no conferir una ventaja (sino más bien una desventaja) en la lucha por la existencia.

El flujo génico, por su parte, puede tener una componente adaptativa en la medida en que el movimiento de individuos entre las poblaciones se relacione con la búsqueda de mejores condiciones ambientales y estas se encuentren en el lugar de destino. Por lo tanto, de los mecanismos evolutivos que hemos descrito solo la selección natural produce consistentemente la adaptación de las especies a su medio, puesto que son las condiciones imperantes en el ambiente las que determinan qué organismos se ven favorecidos en la lucha por la existencia y cuáles no. Aquellos beneficiados tendrán mayores posibilidades de dejar una descendencia más numerosa, la cual, además, probablemente mostrará algunas de las características que les confirieron a sus progenitores ventajas adaptativas.

La adaptación surge, entonces, como un resultado de la constante **selección** de los individuos de acuerdo a sus características y las exigencias del medio ambiente. Es así como distintos ambientes seleccionan características distintas y ambientes semejantes seleccionan características semejantes. En el primer caso tenemos el **origen de la diferenciación** de las especies y en el segundo el caso de la **convergencia evolutiva**, fenómeno que estudiaremos más adelante.

## Adaptación, varias acepciones y usos en el contexto biológico

Como hemos visto a lo largo de esta unidad, en el contexto evolutivo el término **adaptación** puede ser utilizado para denominar al **proceso** mediante el cual las especies cambian y se adaptan a su medio, mecanismo que es promovido por la selección natural.

Sin embargo, en este mismo contexto el término adaptación puede referirse al **resultado del proceso**; por ejemplo, cuando se menciona que "los cambios observados resultaron en la adaptación de

la especie". Finalmente, este término también puede utilizarse para dar cuenta de un **rasgo que resulta adaptativo**, como cuando se hace referencia a que "el color blanco es una adaptación".

En un contexto no evolutivo, sino **ecológico**, se puede decir también que "los organismos se adaptan a las condiciones del medio", como cuando aumentamos la producción de calor para compensar una baja en la temperatura ambiental.

## Ejemplos de ventajas adaptativas de especies chilenas



En las plantas, una forma de resistencia a la pérdida de agua en ambientes desérticos involucra una transformación de hojas en espinas y la fotosíntesis ocurre en el tallo verde, que está cubierto con una sustancia parecida a la cera, que evita la pérdida de agua (ejemplo: el cactus candelabro, del norte de Chile, en la imagen).



En animales, como algunos roedores del norte de Chile (Chinchilla, en la imagen), la conservación del agua corporal se ve favorecida por las narinas. Su enorme superficie permite que el aire seco que se inspira se humedezca en las mucosas y llegue así a los pulmones sin desecarlos. Durante la espiración, dado que la nariz está más fría que el interior del animal, el agua que trae el aire de los pulmones se condensa en las narinas y sale seco al ambiente. Esto ocurre en cada ciclo respiratorio.



En las plantas, muchas cierran sus flores durante la noche para impedir el enfriamiento de sus estructuras reproductivas, mientras otras solo abren sus estomas de noche cuando el estrés térmico es menor, para entonces intercambiar gases con el ambiente y completar el proceso de fotosíntesis (dedal de oro, en la imagen).



La resistencia al frío involucra proteger las yemas de hojas y tallos y disponerlas a nivel del suelo o en el subsuelo (ejemplo: las llaretas, que tienen forma de crecimiento en cojín en las montañas de Chile).



La conservación del calor corporal se realiza mediante mecanismos de contracorriente en las patas de algunas aves. La sangre fría proveniente de las extremidades circula por venas cuyo flujo va en sentido contrario de las arterias que traen sangre caliente desde el interior del cuerpo. Dado que venas y arterias corren en paralelo, pero en contracorriente, en las extremidades la sangre más fría de las venas se calienta con la sangre más caliente del cuerpo y eso evita la pérdida de calor (ejemplo: los pingüinos Adelia en la Antártica).



Los picaflores mantienen una alta tasa metabólica y una elevada temperatura corporal durante el día, lo que requiere que se alimenten constantemente del néctar de las flores. Dado que no pueden alimentarse de noche, bajan su tasa metabólica y su temperatura y entran en torpor (son incapaces de moverse). Al día siguiente, en cuanto sube la temperatura, salen inmediatamente a alimentarse y suben su tasa metabólica y temperatura (picaflor de Juan Fernández, en la imagen).

## Convergencia evolutiva

Entre las cosas que Darwin pudo observar en su viaje, una que llamó su atención fue el hecho de que ambientes con características similares tendían a poseer especies semejantes en morfología o hábitos, sin que presentaran claras relaciones de parentesco entre ellas.

La existencia de semejanzas morfológicas o **convergencia** entre especies no relacionadas que habitan en ambientes similares es un patrón observado muchas veces y en varios lugares como para ser una mera coincidencia. Si nos apegamos a lo que hemos discutido acerca de la selección natural, podemos idear una explicación que dé cuenta de esto. Si las presiones selectivas impuestas sobre los organismos son similares, las respuestas biológicas también pueden serlo. Por ejemplo, una presión selectiva hacia el aumento de tamaño puede hacer que las especies, relacionadas o no, presenten una tendencia evolutiva hacia este aspecto. De esta forma, si especies no emparentadas se encuentran en ambientes separados, pero con presiones selectivas similares, puede ocurrir convergencia evolutiva entre ellas.

Por otro lado, un linaje, conjunto de especies con una relación de parentesco, puede colonizar un nuevo ambiente en cualquier momento de su historia evolutiva; por lo tanto, la separación espacial no es un requisito para que ocurran procesos de convergencia. Es más, especies no relacionadas que convivan y se vean expuestas a las mismas condiciones ambientales pueden seguir direcciones similares al ser sometidas a las mismas fuerzas selectivas. Pensemos, por ejemplo, en la similitud morfológica entre cetáceos (mamíferos marinos) como los delfines y peces como los tiburones. Sabemos que estos grupos se separaron hace muchos millones de años y que los cetáceos, además, provienen de animales terrestres que recolonizaron el ambiente acuático; por lo tanto, su similitud no puede ser explicada por la relación entre las especies. Sin embargo, el ambiente acuático impone tal nivel de restricción al movimiento de estas especies, que organismos que no presentan una morfología hidrodinámica (aguzada en los extremos) ven seriamente restringida su capacidad de locomoción.

En ambientes áridos, como ya hemos visto, las especies vegetales y animales deben presentar adaptaciones especiales a la baja disponibilidad de agua. Entre las plantas, la existencia de estructuras como hojas y tallos que acumulan agua, y el reemplazo de hojas por espinas son soluciones a este problema presentes en numerosas especies lejanamente emparentadas. Entre los animales, los hábitos nocturnos y algunas modificaciones del metabolismo que ayudan a economizar agua son algunas de las adaptaciones que presentan grupos de especies de distintos linajes.

### Actividad

#### 1. Aplica lo estudiado para responder las preguntas que se desprenden del siguiente ejemplo.

La extremidad de una pata de alacrán cebollero (1) y la pata de un topo (2) parecen construidas con un mismo modelo: el de una pala excavadora. El alacrán cebollero es un insecto. Este invertebrado carece de esqueleto interno y posee un esqueleto externo de quitina. El topo es un mamífero. El esqueleto óseo de sus extremidades es similar al de un perro o al de una ballena.



- ¿Cómo podrías explicar la semejanza entre las extremidades de ambos animales?
- Pon a prueba la siguiente hipótesis a partir de lo que sabes de convergencia: "Si las extremidades de ambos son tan similares es porque poseen un antepasado común próximo".

## La historia evolutiva de nuestro planeta

La vida en la Tierra es una historia de evolución, adaptación, especiación y también de extinciones. Desde que surgieron los primeros organismos vivos en nuestro planeta, hace unos 3.900-3.500 millones de años, la vida se ha abierto camino. Esto ha significado innumerables experimentos evolutivos, algunos de los cuales resultaron ser más exitosos. Los organismos de todas las especies que han existido han debido enfrentar las condiciones cambiantes de un planeta dinámico. En términos de su historia geológica, la Tierra ha pasado por muchas etapas. Han ocurrido múltiples eventos catastróficos a nivel planetario y la vida, hasta ahora, siempre ha logrado superarlos, ya que distintas especies han sido capaces de persistir. En un mundo cambiante, las especies también deben hacerlo; algo que resulta beneficioso puede ser luego perjudicial o algo que antes no existía puede aparecer.

Sabemos que muy temprano en la historia de la Tierra surgieron los productores fotosintéticos. Estos organismos cambiaron para siempre la historia de nuestro planeta, dado que con anterioridad a la aparición del proceso de fotosíntesis no existía oxígeno molecular ( $O_2$ ) en nuestra atmósfera. El oxígeno, necesario para la vida de la mayor parte de los organismos que conoces, cuando apareció resultaba tóxico para las formas de vida anaeróbica que existían con anterioridad. Actualmente se piensa que el metabolismo aeróbico en parte puede haber surgido como resultado de la selección de mecanismos capaces de disminuir la toxicidad del oxígeno.

Cada vez que la vida se abrió camino en un medio distinto, como la colonización de los ambientes terrestres por plantas y animales, las especies se vieron enfrentadas a situaciones nuevas, con presiones selectivas diferentes y a un sinnúmero de posibilidades. La existencia de múltiples condiciones ambientales, la formación de barreras geográficas y la diferenciación ecológica y genética de las poblaciones son factores que han contribuido a la diversificación de las especies.

Todos y cada uno de los hitos de la historia evolutiva de las especies en nuestro planeta han sido producto de procesos de cambio evolutivo, en los que muy probablemente la selección natural ha tenido un papel protagónico.



▲ Los dinosaurios fueron uno de los grupos de organismos más exitosos en la historia evolutiva de la Tierra y aun así se extinguieron. ¿Podrá ocurrir eso con nosotros?



▲ Hallucigenia es una de las muchísimas formas de vida que existieron alguna vez en nuestro planeta, pero desaparecieron. ¿Qué crees tú que puede determinar que algunas especies permanezcan y otras se extinguigan?

### Las extinciones: el proceso de selección natural llevado a su extremo

Hemos visto que las **extinciones** han sido una parte importante de la historia de nuestro planeta. Algunas de ellas, como la ocurrida a finales del período Pérmico, terminaron con la mayor parte de la vida en la Tierra. Otras, como la de finales del período Cretácico, terminaron con grupos enteros de organismos: los dinosaurios, lo que probablemente permitió el desarrollo posterior de otros grupos de organismos: los mamíferos. Pero ¿cómo podemos entender las extinciones en el contexto evolutivo? Hemos dicho que **evolución es cambio** y que este cambio, mediado por la **selección natural**, produce la **adapta-**

**ción** de las especies a su medio ambiente. Entonces, ¿cómo se explica que las especies se extinguieran? La explicación radica en que la selección natural hace muy bien su trabajo. Las especies, por lo general, se encuentran muy bien adaptadas a su medio ambiente, pero este no es constante, siempre está cambiando, y tanto la dirección del cambio como su magnitud no son predecibles. Entonces como las especies se encuentran muy bien adaptadas, no siempre son capaces de sobrevivir a los cambios ambientales, sean estos de naturaleza abiótica o biótica y, por lo tanto, se extinguieren.

