

Texto del estudiante

# BIOLOGÍA

## III-IV MEDIO

CAROLINA ABARCA BUSTAMANTE

ANDRÉS CARO CARRERA

DIEGO FERNÁNDEZ VALDIVIESO

SERGIO FLORES CARRASCO

CINTHIA LEPE DÍAZ

LEONOR PEPPER BERGHOLZ

ESTRELLA POBLETE DUCHENS



Edición especial para el Ministerio  
de Educación

Prohibida su comercialización

 **SANTILLANA**





## Presentación

La biología es una ciencia experimental que busca explicar, de forma razonada y mediante experimentos controlados, los procesos que ocurren en los seres vivos y establecer los principios que los rigen. Su progreso y sus características, como los de toda actividad humana, están asociados al contexto cultural en el que se desarrollan. Los avances científicos en otras disciplinas, como la física, la química, la matemática y la informática, permitieron, durante el siglo XX que la biología se transformara en una ciencia sofisticada, capaz de avanzar hacia una comprensión muy profunda de los seres vivos. Hoy, no solo se ha logrado secuenciar el ADN, sino también manipularlo para transformar organismos y buscar curas a las enfermedades; es posible escudriñar el cerebro y comprender de mejor manera la naturaleza del ser humano; se utilizan complejos modelos matemáticos para estudiar la organización de los ecosistemas o cómo se propaga una epidemia en la población. Por todos sus avances y su impacto en la forma de vida y en la manera en que el ser humano se relaciona con la naturaleza, la biología es la ciencia del siglo XXI.

Al estudiar las páginas de este texto lograrás reconocer la interdisciplinariedad de la biología, algunas de sus preguntas fundamentales y sus formas de investigar, para que perfecciones tu pensamiento lógico, tus habilidades de comunicación, de trabajo en equipo y de autoevaluación. También aprenderás a cuidar mejor tu salud y la de los demás y a valorar y preservar la diversidad de las formas de vida. Al lograr estos propósitos formarás parte de un mundo en el que la comprensión de la biología, y de la ciencia en general, es fundamental.

### Este libro pertenece a:

Nombre: \_\_\_\_\_

Colegio: \_\_\_\_\_

Curso: \_\_\_\_\_

Te lo ha hecho llegar gratuitamente el Ministerio de Educación a través del establecimiento educacional en el que estudias.

Es para tu uso personal tanto en tu colegio como en tu casa; cuidalo para que te sirva durante los dos años – III y IV medio.

Si te cambias de colegio lo debes llevar contigo y al finalizar el año, guardarlo en tu casa.

El Texto *Biología III-IV medio* es una obra colectiva, creada y diseñada por el Departamento de Investigaciones Educativas de Editorial Santillana, bajo la dirección editorial de

## RODOLFO HIDALGO CAPRILE

### SUBDIRECTORA DE CONTENIDOS ÁREA PÚBLICA

Eugenia Águila Garay

### COORDINACIÓN ÁREA CIENCIAS

Marisol Flores Prado

### EDICIÓN

Franco Cataldo Lagos

### ASISTENTE DE EDICIÓN

Juan Pablo Espejo Leiva

### AUTORES

Carolina Abarca Bustamante

Andrés Caro Carrera

Diego Fernández Valdivieso

Sergio Flores Carrasco

Cinthia Lepe Díaz

Leonor Pepper Bergholz

Estrella Poblete Duchens

### REVISIÓN DE ESPECIALISTA

Ernesto Molina Balari

Eileen Collyer Saavedra

Paula Farías Rodríguez

Sergio Flores Carrasco

### CORRECCIÓN DE ESTILO

Eduardo Arancibia Muñoz

Ana María Campillo Bastidas

Lara Hübner González

Cristina Varas Largo

Patricio Varetto Cabré

Vabra Vilches Ganga

### DOCUMENTACIÓN

Paulina Novoa Venturino

Cristian Bustos Chavarría

### SUBDIRECTORA DE DISEÑO ÁREA PÚBLICA

Xenia Venegas Zevallos

### JEFE DE DISEÑO ÁREA CIENCIAS

Pablo Aguirre Ludueña

### DIAGRAMACIÓN

Sebastián Alvear Chahuán

### ILUSTRACIONES

Isabel Guerrero Schiappacasse

### FOTOGRAFÍAS

Archivo Santillana

Santillana Argentina

Latinstock

Wikimedia Commons

### CUBIERTA

Daniel Monetta Moscoso

### PRODUCCIÓN

Germán Urrutia Garín

© 2013, by Santillana del Pacífico S. A. de Ediciones  
Dr. Aníbal Ariztía 1444, Providencia, Santiago (Chile)  
PRINTED IN CHILE

Impreso en Chile por Quadgraphics  
ISBN: 9789561521025 Inscripción N°:  
Se terminó de imprimir esta 1ª edición de  
117.700 ejemplares, en el mes de diciembre del año 2012.  
[www.santillana.cl](http://www.santillana.cl)

# Biología

## III - IV medio

### AUTORES

**Carolina Abarca Bustamante**

Licenciada en Educación,  
Profesora de Biología y Ciencias Naturales,  
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.