#### Para GRABAR

La gran variedad de formas de vida observadas actualmente es el resultado de los procesos evolutivos de diversificación y extinción que han ocurrido desde el origen de la vida en nuestro planeta.

## ETAPAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
3. Procedimiento experimental.
4. Obtención de resultados.
5. Interpretación de resultados.
6. Elaboración de conclusiones.

## ¿QUÉ ES UNA CONCLUSIÓN?

Es una afirmación que se hace a partir de las evidencias e interpretaciones que entrega el desarrollo de un trabajo de investigación.

## PASOS PARA ELABORAR UNA CONCLUSIÓN

**Paso 1:** revisar si la hipótesis es correcta o no según los resultados obtenidos y su interpretación.

**Paso 2:** establecer la relación entre la hipótesis y la interpretación de los resultados de la investigación.

**Paso 3:** formular una afirmación que explique la relación entre la hipótesis y la interpretación de los resultados obtenidos.

La evolución de los seres vivos puede considerarse el resultado de una “experimentación” que la naturaleza realiza de forma permanente. Son experimentos que no pueden ser reproducidos en el laboratorio, sino que deben analizarse e interpretarse a partir de la observación del medio natural. En biología, los experimentos de laboratorio no siempre pueden realizarse, ya sea porque se trata de acontecimientos históricos irrepetibles o bien porque requieren unas escalas espaciales o temporales imposibles de manejar o replicar. A continuación analizaremos un ejemplo de este tipo.

**Planteamiento del problema y formulación de hipótesis**

¿Cómo puede ocurrir el proceso evolutivo que da lugar a la aparición de una nueva especie?

*Si el aislamiento favorece la formación de nuevas especies, cuanto más tiempo lleve aislada una zona de otra, las especies endémicas originadas ya no podrán reproducirse entre ellas porque se reconocerán como especies distintas.*

1. Una bandada de aves omnívoras, en las que existe una gran diversidad de aparatos bucales, coloniza dos islas.



2. En una de las islas, el alimento más abundante son gruesas semillas. Así que las aves más favorecidas son las de potentes y gruesos aparatos bucales con los que romper las semillas. En la otra predominan los insectos; las aves más favorecidas por la selección natural serán las de aparatos bucales finos.



3. Si el aislamiento se mantiene, las diferencias acumuladas pueden acabar por originar dos especies diferentes que no se reproducirán entre ellas, aunque se encuentren juntas.

**Procedimiento experimental y obtención de resultados**

En su viaje por las islas Galápagos, Darwin descubrió catorce especies de pinzones. Estas aves eran muy semejantes entre sí, pero se diferenciaban en algunas características, como los aparatos bucales (algunos eran pequeños y alargados, otros cortos y gruesos) y el hábitat en que vivían (algunos lo hacían en el suelo y otros en los árboles).

Analizando semejanzas y diferencias, Darwin intuyó que todas ellas debían proceder de una especie común y que al establecerse en cada isla, donde los alimentos disponibles y las condiciones eran diferentes, cada uno había desarrollado una adaptación al medio donde se habían asentado.

Hoy en día, mediante el análisis genético se ha podido corroborar la hipótesis de Darwin. Según estos cálculos, un grupo de pinzones de la especie continental, de al menos cuarenta individuos, habría llegado a las islas hace tres millones de años, diferenciándose hasta formar las catorce especies actuales. Las distancias genéticas entre ellas muestran que la divergencia en las formas de los aparatos bucales se inició hace un millón y medio de años, mientras que la separación entre las especies de hábitos arborícolas y las que anidan en el suelo tuvo lugar hace menos de un millón de años.

## Interpretación de resultados

Hoy en día podemos interpretar lo ocurrido con los pinzones a partir de una secuencia como la siguiente.

Una **especie original** se encuentra ocupando un amplio territorio, dividida en varias poblaciones que mantienen relaciones entre sí, facilitando el intercambio de genes entre los miembros de las distintas poblaciones.

La aparición, por ejemplo, de una **barrera geográfica** provoca el aislamiento de una de las poblaciones. Esta separación, además, modifica las condiciones de vida de esta población al no tener acceso a los recursos de alimento y hábitat con los que contaban antes.

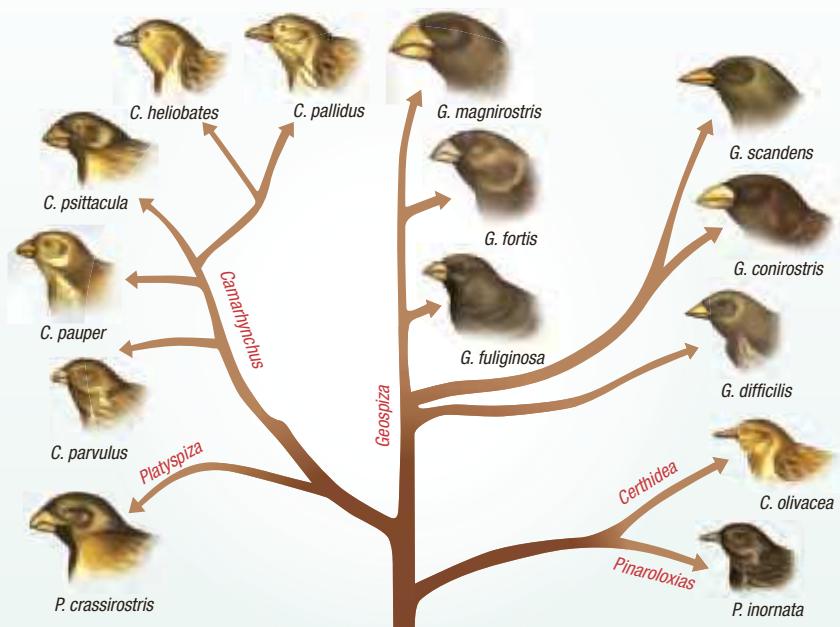
En las nuevas condiciones de vida, algunos genes provocan limitaciones fisiológicas en los individuos que los poseen, que no consiguen adaptarse al medio. Estos individuos no suelen llegar a la edad reproductiva. Al no existir intercambio con el resto de las poblaciones, estos genes acaban desapareciendo del genotipo de la población. Es el proceso de **selección natural**.

Por otra parte, se pueden producir **mutaciones** en la población que se suman al genoma de la misma. A medida que transcurre el tiempo, las diferencias genéticas con la población original aumentan de tal modo que, finalmente, no hay posibilidad de que estos individuos puedan dar una descendencia fértil al cruzarse con la población original. De esta manera, ha surgido una **nueva especie**.

## Elaboración de conclusiones

A partir de lo analizado anteriormente, responde.

- Si tras muchos años de aislamiento y diferenciación, dos poblaciones se ponen en contacto por motivos naturales y se observa que pueden reproducirse entre ellas, ¿se habrá producido especiación? ¿Por qué?
- Si dos poblaciones se mantienen separadas en islas en que las condiciones ambientales son similares: ¿Se mantendrán como la misma especie con el paso del tiempo o evolucionarán en especies distintas? ¿Es el transcurso de tiempo prolongado una condición suficiente para que ocurra especiación?
- ¿Son las semejanzas o diferencias morfológicas suficiente evidencia como para dar cuenta de la existencia de especies distintas? ¿Qué otros aspectos es necesario considerar para poder tener un mayor grado de seguridad?
- ¿Qué tipo de especiación da cuenta del origen de los pinzones de Darwin? Elabora una conclusión tomando en cuenta los contenidos de la unidad y que muchas veces los patrones naturales pueden ser explicados por más de una causa.



# Evolución de los seres humanos



La secuencia de aparición de especies en el registro fósil indica que los **mamíferos** evolucionaron a partir de un grupo de **reptiles** que se diferenció durante la Era Paleozoica, en el Período Pérmico. La evolución de reptiles a mamíferos fue un proceso largo y gradual que se extendió hasta la Era Mesozoica, en el Período Triásico.

## Evolución de los mamíferos

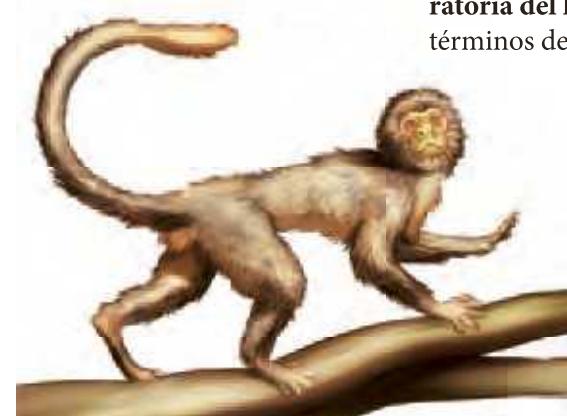
▲ *Dimetrodon* era un reptil sinápsido, más próximo a los mamíferos que a los reptiles actuales, que se caracterizaba por su capacidad de termorregular.



▲ *Moschops* pertenece al grupo de antepasados directos de los primeros mamíferos. Caminaba todavía como reptil y ponía huevos, pero sus rasgos físicos son mucho más cercanos a los de un mamífero que a los de un reptil.



▲ *Eomaia scansoria* es uno de los fósiles más antiguos que se ha encontrado de un mamífero placentado. En la imagen se observa una reconstrucción a partir de su fósil.



▲ *Eosimias* es considerado uno de los primates más antiguos hasta hoy conocidos.

Hace unos 210 millones de años, algunos de los primeros mamíferos hacían su aparición en una era **dominada por los dinosaurios**. Tal vez, por ser estos últimos el tipo de organismo predominante, nuestros primeros antepasados permanecieron como un grupo menor de organismos de pequeño tamaño, viviendo a la sombra de los dinosaurios. Durante este tiempo, sin embargo, aparecieron la mayor parte de las adaptaciones que convirtieron a estos organismos de características anatómicas reptilianas en los seres que finalmente dieron origen a los grandes grupos de mamíferos actuales.

Las principales adaptaciones surgidas en estas formas de transición se relacionan con novedades anatómicas, como cambios a nivel de los aparatos bucal y locomotor, y finalmente con la aparición de la placenta.

Los cambios en los huesos asociados al aparato bucal tuvieron amplias repercusiones en nuestro futuro evolutivo. Por una parte, tanto la fusión de algunos de los huesos de la mandíbula como la migración de otros hacia la zona posterior de la misma dieron lugar a la formación de la articulación temporomandibular y, por otra, originaron a la estructura del oído medio, que mejoró considerablemente la **capacidad auditiva** de los mamíferos. Se piensa que estos cambios permitieron la expansión lateral y posterior del cerebro, con el consiguiente **aumento del tamaño cerebral** observado en los mamíferos posteriores.

También asociados al aparato bucal, comenzaron a ocurrir una serie de cambios relacionados con la **estructura dentaria**. En los reptiles, esta se caracteriza por la existencia de un número grande de dientes poco diferenciados, de morfología cónica, que pueden ser reemplazados a lo largo de la vida del animal. Esta estructura dentaria fue sucedida por un número menor de dientes diferenciados para cumplir distintas funciones, como moler (muelas), desgarrar (caninos) y cortar (incisivos), y que cambian solo una vez en la vida del animal. La modificación de la estructura dentaria abrió nuevas posibilidades de especialización y adaptación a distintos tipos de alimentos y formas de alimentación. En este sentido, la aparición de los molares, por ejemplo, permitió una mayor obtención de energía al moler los alimentos, facilitando con esto el proceso digestivo al aumentar el contacto de las partículas de alimento con los ácidos y enzimas digestivas.

Otros avances mayores aparecieron también en este tiempo, tales como la **articulación giroatoria del hombro**, que permitiría una mejora considerable no solo en movilidad, sino en términos de las posibilidades evolutivas de las extremidades anteriores. Esto eventualmente permitiría el desarrollo de alas, aletas y brazos con rangos de movilidad sin precedentes.

La aparición de la **placenta** fue sin duda un avance mayor dentro del camino evolutivo por el que ya transitaban los mamíferos, en el cual el cuidado parental extendido era una norma (período de lactancia). Este órgano provee una serie de ventajas adaptativas en términos reproductivos al hacer una comparación con los marsupiales, mamíferos no placentarios. Al funcionar como una barrera inmunológica permite que el feto se desarrolle dentro del cuerpo de la madre hasta un estado más avanzado de su desarrollo. Además, esta etapa final del desarrollo fetal se completa más rápido gracias a la placenta, debido a la eficiencia en el traspaso de nutrientes entre la madre y el feto.

Como hemos dicho, no fue hasta la **desaparición de los dinosaurios**, a fines del Mesozoico, que se dieron las condiciones para el **desarrollo explosivo de los mamíferos**, con la consecuente diversificación de hábitos y formas y un marcado aumento del tamaño corporal. Durante este tiempo, los mamíferos experimentaron cambios colosales y utilizaron la mayor parte de los ambientes disponibles en la tierra, el agua y el aire. En todos ellos, las especies se diversificaron, ocupando los recursos antes utilizados por los dinosaurios y adquirieron todas las formas de vida, hábitos y funciones antes desempeñadas por estos grandes reptiles.

## El origen de los primates

Hace más de 50 millones años, una rama de los mamíferos, de la cual derivarían los lémures, se diferenció del resto y comenzó un largo camino que llevaría, entre otros destinos, hasta los seres humanos. Lémures (1), lorises (2) y tarseros (3) se encuentran entre los primates más antiguos. Dentro de las adaptaciones de los primates, una que llama la atención por las posibilidades que brindó es la existencia de **manos**, con cinco dígitos, como su ancestro común, pero con un nivel de **especialización y desarrollo** muy superiores al observado en el resto de los mamíferos. Las manos de los primates permiten la **manipulación** de objetos con un nivel de precisión que no se ha visto en otros animales. Las manos les sirven no solo para facilitar su locomoción (como en la mayoría de los animales), para asirse de las ramas y manipular su alimento, sino que además les ayudan en la manipulación y el traslado de las crías. En los primates superiores les permiten la manipulación de objetos y herramientas.

Este proceso evolutivo, iniciado hace unos 50 millones de años, llevó a que hace unos 5 millones de años una especie de simio superior, o antropoide, comenzara a **caminar** sobre los miembros posteriores. Este solo hecho probablemente posibilitó una serie de adaptaciones posteriores que finalmente llevarían al surgimiento de nuestra especie.

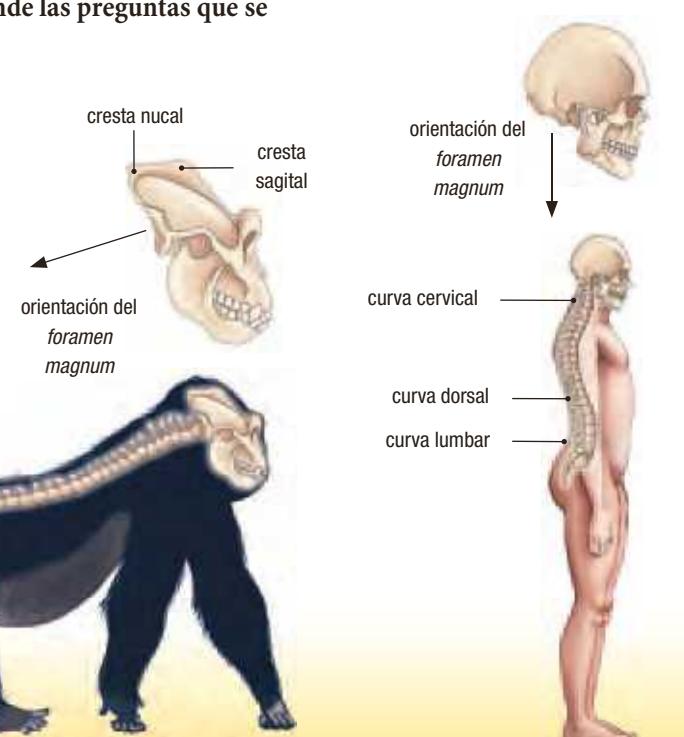


### Actividad

- Lee la siguiente descripción, observa las imágenes y luego responde las preguntas que se plantean a continuación.

Caminar erguido de manera habitual sin balancear mucho el tronco exige unas características anatómicas determinadas. Las más importantes afectan a la cadera y a la inserción de la columna vertebral en el cráneo, *foramen magnum*. La observación de estas características en los homínidos fósiles permite deducir si caminaban erguidos o no.

- ¿Qué **diferencia** hay en la ubicación y orientación del *foramen magnum* en gorilas y en humanos?
- ¿Qué **diferencia** observas en la columna vertebral?
- Relaciona** tus observaciones con la posibilidad de desarrollo del andar bípedo.



# Los primeros restos fósiles de homínidos

## Reproducciones de algunos homínidos



▲ *Australopithecus anamensis*.

El tema de la evolución de los seres humanos había sido objeto de encarnizadas polémicas desde antes que Darwin esbozara su teoría de la evolución por medio de la selección natural. Fue tanta la influencia que ejerció la doctrina creacionista que incluso algunos pensadores eran capaces de adherir a las ideas evolucionistas para el resto de los seres vivos, pero para el caso de los seres humanos la descartaban de plano "pues el hombre había sido creado a imagen y semejanza de Dios". Así, era de esperar que cuando Darwin planteó sus ideas, una parte importante de la oposición y de las burlas se relacionaran con dar pie a esta posibilidad de que los seres humanos hubiésemos evolucionado a partir de antepasados simiescos.

En el curso de la historia se ha ido acumulando una importante cantidad de evidencias en la forma de fósiles de algunos de los posibles antepasados de los seres humanos. Las ideas más aceptadas actualmente concuerdan en que el **origen de nuestra especie es africano**. De hecho, es en África en donde se ha encontrado la mayor cantidad de evidencias de homínidos tempranos y de las primeras especies de **andar bípedo**. Sin embargo, la historia ocurrió con una secuencia distinta.

### Secuencia de descubrimientos

Las **primeras evidencias** de homínidos tempranos fueron encontradas en Europa. Los fósiles hallados en Bélgica (1833) y en Alemania (1856) correspondían a la especie ***Homo neanderthalensis*** (hombre de Neanderthal) y mostraban grandes similitudes con los humanos modernos, particularmente en cuanto al **tamaño del cerebro**, que hacían dudar que se tratara de una especie diferente.

Los fósiles encontrados en Francia (1868), en las cuevas de Cro-Magnon, serían finalmente identificados como restos de ***Homo sapiens*** del Paleolítico superior.

En 1891, en la isla de Java, Indonesia, fueron descubiertos los primeros fósiles de una nueva especie de homínido, con características a todas luces más primitivas y anteriores a las de *H. neanderthalensis*. Estos restos son conocidos como el hombre de Java y la especie fue inicialmente descrita como ***Pithecanthropus erectus***, nombre que fue finalmente cambiado a ***Homo erectus*** al reconocerse las similitudes con nuestra propia especie y ubicarla dentro del mismo género.



▲ *Australopithecus africanus*.

Todos estos hallazgos tendían a confirmar la creencia de que los orígenes de nuestra especie eran euro-asiáticos. Es por esto, y por otras razones no académicas, que la idea de un origen africano era prácticamente impensable en los ambientes intelectuales hasta bien entrado el siglo XX.

En 1929, en Sudáfrica se encontraron los primeros restos fósiles de una especie de antropoide desconocido. Los restos correspondían a individuos del género ***Australopithecus***, los que eran de tamaño reducido y con un volumen cerebral escasamente mayor al de un chimpancé, pero con todas las adaptaciones del **bipedalismo**, lo cual los ubicaba como los **posibles antecesores de nuestra especie**. La respuesta de la comunidad científica no se hizo esperar y los detractores a la idea del origen africano y unos pocos defensores esgrimieron argumentos en uno y en otro sentido por varios años.

Hallazgos posteriores han mostrado una gran diversificación de los homínidos en África y, actualmente, una de las hipótesis más aceptada dice que los humanos modernos se originaron en África desde donde migraron al resto del mundo, **desplazando y reemplazando** a otros grupos de **homínidos arcaicos** en Europa (*Homo neanderthalensis*) y en Asia (*Homo erectus*).



▲ *Paranthropus boisei*.

## Ideas sobre nuestra evolución

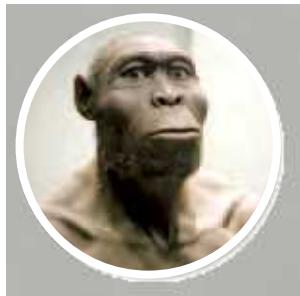
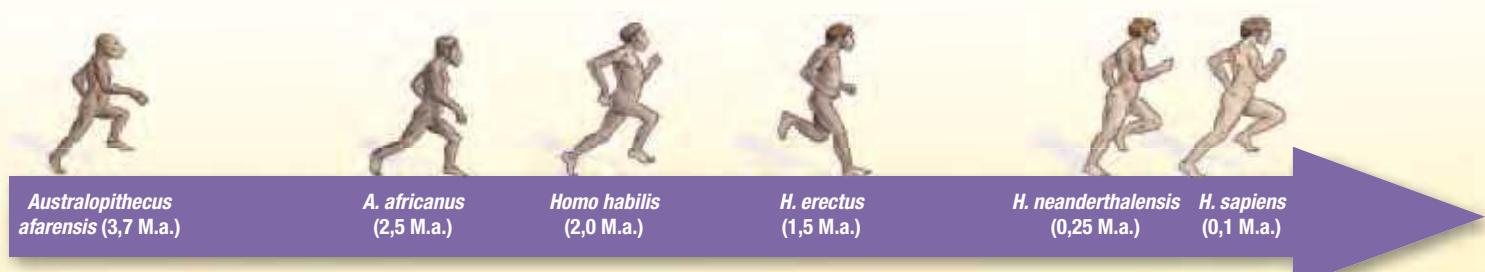
Una vez aceptadas las ideas sobre la evolución de nuestra especie en la mayor parte de la comunidad científica, los principales avances en esta línea de investigación han sido determinados predominantemente por la **aparición de nuevos fósiles**. Imaginemos por un momento que tuviéramos que armar un rompecabezas para el cual desconociéramos la imagen de fondo. Esto sin duda dificultaría el proceso, sin hacerlo imposible. ¿Pero qué sucedería si, además, solo tuviéramos unas pocas piezas de este rompecabezas? Digamos, incluso, que estas pocas piezas en algunos casos ni siquiera nos permiten saber qué parte de la imagen estamos armando. ¿Qué sucedería entonces? Bueno, el caso de la evolución humana es muy similar a este problema, porque no sabemos cómo ocurrió el proceso, solo tenemos información parcial en la forma de fósiles muchas veces incompletos y existe una gran **fragmentación** de los datos en el **tiempo** y en el **espacio**.