**Andrés Caro Carrera**

Licenciado en Educación,  
Profesor de Biología y Ciencias Naturales,  
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.

**Diego Fernández Valdivieso**

Profesor de Biología y Ciencias Naturales,  
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.  
Magíster en Ciencias Mención Zoología,  
Universidad de Concepción.

**Sergio Flores Carrasco**

Profesor de Biología y Ciencias Naturales,  
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.  
Doctor en Ciencias Biomédicas, Facultad de Medicina  
Universidad de Chile.

**Cinthia Lepe Díaz**

Licenciada en Educación,  
Profesora de Biología y Ciencias Naturales,  
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación.

**Leonor Pepper Bergholz**

Tecnólogo Médico, Universidad de Chile.  
Magíster en Biología, Universidad de Chile.

**Estrella Poblete Duchens**

Bióloga con Especialidad en Recursos Naturales y Medio Ambiente,  
Pontificia Universidad Católica de Chile.  
Mg(c) Áreas Silvestres y Conservación de la Naturaleza,  
Universidad de Chile.



## Organización del Texto del estudiante Biología III - IV medio

El Texto **Biología III - IV medio** se organiza en ocho unidades; las cinco primeras abarcan los contenidos mínimos obligatorios y los objetivos fundamentales de tercer año medio y las tres últimas, los correspondientes a cuarto año medio. Cada unidad está dividida en lecciones. Todas las unidades y lecciones poseen una estructura y organización común, las que se describen a continuación:

### 1. Inicio de unidad

Allí encontrarás diferentes secciones y recursos que te permitirán conocer lo que estudiarás y recordar algunas ideas previas de estos contenidos. La imagen te ayudará a situarte en el tema; esta se relaciona con el texto introductorio que contextualiza los contenidos que revisarás en la unidad y describe su propósito general.



#### ▲ ¿Qué piensas?

Contiene preguntas relacionadas con los recursos visuales y con el texto introductorio. Te servirán para reflexionar acerca de los nuevos temas que se abordarán y a activar los conocimientos que posees con respecto a ellos.

#### ▲ Organizador de la unidad

Diagrama que presenta las lecciones y lo que se espera que aprendas en cada una de ellas.

### 2. Desarrollo de contenidos

#### ▶ Título de cada lección

Pregunta que orienta acerca del contenido y propósito de la lección.

#### ▶ Debes recordar

Sección en la que se mencionan los contenidos aprendidos anteriormente o los prerrequisitos que te serán útiles durante la lección.

#### ▶ Trabaja con lo que sabes

Evaluación diagnóstica en la que se abordan los prerrequisitos. Te ayudará en la activación de ideas previas relacionadas con los nuevos conocimientos o procedimientos.

#### ▶ Propósito de la lección

Texto breve que te muestra el sentido y relevancia de los conocimientos o procedimientos que aprenderás en la lección y declara explícitamente su finalidad.



#### ▶ Minitaller

Actividad demostrativa o práctica breve en la que podrás demostrar tus conocimientos y habilidades de análisis, interpretación, investigación y comunicación, entre otras.

**Aquí ciencia ▶**

Te muestra datos de investigaciones científicas que confirman que la ciencia progresa constantemente y que su avance influye en la sociedad. Está asociada a preguntas orientadas a la aplicación de tus habilidades de pensamiento científico.

**Actividad ▶**

Las encontrarás a lo largo del texto y mediante ellas podrás desarrollar diferentes habilidades, aplicando los contenidos aprendidos en la lección.



▲ **Inter@ctividad**

Presenta direcciones webs a partir de las cuales profundizarás tus conocimientos y aplicarás tus habilidades.

▲ **Para saber +**

En esta sección se profundiza o amplía un concepto para que logres una mejor comprensión de él.



▲ **Conexión con...**

En esta sección se relacionan los contenidos de la lección con otras áreas del conocimiento, como medicina, literatura y matemática.



◀ **140**

Esta sección te invita a que escribas tu opinión acerca de un tema, en no más de 140 caracteres, y la comuniques a tus compañeros, por ejemplo, usando Internet.



◀ **Apunte**  
Definición breve de un concepto necesario para comprender mejor la lección.

◀ **Antes de seguir**  
Al cierre de cada lección se proponen preguntas que te permitirán saber cuánto has aprendido.

▲ **Reflexiona**

Texto relacionado con los objetivos transversales que debes desarrollar durante este año. Te invita a hacer una reflexión que puedes compartir con tus compañeros en un ambiente de respeto.