Las ideas más aceptadas sobre nuestra evolución han ido cambiando a través del tiempo, justamente en la medida que ocurren nuevos descubrimientos y se han desarrollado diversos métodos para estimar la antigüedad de fósiles y rocas. Esto ha permitido, por una parte, tener una idea al menos de la **progresión de cambios** a lo largo de nuestra historia evolutiva y, por otra, tener una estimación acerca de **cuándo ocurrieron** estos cambios.

En cada momento de la historia, las hipótesis respecto del origen de los seres humanos se han basado en la información existente y, como hemos dicho, en la medida que surge **nueva evidencia** estas hipótesis son revisadas, modificadas o desecharadas. Una parte de la información utilizada para construir estas hipótesis proviene del análisis de evidencias actuales, tales como semejanzas y diferencias entre especies existentes. Por ejemplo, tal como notara Darwin, a partir de las evidencias actuales y de las semejanzas observadas podemos decir que las especies más parecidas a los seres humanos son **africanas** y corresponden a los grandes simios, **chimpancés** y **gorilas**. El desarrollo de los métodos de análisis molecular de proteínas y ácidos nucleicos (ARN y ADN) ha permitido conformar esta hipótesis, pero también indica que nuestro **último ancestro común** con los chimpancés **existió hace más de 7 millones de años**. Sin embargo, la mayor parte de la información necesaria para reconstruir la secuencia de cambios proviene de fósiles, como restos de organismos o rastros dejados por estos en la forma de **huellas, herramientas y utensilios**. La reconstrucción de nuestra historia evolutiva no es fácil. Las condiciones necesarias para la conservación de restos fósiles son muy especiales y solo ocurren en algunos tipos de ambientes muy particulares, razón por la cual los fósiles son escasos.

**Charles Darwin** fue uno de los primeros científicos en proponer no solo un origen africano para nuestra especie, sino a partir de un antepasado simiesco semejante a los actuales chimpancés. La idea de **evolución gradual** tanto del **andar bípedo** como de la **capacidad craneana** y la asociación entre estos dos rasgos fue dominante entre los paleoantropólogos hasta hace unas pocas décadas. Los fósiles descubiertos hacia fines del siglo XIX y principios del siglo XX tendían a ser interpretados como una **secuencia de evolución lineal** en la que se buscaban los denominados “**eslabones perdidos**”. Este modelo actualmente no se considera válido.

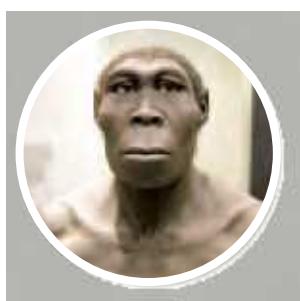
### Esquema lineal de evolución



▲ *Homo rudolfensis*.



▲ *Homo habilis*.



▲ *Homo erectus*.



▲ *Homo neanderthalensis*.

La visión actual acerca de la evolución humana es mucho más compleja. Los esquemas van cambiando en la medida que los hallazgos paleontológicos agregan nuevas piezas de información, las cuales llevan a revisar, replantear o modificar las hipótesis respecto de las relaciones entre especies. La visión más aceptada actualmente se parece más a un **árbol** en el que se observa una **diversidad mucho mayor** de especies de homínidos, varios de los cuales **coexistieron** por largo tiempo, y la mayoría de las cuales **se extinguieron** sin dejar rastro.

Hasta hace unos pocos años, una de las hipótesis más aceptadas entre los paleoantropólogos era que el **bipedalismo** (el caminar en dos pies) se habría desarrollado como una adaptación a fuerzas selectivas asociadas al ambiente de sabana, **con posterioridad a la separación del ancestro común** con los chimpancés y **al haber abandonado los ambientes boscosos** que durante ese período se redujeron drásticamente debido a cambios ambientales.

### **Homo**

- Cerebro grande, mandíbula y dientes reducidos.
- Amplio uso de herramientas.

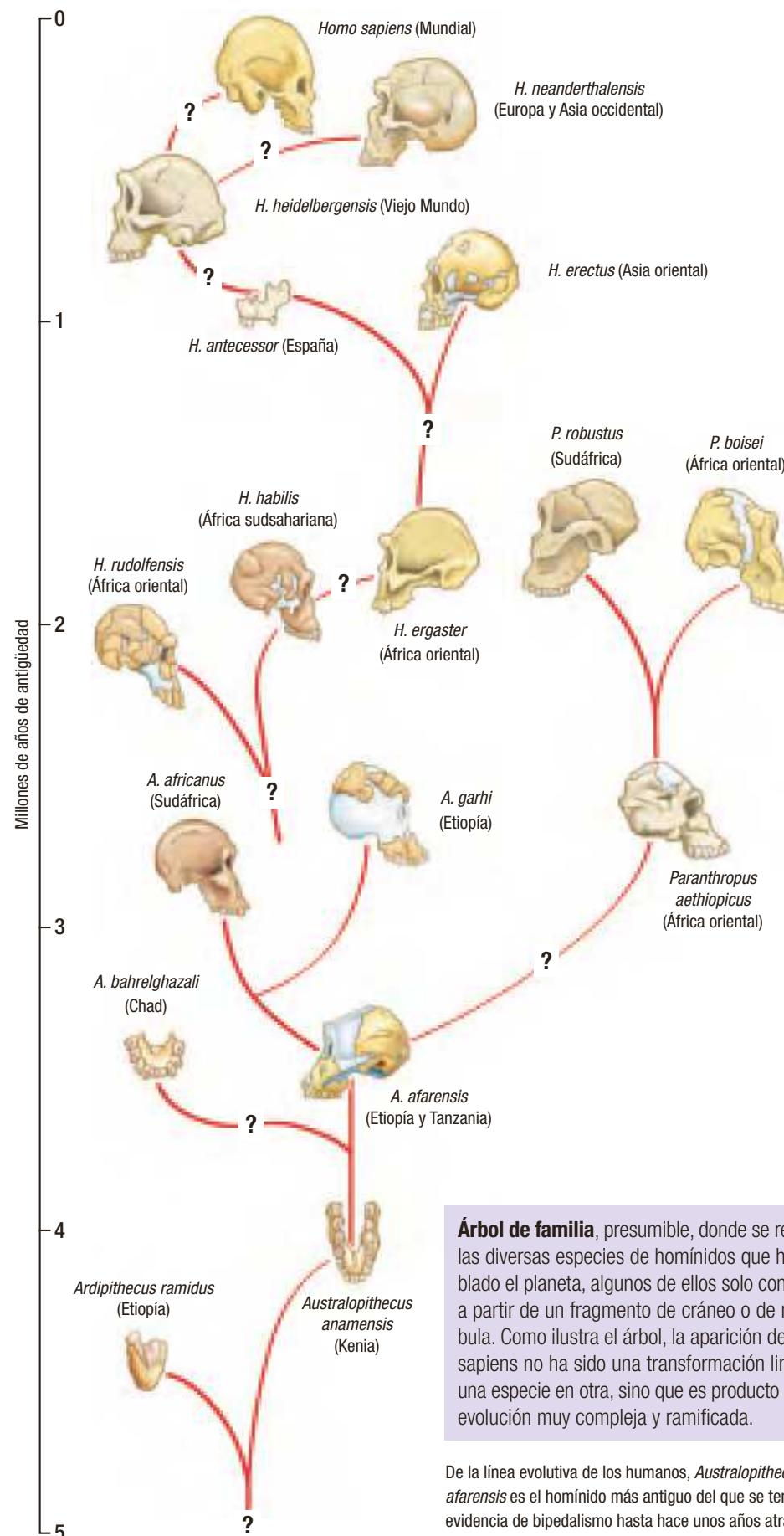
### **Australopithecus**

- Bípedos terrestres.
- Cerebro semejante al de un chimpancé.
- Dientes grandes y robustos.

### **Ardipithecus**

- Cuadrúpedos en los árboles, bípedos en la tierra.
- Caninos pequeños en hembras y machos.

### Árbol de secuencia evolutiva



**Árbol de familia**, presumible, donde se recogen las diversas especies de homínidos que han poblado el planeta, algunos de ellos solo conocidos a partir de un fragmento de cráneo o de mandíbula. Como ilustra el árbol, la aparición de *Homo sapiens* no ha sido una transformación lineal de una especie en otra, sino que es producto de una evolución muy compleja y ramificada.

De la línea evolutiva de los humanos, *Australopithecus afarensis* es el homínido más antiguo del que se tenía evidencia de bipedalismo hasta hace unos años atrás.

Un ejemplo de cambio en las ideas acerca de nuestra evolución ocurrió recientemente, cuando se dio a conocer la investigación realizada por un grupo de científicos que trabajaron por cerca de 15 años en el estudio de los restos fósiles de una especie de homínido temprano. Los resultados de esta investigación fueron publicados en un número especial de la connotada revista científica *Science* (vol. 326, 2 octubre 2009). En esta publicación se analizó información acerca de la especie *Ardipithecus ramidus*, un homínido temprano cuyos primeros fósiles fueron descubiertos en 1992. La importancia de esta especie radica en que presenta **características intermedias** entre los *Australopithecus afarensis* y nuestros parientes actuales más cercanos, los **chimpancés**. La evidencia analizada permite pensar que el *Ardipithecus ramidus* era una especie de homínido que **habitaba en ambientes boscosos**. El análisis de su anatomía indica que **era bípedo**, pero tenía el **dedo gordo del pie oponible**, como los chimpancés, lo que le permitía desplazarse también sobre las ramas de los árboles. Este hallazgo ha llevado a **replantear el origen del bipedalismo**, que hasta entonces se pensaba que se había desarrollado como una respuesta adaptativa a las condiciones de sabana. Pero si no fueron las condiciones de sabana las que propiciaron el bipedalismo, ¿qué fuerzas selectivas llevaron a que esta característica se desarrollara?

Otra de las preguntas que surgen cada vez que un nuevo fósil de homínido es encontrado es si este se encuentra en la **línea evolutiva que llevó a los seres humanos** o es una línea que **se desarrolló en forma paralela**, extinguiéndose. Las respuestas a estas y otras muchas interrogantes están todavía abiertas a investigación y debate y algunas de ellas probablemente no sean respondidas en el futuro cercano.

### Detalle del dedo oponible de *Ardipithecus ramidus*



▲ Representación del esqueleto de *Ardipithecus ramidus*.

### El genoma de Neanderthal

El proyecto Genoma Humano ha conseguido secuenciar todo el ADN de nuestra especie, *Homo sapiens*. Conocer el genoma de *Homo neanderthalensis* permitiría, entre otras cosas, establecer con mayor certeza nuestro grado de parentesco con ellos y dilucidar si hubo o no cruce entre ambas especies a lo largo de los 10.000 años que convivieron en Europa.

No hay duda de que hubo contacto entre ambas especies de homínidos, pero ¿existió intercambio genético? Hasta hace pocos años se consideraba imposible descifrar el genoma de Neanderthal, ya que esta especie desapareció hace 30.000 años. Sin embargo, los científicos ya disponen de técnicas y muestras que les han permitido obtener este ADN y están trabajando en su secuenciación.

Cuando la secuenciación del genoma de Neanderthal esté acabada, estaremos un poco más cerca de resolver una de las controversias acerca de nuestra evolución, tema que por largo tiempo ha sido estudiado por los científicos. Este será sin duda un paso trascendental que ayudará a resolver, en parte, el gran rompecabezas de la evolución humana. De ahí la relevancia de una de las características intrínsecas de la ciencia, su **dinamismo**, y el valor de estas nuevas técnicas que se suman a intentar descifrar la información que nos brindan los fósiles.

### Para GRABAR

Las evidencias fósiles encontradas indican que el origen de *Homo sapiens* es africano y que las especies vivas más cercanamente emparentadas con nosotros son los chimpancés y gorilas. La línea evolutiva de la cual nos habríamos desarrollado los seres humanos se separó de los chimpancés hace unos 7 millones de años.

# Evolución del género *Homo*

El camino que recorrieron los homínidos tempranos hasta llegar a *Homo sapiens* es incierto. No conocemos la secuencia exacta de eventos ni cómo se sucedieron las especies. Tampoco sabemos con exactitud cuáles de las especies descubiertas hasta ahora pertenecen a la línea directa de la nuestra. Las hipótesis actuales se basan en ciertos supuestos, más o menos razonables, de cómo creemos que ocurrió el proceso de hominización de nuestros antepasados. Se piensa, por ejemplo, que varias de las especies de *Australopithecus* corresponden a una línea evolutiva paralela, no relacionada con nuestros orígenes.

## AYUDA

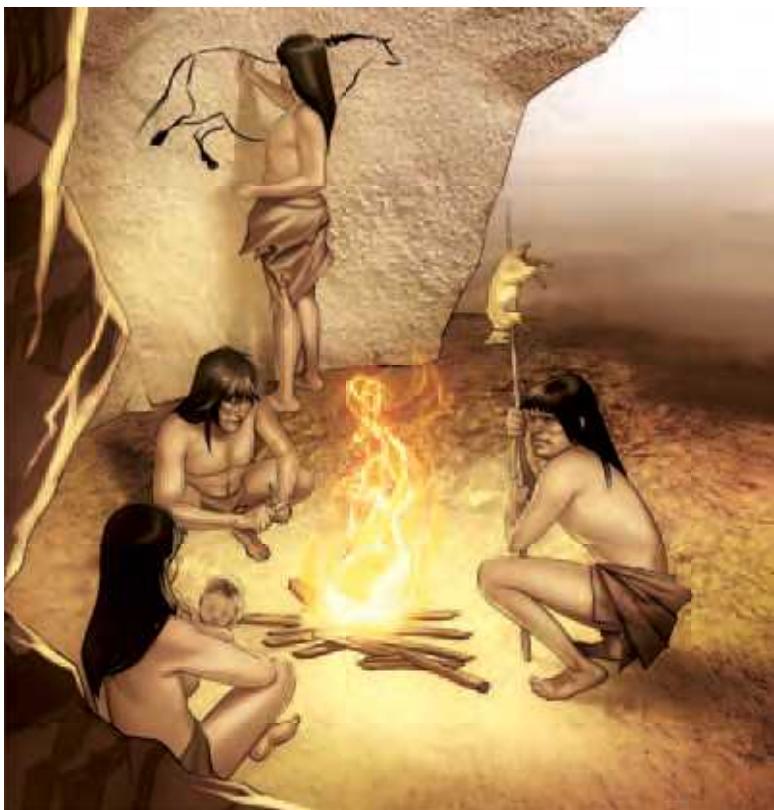
**Antropoide:** grupo de los primates que se caracteriza por la ausencia de cola, un enderezamiento progresivo del tronco, el aumento del volumen de la masa encefálica y la reducción del esqueleto facial. El pelaje es muy denso y en algunas especies presenta coloraciones vistosas. Las manos y los pies son prensiles, generalmente con el pulgar oponible, como resultado de la adaptación a la vida arborícola.

Habiéndose adquirido el **bipedalismo**, haya sido este un rasgo aparecido en el ambiente boscoso o de sabana, se puso en marcha una serie de otros cambios que convirtieron a un grupo de estos recién aparecidos antropoides en la especie dominante del planeta. El camino, sin embargo, no fue fácil, porque muchos de los cambios que ocurrieron en realidad nos hicieron **físicamente más vulnerables**. Pensemos, por ejemplo, en la evolución de nuestros brazos y manos. Estos órganos, al dejar de participar en forma activa y permanente en la locomoción, se vieron liberados de la “necesidad” de ser órganos **fuertes y resistentes**, características fundamentales en el resto de los simios. En este proceso de cambio, aparecieron otras **posibilidades evolutivas** relacionadas con sus nuevas funciones y las extremidades anteriores ganaron en términos de **complejidad** y **precisión** de los movimientos de manipulación de objetos. Estos cambios, a su vez, impusieron grandes **presiones de selección** sobre el **sistema nervioso y el cerebro**.

En algún momento de este proceso evolutivo, liberado el cráneo de la limitación de tener un gran tamaño, impuesta por la marcha cuadrúpeda, el tamaño del cerebro comenzó a aumentar. Este **crecimiento de la capacidad cerebral** y los **nuevos desafíos** a los que se vieron enfrentadas estas especies posibilitaron la aparición de **nuevas adaptaciones y habilidades**. El manejo de objetos y eventualmente herramientas abrieron diversas posibilidades y con ello se generaron otras **presiones selectivas**.

Hace unos 2,3 millones de años, un grupo de estos antropoides comenzó a utilizar rocas como **herramientas**. Inicialmente, estas piedras eran probablemente usadas como armas sencillas que podían lanzar o como morteros que usaban para moler. Posteriormente, descubrieron que al golpear ciertas rocas obtenían fragmentos filosos, con los que podían cortar la carne y los tejidos de los animales para obtener alimento. Los primeros restos a los que fue posible asociarles la utilización de herramientas fueron descubiertos en África. Esta especie, ***Homo habilis*** (hombre hábil), que habría existido hasta hace unos 1,4 millones de años, presentaba un volumen cerebral un poco mayor (500-600 cc) que el de los australopitecinos (<500 cc) y es la especie más antigua descrita del género *Homo*.

Aparentemente, en línea directa con *Homo habilis* se encuentra la especie ***Homo erectus***, descrita originalmente en Asia. En la actualidad se piensa que las poblaciones asiáticas de *Homo erectus* habrían derivado de grupos africanos de esta especie, cuyos fósiles fueron originalmente descritos como *Homo ergaster*. Las similitudes entre estas dos especies (*H. erectus* y *H. ergaster*) hacen pensar que en realidad corresponden a la misma especie y las diferencias entre ambas pueden ser explicadas como resultado de su separación y adaptación a ambientes distintos luego de su salida de África.



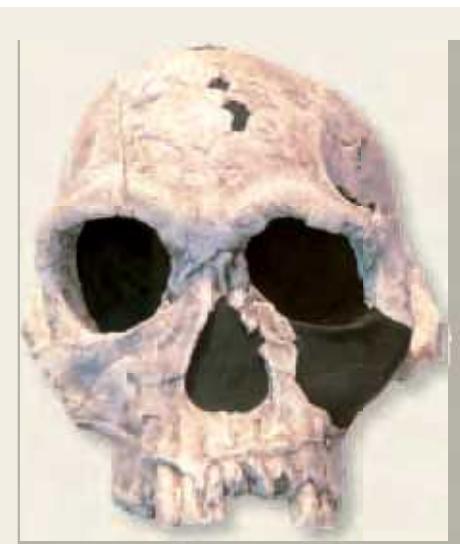
▲ Representación de un grupo de *Homo sapiens*. Se observa como característica el dominio del fuego y el desarrollo del arte rupestre.

El *Homo erectus* presentaba un **tamaño cerebral considerablemente mayor** que el de las especies anteriores (850-1100 cc) y un **tamaño corporal** semejante al de los **humanos actuales**, pero de una **robustez mayor**. Su uso y desarrollo de las herramientas era mucho más avanzado que el de sus predecesores, llegando a dominar el **tallado de herramientas**, como cuchillos y puntas de lanza que fabricaban en piedra y hueso. Se sabe que era capaz de **controlar el fuego** para cocinar sus alimentos, pero se desconoce si podía producirlo por voluntad propia o si lo obtenía desde fuentes naturales, como incendios. Se piensa, además, que fue una de las primeras especies de homínidos que salieron de África, dando origen a las poblaciones euro-asiáticas de esta especie.

Actualmente, la mayoría de los paleoantropólogos descarta la idea de que el *Homo sapiens* se haya originado directamente a partir de las poblaciones asiáticas de *Homo erectus* y el origen africano de nuestra especie es la idea más aceptada. Se piensa, por ende, que el *Homo erectus* africano (también lo puedes encontrar como *Homo ergaster*) sería el antecesor directo de otras especies del género *Homo* más modernas, como el *H. heidelbergensis*, el *H. neanderthalensis* y el *H. sapiens*; sin embargo, las relaciones entre estas especies se encuentran aún en discusión.

### Ampliando MEMORIA

Para complicar un poco más nuestro rompecabezas, hacia fines de la década de 1990 se encontraron, fuera de África, restos de una nueva especie de homínido, más antigua que *H. erectus*. Estos fósiles, encontrados en la localidad de Dmanisi, Georgia, fueron denominados *Homo georgicus* y presentan características intermedias entre *H. habilis* y *H. erectus*. Esta especie habría vivido hace unos 1,8 millones de años.



▲ Plano entero de la reconstrucción de un cráneo fósil de *Homo habilis*.



▲ Plano entero de la reconstrucción de un cráneo fósil de *Homo erectus*.



▲ Plano entero de la reconstrucción de un cráneo fósil de *Homo heidelbergensis*.



▲ Plano entero de la reconstrucción de un cráneo fósil de *Homo neanderthalensis*.



▲ Plano entero de la reconstrucción de un cráneo fósil de *Homo sapiens*.

## Evolución cultural

Se piensa que gran parte de lo que nos distingue como especie se relaciona con nuestra capacidad para **resolver problemas**. Se cree también que esta característica se relaciona con cambios en la estructura corporal ocurridos a lo largo de nuestra historia evolutiva, algunos de los cuales partieron, como ya hemos discutido, cuando los mamíferos se separaron de los reptiles, con el desarrollo de las extremidades anteriores en la línea de los primates y con el bipedalismo.

Se piensa, además, que como parte de las transformaciones que ocurrieron en nuestra línea evolutiva se produjeron cambios conductuales importantes, principalmente en términos del aumento de la **sociabilidad** y de la **cooperación** entre los individuos. Es posible que haya ocurrido un aumento del **cuidado parental**, posibilitado, en gran medida, por la liberación de las manos producto del bipedalismo, y con ello una mayor **sobrevida de la descendencia**. Además, la aparición de conductas complejas, como la fabricación y utilización de herramientas, debe haber ido acompañada de alguna forma de **transmisión de los conocimientos** dentro y entre los grupos sociales.

Existen evidencias, en **antropoides actuales**, de transmisión de conocimientos entre individuos de grupos sociales, como los observados en ciertas poblaciones de **macacos japoneses** (*Macaca fuscata*). Es probable que en la medida que estas nuevas habilidades se desarrollaban, hayan estado sometidas a una fuerte **presión de selección**, lo que habría impuesto, además, pre-

siones selectivas sobre la anatomía, el sistema nervioso y ciertos aspectos conductuales, como aumento de la docilidad, de conductas gregarias (recordemos los genes de la domesticación) y en la capacidad de comunicación. Todos estos procesos habrían impulsado una serie de cambios sin precedentes que llevaron en un tiempo evolutivo muy corto a la **diferenciación de nuestra especie**.

A partir de la aparición del **lenguaje hablado**, estos cambios deben haberse precipitado y sin duda cuando apareció el **lenguaje simbólico y escrito** se abrieron nuevas oportunidades inexistentes para el resto de las especies. Las primeras evidencias de protoescritura (hace unos 9.000 años), en la forma de representaciones icónicas, símbolos e imágenes, y las primeras evidencias de lenguaje escrito (hace unos 5.000 años) son muy recientes en la historia de nuestra especie, que se remonta a unos 200-100 mil años. Sin duda, la aparición del lenguaje escrito marca un hito sin precedentes en nuestra historia, a partir del cual el **registro de los conocimientos** se hizo independiente de la transmisión directa, posibilitando el registro permanente (en teoría) de los avances logrados por *Homo sapiens*. Muy probablemente este ha sido uno de los motores de cambio reciente en nuestra especie, que en términos biológicos no ha experimentado transformaciones comparables a la magnitud de los avances culturales y tecnológicos de los últimos 5.000 años.

▲ Etólogos han estudiado en la especie de macaco japonés o de cara roja la transmisión de conocimientos de las madres a las crías y su traspaso a través de las generaciones.

### Para GRABAR

Las relaciones evolutivas entre las especies de homínidos más antiguos podrían cambiar a la luz de nueva evidencia fósil. Este es un ejemplo particular del carácter dinámico que tiene el conocimiento científico.



## Antropoceno, ¿la Era del hombre?

Este término fue acuñado por el químico holandés y Premio Nobel **Paul Crutzen** hace alrededor de una década, aludiendo al impacto que como especie hemos provocado en la Tierra. Según sus propias palabras, esta expresión surge como una advertencia a tomar conciencia global sobre las consecuencias positivas o negativas de nuestras acciones individuales y colectivas para evitar llegar a un punto sin retorno, si es que ya no lo estamos. El debate entre los geólogos está abierto y hoy en día se evalúa si nuestro grado de impacto ha llegado a tener importancia geológica y las proyecciones que esto tendría.

Veamos a continuación, a través de imágenes, algunos ejemplos que evidencian las dimensiones de los cambios que hemos provocado en distintas partes del planeta.



▲ Si se producen aproximadamente 6.800.000.000 kilogramos de basura al día en La Tierra y un 1% de esa basura es “residuo tecnológico”, hablamos de 68.000.000 de kilogramos de tecnología desechados diariamente por el ser humano.



▲ Imagen que representa la contaminación lumínica que actualmente estamos emitiendo a nuestro planeta. Este registro se obtuvo gracias a la composición de cientos de fotografías realizadas por los satélites en órbita.



▲ En Borneo se han deforestado enormes extensiones de terreno para plantar ejemplares de palma aceitera. Esta isla es la cuarta más grande del mundo y hogar de especies únicas que se están extinguendo porque les hemos destruido su hábitat.



▲ La población humana ha llegado a un límite de crecimiento que está superando la capacidad absoluta del planeta para asimilarlo. La cantidad de terrenos destinados a vivienda y agricultura están arrasando con gran parte de la biodiversidad presente en la Tierra. Se estima que en noviembre de 2011 la población humana alcanzó los 7.000 millones de habitantes.

En síntesis y como hemos visto a lo largo de estas dos unidades, podremos estar de acuerdo con que la evolución **no sigue una dirección** preestablecida, **no hay una finalidad** y tampoco existe una **única respuesta** a los problemas con los que se encuentran los organismos.

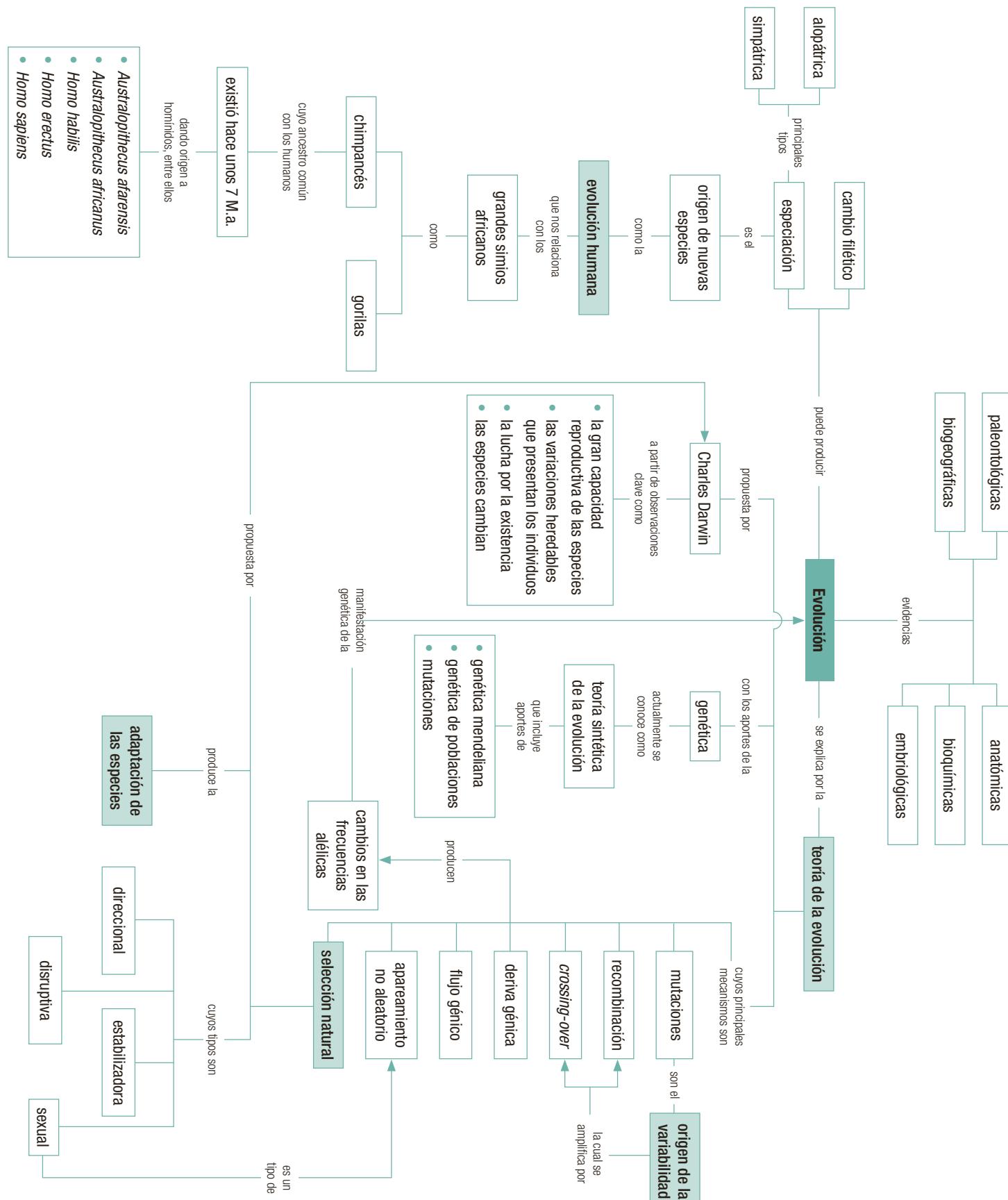
Cada organismo responde a las presiones ambientales sobre la base de sus propias posibilidades. Los organismos que forman una especie, al compartir entre ellos muchas más características que con los individuos de otras especies, responden de manera similar, determinando en su conjunto la

respuesta de la especie a la cual pertenecen. Así, ante la misma presión ambiental o problema, distintas especies pueden responder de maneras diversas, lo cual somete a los individuos a presiones selectivas disímiles, que llevan, entre otras cosas, a la **diferenciación**.

Esta diferenciación pone a la especie en un camino evolutivo distinto, con **nuevas posibilidades**, pero también con **nuevas limitaciones**, con las que tendrá que resolver los problemas actuales y futuros. Este proceso de **adaptación** es permanente y ocurre en **todas las especies**.

# Organizando favoritos

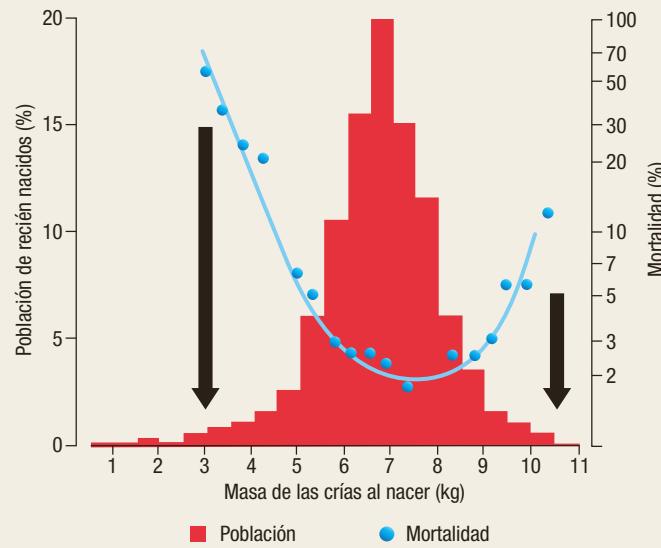
El siguiente organizador gráfico resume las relaciones entre los principales contenidos abordados en la unidad. Léelo y luego construye un ensayo que incluya al menos 15 de los conceptos que en este se mencionan.



# Cargando disco

Te invitamos a resolver el siguiente ejemplo de pregunta, la que deberás responder a partir de la correcta **interpretación de un gráfico** que tiene relación con la **selección natural**.

1. El siguiente gráfico muestra la relación entre la mortalidad de una especie y la masa de las crías al nacer.



De acuerdo al gráfico, es posible afirmar correctamente que:

- A. La selección natural está favoreciendo a las crías de masas extremas.
- B. La selección natural que está actuando es de tipo estabilizante.
- C. Las crías de menor masa sobreviven más que las de mayor masa.
- D. Los individuos que nazcan con masas cercanas al promedio dejarán menos descendencia.
- E. En esta especie, es más probable que muera una cría que nazca de 5 kg a una que nazca de 1 kg.

A continuación analicemos las respuestas.

- A. **Incorrecta.** A partir de la lectura del gráfico es posible observar que los porcentajes más altos de mortalidad ocurren en las crías de menor masa. En las de mayor tamaño también se produce un incremento en los índices; por lo tanto, la alternativa es incorrecta, ya que la selección no está favoreciendo a las crías de masas extremas.
- B. **Correcta.** Se habla de una selección estabilizante cuando favorece fenotipos intermedios, es decir, los individuos con rasgos intermedios tienen mayor probabilidad de sobrevivencia y, por lo tanto, de dejar descendencia. En este caso, las crías con masas intermedias son las que poseen menor porcentaje de mortalidad y por ende mayor probabilidad de dejar descendencia. La alternativa es la correcta, ya que en términos selectivos está operando una selección estabilizadora.
- C. **Incorrecta.** Al analizar correctamente los datos de la curva se observa justamente lo opuesto: las crías de menor masa sobreviven menos que las de mayor masa.
- D. **Incorrecta.** Del gráfico se desprende que los individuos que nazcan con masas cercanas al promedio tendrán más probabilidades de sobrevivir y por lo tanto de dejar más descendencia.
- E. **Incorrecta.** Al comparar los porcentajes de mortalidad de crías de 1 y 5 kg, respectivamente, se puede observar que es más probable que muera una cría de menor masa; por lo tanto, la alternativa también es incorrecta.

Entonces la alternativa correcta es B

1	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
---	-----------------------	----------------------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

**I. Marca la alternativa que consideres correcta.****1. Determina cuál de las siguientes asociaciones es incorrecta:**

- A. Lamarck – uso y desuso.
- B. Órganos análogos – igual función.
- C. Apéndice humano – órgano vestigial.
- D. Órganos homólogos – origen embrionario común.
- E. Aleta de delfín y brazo humano – distinto origen embrionario.

**2. Para el desarrollo de su teoría evolucionista, Charles Darwin se apoyó en:**

- I. Evidencias biogeográficas.
- II. Evidencias paleontológicas.
- III. Evidencias moleculares y bioquímicas.

- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y II.
- E. I, II y III.

**3. La evolución biológica:**

- I. Tiende a producir adaptación.
- II. Tiene una finalidad preconcebida.
- III. No sigue una dirección preestablecida.

- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y II.
- E. Solo I y III.

**4. Charles Darwin es conocido por su teoría de la evolución por:**

- A. Medio de la aparición de mutaciones.
- B. Medio de un proceso de autogénesis.
- C. Una voluntad interna de las especies.
- D. Medio de un mecanismo de selección natural.
- E. Acción de los genes como fuente de variación.

**5. Sobre las mutaciones, es falso decir que:**

- A. Pueden transmitirse a la descendencia.
- B. Son la primera fuente de variabilidad en los organismos.
- C. Son suficientes para explicar el proceso de especiación.
- D. Pueden ocurrir en el genoma de células somáticas y germinales.
- E. Son errores que se producen en la secuencia de material genético.

**6. Determina cuál de las siguientes asociaciones es incorrecta.**

- A. Flujo génico – entrada y salida de genes a una población.
- B. Crossing-over – mecanismo de aislamiento prezigótico.
- C. Especiación – aislamiento reproductivo de las poblaciones.
- D. Mutación – fuente primaria de variabilidad en las poblaciones.
- E. Deriva génica – cambio aleatorio en la frecuencia de los alelos.

**7. Un mecanismo de aislamiento reproductivo es de tipo poszigótico:**

- A. Si los gametos de las dos poblaciones no se reconocen entre sí.
- B. Cuando los órganos sexuales de dos poblaciones son incompatibles.
- C. Si el híbrido que resulta es sano, pero estéril en términos reproductivos.
- D. Cuando ocurren cambios significativos en el genotipo de dos poblaciones.
- E. Por incompatibilidad de tipo inmunológico en especies con fecundación interna.

**8. La convergencia evolutiva:**

- I. Se da solo entre especies relacionadas.
  - II. Da cuenta de similitudes morfológicas de especies distintas.
  - III. Se origina por presiones selectivas en especies distintas de ambientes similares.
- A. Solo I.
  - B. Solo I y II.
  - C. Solo I y III.
  - D. Solo II y III.
  - E. I, II y III.

**9.** La selección direccional es uno de los tipos de selección natural que actúan sobre las poblaciones. De ella podemos decir que:

- A. Siempre favorece los valores o caracteres intermedios.
- B. Puede favorecer uno de los valores extremos de un rasgo.
- C. Es un mecanismo natural que nunca genera especiación.
- D. Tiende a favorecer los distintos extremos de un rasgo determinado.
- E. Aumenta la frecuencia de aparición de rasgos desfavorecidos en la población.

**10.** El efecto de la selección del tipo disruptiva sobre un carácter biológico:

- I. Favorece los valores extremos del mismo.
  - II. Favorece los valores intermedios del mismo.
  - III. Puede eventualmente provocar especiación.
- A. Solo I.
  - B. Solo I y II.
  - C. Solo I y III.
  - D. Solo II y III.
  - E. I, II y III.

**11.** La selección estabilizante:

- I. Tiende a desfavorecer los valores extremos del rasgo seleccionado.
  - II. Tiende a restringir la diversidad de expresión de un rasgo en la población.
  - III. Favorece a los individuos promedio para un rasgo determinado.
- A. Solo I.
  - B. Solo I y II.
  - C. Solo I y III.
  - D. Solo II y III.
  - E. I, II y III.

**12.** La especiación simpátrica:

- I. Puede ocurrir por aislamiento ecológico y/o conductual.
  - II. Se produce entre poblaciones separadas geográficamente.
  - III. Involucra el aislamiento genético de las poblaciones.
- A. Solo I.
  - B. Solo II.
  - C. Solo III.
  - D. Solo I y II.
  - E. Solo I y III.

**13.** Selecciona la alternativa que mejor represente el orden de aparición de los siguientes homínidos:

- 1. *Australopithecus afarensis*
  - 2. *Homo sapiens*
  - 3. *Homo erectus*
  - 4. *Australopithecus africanus*
  - 5. *Homo habilis*
- A. 4-2-3-1-5.
  - B. 1-4-3-2-5.
  - C. 1-4-5-3-2.
  - D. 4-1-5-3-2.
  - E. 4-1-3-2-5.

**14.** La evolución cultural de *Homo sapiens* se vio favorecida por:

- I. El desarrollo de conductas gregarias.
  - II. El desarrollo de un lenguaje hablado y escrito.
  - III. La transmisión de conocimiento entre los individuos.
- A. Solo I.
  - B. Solo I y II.
  - C. Solo II y III.
  - D. Solo I y III.
  - E. I, II y III.

## II. Analiza la siguiente situación procedural y luego responde.

### Planteamiento del problema y formulación de hipótesis

Los antibióticos son sustancias utilizadas para el tratamiento de enfermedades causadas por bacterias, ya que actúan inhibiendo la reproducción de estas o provocándoles la muerte. Sin embargo, con el paso del tiempo muchos antibióticos han perdido su eficacia y ya no impiden el desarrollo de las bacterias, o para hacerlo es necesario utilizar dosis mucho mayores. Un antibiótico rara vez logra destruir a todas las bacterias de una población. Las pocas que sobreviven se reproducen muy rápidamente y, en poco tiempo, la población se compone de bacterias que no mueren bajo el efecto del antibiótico. Se dice, entonces, que la población de bacterias es “resistente” a ese antibiótico.

A partir de esto podemos preguntarnos:

¿Responderán de la misma manera las bacterias a la aplicación de distintos antibióticos?

Formula una hipótesis al respecto.

---

---

---

### Procedimiento experimental y obtención de resultados

#### Caso 1

En un laboratorio se cultivaron bacterias de una misma cepa en dos medios: placas control, donde se dejaron crecer colonias de bacterias sin aplicar antibióticos y otras en las que se aplicó el **antibiótico A**.

#### Resultados

Al comparar los resultados, en las placas que se aplicó antibiótico se observó un número menor de colonias que las detectadas en las placas control. Sin embargo, al cabo de cinco días, el conteo en ambos tipos de placas resultó similar, es decir, las bacterias lograron sobrevivir a la acción del **antibiótico A** y reproducirse en forma similar a las bacterias del grupo control.

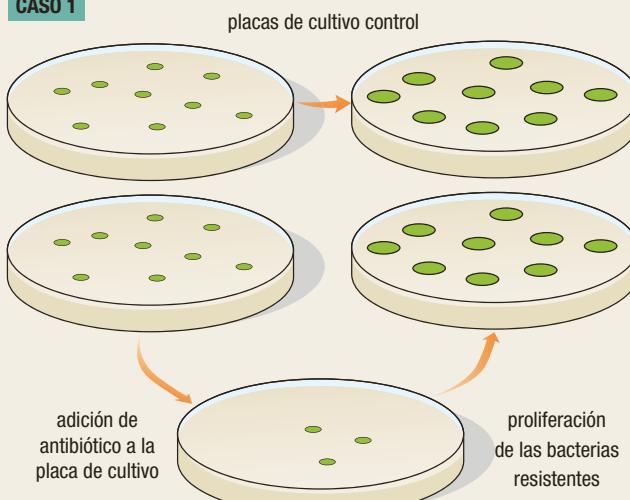
#### Caso 2

Posteriormente, con la misma cepa de bacterias se realizó un procedimiento equivalente al anterior, pero con un nuevo antibiótico: placas control y otras en las que se aplicó el **antibiótico B**.

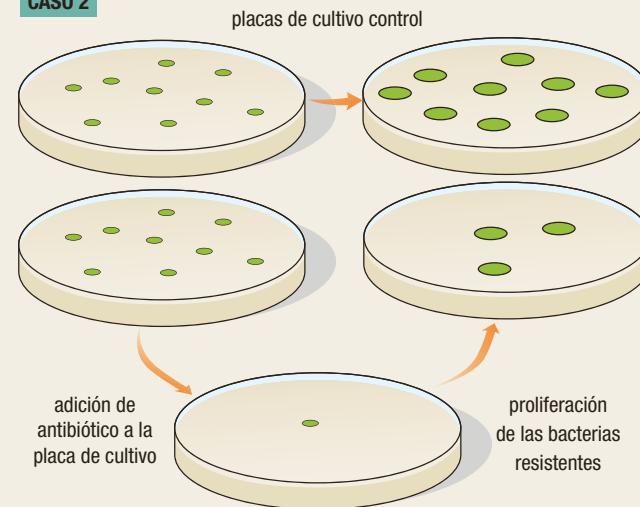
### Resultados

En este caso, al comparar ambos tipos de placas se observó un crecimiento similar al anterior en las que actuaban de control, pero en las placas con el antibiótico B se comprobó que habían desaparecido prácticamente todas las colonias de bacterias, excepto una. Al cabo de cinco días se observó que la colonia de bacterias resistentes **había proliferado**.

#### CASO 1



#### CASO 2



### Interpretación de resultados y elaboración de conclusiones

- ¿Cómo se puede explicar que el **antibiótico A** haya perdido su eficacia?
- ¿Cómo se puede explicar que al aplicar el **antibiótico B** la mayoría de las bacterias haya desaparecido?
- ¿Cuál de los dos antibióticos resultó ser un mejor agente selectivo y por qué?
- ¿Qué hubiese significado si entre la población de bacterias no hubieran existido algunas capaces de sobrevivir a la acción del **antibiótico B**?

# Cerrar sesión

## I. Revisa tus respuestas de alternativas.

Pregunta	Contenido evaluado	Habilidad	Clave	Mi revisión			Logro alcanzado
				Correctas	Incorrectas	Omitidas	
1	Mecanismos de evolución. Páginas 142 a 157.	Recordar					/ 6
2		Recordar					
3		Comprender					
4		Comprender					
5		Comprender					
6		Comprender					
7	Tipos de selección, aislamiento y especiación. Páginas 160 a 173.	Comprender					/ 6
8		Comprender					
9		Aplicar					
10		Aplicar					
11		Aplicar					
12		Aplicar					
13	Evolución humana. Páginas 174 a 183.	Recordar					/ 2
14		Comprender					

## II. Revisa los criterios que se consideran para la respuesta correcta de la situación procedural.

Etapa del método	Criterios
Interpretación de resultados y elaboración de conclusiones.	<p>a. La respuesta debe considerar que en el caso del antibiótico A una gran cantidad de bacterias resultaron resistentes; por lo tanto, se puede concluir que no sería eficaz como posible tratamiento, ya que no hubo grandes diferencias entre las placas con antibiótico y las placas control.</p> <p>b. En este caso, la respuesta debe considerar que en comparación con el antibiótico A, el B resultó más efectivo para combatir a las bacterias, ya que presentó una baja tasa de resistencia.</p> <p>c. Esta respuesta debe considerar la comparación de los resultados obtenidos para ambos antibióticos. Es el B el que resultó ser mejor agente selectivo, ya que solo una colonia bacteriana generó resistencia.</p> <p>d. Esta respuesta se basa en la interpretación de que si no hubiesen sobrevivido colonias de bacterias sería porque el antibiótico resultó ser completamente efectivo y logró erradicarlas sin que se originaran poblaciones resistentes, situación que no ocurrió.</p>

### Mi ESTADO

Anota el nivel de logro de tus aprendizajes de la unidad según la categoría de desempeño dada: 1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

- Elaboré conclusiones a partir de diversas actividades de investigación.
- Comprendí el impacto científico y cultural de la teoría de Darwin.
- Conocí distintos tipos de evidencias y mecanismos evolutivos.
- Reconocí hitos importantes en nuestra historia evolutiva como especie.

# Recopilando disco

I. Para responder, ennegrece el óvalo de la alternativa que consideres correcta en la hoja de respuesta.

1. ¿Cuál de las siguientes asociaciones es incorrecta?

- A. Creacionismo – origen divino.
- B. Deriva génica – variabilidad.
- C. Autogénesis – teoría sintética.
- D. Evolución cultural – lenguaje escrito.
- E. Antropoceno – quema de combustibles fósiles.

2. La teoría sintética de la evolución cuestionó:

- A. La panspermia como teoría evolutiva.
- B. La teoría quimiosintética de Alexander Oparin.
- C. El origen del Universo a partir de una explosión cósmica.
- D. El origen de las variaciones a partir de una voluntad interna.
- E. Las mutaciones como origen de los cambios de los organismos.

3. Elige la secuencia correcta de aparición de los siguientes grupos animales:

- 1. Primeros reptiles.
- 2. Primeras aves.
- 3. Primeros anfibios.
- 4. Primeros mamíferos.
- 5. Primeros dinosaurios.

- A. 3-1-5-2-4.
- B. 1-5-4-3-2.
- C. 1-5-3-4-2.
- D. 3-1-5-4-2.
- E. 1-2-3-4-5.

4. Con respecto al origen de la vida en la Tierra, ¿cuál de las siguientes alternativas es falsa?

- A. Los primeros procariotes fueron probablemente heterótrofos.
- B. El proceso de fotosíntesis aportó oxígeno a la atmósfera primitiva.
- C. El oxígeno molecular fue necesario durante la evolución prebiótica.
- D. La evolución química ocurrió mucho antes que se formara la primera célula.
- E. Los eucariotes se formaron por un proceso de simbiosis entre procariotes.

5. Los eventos ocurridos durante la historia evolutiva temprana de la Tierra pueden ser entendidos como:

- I. Procesos de adaptación y cambio de las especies.
  - II. El resultado de procesos de especiación y extinción.
  - III. Cambios ocurridos en los organismos para aumentar su complejidad.
- A. Solo I.
  - B. Solo II.
  - C. Solo I y II.
  - D. Solo I y III.
  - E. Solo II y III.

6. Determina la asociación incorrecta:

- A. Georges Cuvier – la teoría de la biogénesis.
- B. Charles Darwin – el origen de las especies.
- C. Thomas Henry Huxley – la evolución a saltos.
- D. Charles Lyell – las edades geológicas de la Tierra.
- E. Theodosius Dobzhansky – la teoría sintética de la evolución.

7. ¿Cuáles de las siguientes ideas fueron compartidas entre Lamarck y Darwin?

- I. Que el ambiente influye en los cambios de las especies.
- II. Que opera un mecanismo de selección natural sobre los organismos.
- III. Que existe una voluntad interna que impulsa a los animales a evolucionar.

- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y II.
- E. Solo II y III.

8. ¿Cuál de los siguientes aportes científicos fue posterior a *El origen de las especies* de Charles Darwin?

- A. La refutación de la autogénesis por Louis Pasteur.
- B. La aparición de restos fósiles de diferentes edades geológicas.
- C. Las observaciones de Lamarck sobre la influencia del ambiente.
- D. Los experimentos con trozos de carne y gusanos de Francesco Redi.
- E. La recreación de la atmósfera primitiva de Stanley Miller y Harold Urey.

## **H**oja de respuestas

## **IDENTIFICACIÓN DEL POSTULANTE**

**APELLIDO PATERNO**

**APELLIDO MATERNO**

## NOMBRES

RESPUESTAS

1	A	B	C	D	E
2	A	B	C	D	E
3	A	B	C	D	E
4	A	B	C	D	E
5	A	B	C	D	E
6	A	B	C	D	E
7	A	B	C	D	E
8	A	B	C	D	E
9	A	B	C	D	E
10	A	B	C	D	E
11	A	B	C	D	E
12	A	B	C	D	E
13	A	B	C	D	E
14	A	B	C	D	E

Desprende la hoja y úntala para responder la evaluación semestral.

# T abla de especificaciones

Completa la tabla con las respuestas que te entregó tu profesor(a) y revisa tu desempeño.

Contenido evaluado	Preg.	Habilidad	Clave	Mi revisión*		
				I	O	C
Origen de la vida en la Tierra Págs. 98 a 137	1	Recordar				
	2					
	3	Comprender				
	4					
	5	Aplicar				
Charles Darwin y la evolución Págs. 138 a 171	6	Recordar				
	7	Comprender				
	8					
	9	Aplicar				
	10					
	11					
	12					
Evolución humana Págs. 172 a 187	13	Comprender				
	14					
				Total		

**Mi revisión\***

I: incorrectas    O: omitidas    C: correctas

**NOTAS**

9. Es correcto decir que Charles Darwin con sus trabajos aportó:

- I. Una explicación de cómo podría ocurrir el cambio evolutivo.
- II. Los mecanismos de la transmisión de las características hereditarias.
- III. El papel de la reproducción sexual en la mantención de la variabilidad.
- A. Solo I.
- B. Solo I y II.
- C. Solo I y III.
- D. Solo II y III.
- E. I, II y III.

10. En la imagen se muestra un insecto hoja (*Phyllium bioculatum*) posado sobre una rama. Si Jean-Baptiste Lamarck hubiera explicado las características fenotípicas de este insecto, ¿cuál de las siguientes afirmaciones no habría considerado?



A. Sobre la forma del insecto actuó la selección natural.  
 B. El ambiente influyó en que el insecto adoptara esa forma.  
 C. La forma de hoja del insecto será transmitida a su descendencia.  
 D. La progenitora del insecto le pudo haber transmitido esa forma de hoja.  
 E. El insecto busca perfeccionar su forma para parecer cada vez más una hoja.

11. Basándose en la misma figura de la pregunta anterior, ¿cuál(es) de los siguientes enunciados hubiese propuesto Charles Darwin?

- I. La forma de hoja del insecto es una adaptación a su ambiente.
- II. Mientras más se parezca a la hoja, mayor posibilidad de supervivencia tendrá.
- III. La mutación que no dé lugar a una forma de hoja desaparecerá en la población.
- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo I y II.
- D. Solo II y III.
- E. I, II y III.

12. La genialidad de Charles Darwin como científico no está limitada solamente a sus postulados sobre la evolución de los seres vivos. También adelantó hipótesis que hoy en día son hechos científicos bien documentados, entre los que se encuentran:

- I. El origen africano de la especie humana.
- II. Los cromosomas como portadores de la información genética.
- III. Los grandes simios africanos como nuestros ancestros más cercanos.
- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y III.
- E. I, II y III.

13. ¿Qué alternativa representa la secuencia correcta de eventos evolutivos?

- 1. Origen de los mamíferos.
- 2. Origen de *Homo habilis*.
- 3. Origen de *Homo erectus*.
- 4. Origen de los homínidos.
- 5. Origen de los primates.
- A. 1-3-2-5-4.
- B. 1-5-4-2-3.
- C. 1-5-3-4-2.
- D. 1-5-4-3-2.
- E. 1-2-3-4-5.

14. Es correcto plantear que los estudios paleontológicos de *H. erectus* y *H. habilis* confirman que:

- I. *H. erectus* era anterior a *H. habilis*.
- II. *H. habilis* utilizaba piedras como herramientas.
- III. Ambas especies habían desarrollado el lenguaje.
- A. Solo I.
- B. Solo II.
- C. Solo III.
- D. Solo I y II.
- E. Solo I y III.

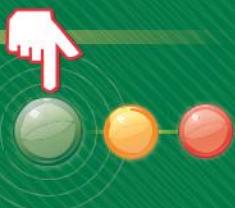


[www.ediciones-sm.cl](http://www.ediciones-sm.cl)  
Servicio de Atención al Cliente:  
600 381 13 12



## Biología

Proyecto Nuevo Explor@ndo



## Química

## Física

## Matemática

## Lenguaje

## Sociales

**ediciones sm**

Ediciones SM pertenece a la Fundación SM, entidad beneficiaria sin fines de lucro, que a través de sus diversos programas asume la responsabilidad de retornar a la sociedad los beneficios que genera el trabajo editorial, creando así oportunidades de integración y de promoción social.



De esta forma, Ediciones SM contribuye a extender la cultura y la educación a los grupos más desfavorecidos, con un proyecto educativo basado en valores, cercanía y compromiso.