▲ **Divulgación científica**

En dos páginas se te presenta información científica relacionada con contenidos tratados en la unidad, con el objetivo de promover el diálogo, el razonamiento y el desarrollo de opiniones frente a hechos concretos.



▲ **Trabajo científico**

Es un módulo de dos páginas destinado a que practiques uno o más procesos científicos, como plantear preguntas, proponer hipótesis, extraer conclusiones basadas en las evidencias y comunicar tus resultados.



**Organiza lo que sabes** ▶

Sección que te propone relacionar los conceptos que selecciones mediante un esquema que sintetice tu aprendizaje. Tendrás la oportunidad de exponer tu trabajo a tus compañeros y recibir sus comentarios, lo que te ayudará a advertir lo que has aprendido y a mejorar tus habilidades de comunicación.

**Evaluación de proceso** ▶

Al responder las preguntas planteadas podrás poner a prueba tu dominio de los conceptos y habilidades trabajados hasta ese momento en la unidad. Incluye la sección **Me evalúo**, donde podrás conocer tu puntuación, valorar tu desempeño y decidir una acción acerca de tu estrategia de aprendizaje de cada una de las metas propuestas en las lecciones precedentes.



**3. Páginas finales de la unidad**

◀ **Síntesis de la unidad**

En una doble página encontrarás las ideas centrales de cada lección de la unidad, algunas de ellas asociadas a imágenes que facilitarán su reconocimiento y la relación de los conceptos.



**Evaluación final de la unidad** ▶

En estas cuatro páginas encontrarás preguntas derivadas de cada una de las lecciones, cuya puntuación está asociada a la importancia del contenido que aborda y a su dificultad.

La sección **Me evalúo** te permitirá medir el logro de cada una de las metas de aprendizaje declaradas en el organizador de la unidad.



## 1

### Control de la homeostasis 10

<b>Lección 1:</b> ¿Los seres vivos somos sistemas?.....	12
<b>Lección 2:</b> ¿Cómo se regula la homeostasis?.....	20
<b>Divulgación científica:</b> El estrés: un problema del mundo actual.....	26
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 1 y 2.....	28

<b>Lección 3:</b> ¿Cómo se regula la temperatura? .....	30
<b>Lección 4:</b> ¿Cómo afecta el estrés a la homeostasis.....	34
<b>Trabajo científico:</b> Diferencias en la secreción de cortisol entre hombres y mujeres.....	42
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 3 y 4.....	44
<b>Síntesis de la Unidad</b> .....	46
<b>Evaluación final de Unidad</b> .....	48

## 2

### Organización y función del sistema nervioso 52

<b>Lección 1:</b> ¿Qué células forman el tejido nervioso?.....	54
<b>Lección 2:</b> ¿Cómo se organiza y funciona nuestro sistema nervioso?.....	58
<b>Trabajo científico:</b> Planteamiento y comprobación de hipótesis para explicar la relación estructura-función de diferentes encéfalos en vertebrados.....	68
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 1 y 2.....	70

<b>Lección 3:</b> ¿Por qué las neuronas pueden conducir un impulso nervioso? .....	72
<b>Lección 4:</b> ¿Cómo se comunican las neuronas?.....	76
<b>Lección 5:</b> ¿Cómo se producen los reflejos?.....	80
<b>Divulgación científica:</b> El efecto del maltrato sobre el cerebro .....	84
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 3 a 5.....	86
<b>Síntesis de la Unidad</b> .....	88
<b>Evaluación final de Unidad</b> .....	90

## 3

### Sensación y percepción 94

<b>Lección 1:</b> ¿Cómo captamos la información del medio? .....	96
<b>Lección 2:</b> ¿Qué estructuras componen nuestros ojos?.....	102
<b>Lección 3:</b> ¿Cómo se produce la visión? .....	106
<b>Trabajo científico:</b> Disección de ojo.....	110

<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 1 a 3.....	112
<b>Lección 4:</b> ¿Cómo podemos escuchar?.....	114
<b>Lección 5:</b> ¿Cómo actúan las drogas en el sistema nervioso? .....	120
<b>Divulgación científica:</b> Estimulación multisensorial ....	128
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 4 y 5.....	130
<b>Síntesis de la Unidad</b> .....	132
<b>Evaluación final de Unidad</b> .....	134

## 4

### Teorías evolutivas 138

<b>Lección 1:</b> ¿Cuál es el origen de la diversidad biológica? .....	140
<b>Lección 2:</b> ¿Cómo sabemos que existe la evolución biológica? .....	142
<b>Trabajo científico:</b> Uso de un modelo para estudiar la selección natural.....	148

<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 1 y 2.....	150
<b>Lección 3:</b> ¿Cómo ocurre la evolución? .....	152
<b>Lección 4:</b> ¿Han cambiado las teorías evolutivas?.....	160
<b>Divulgación científica:</b> Selección natural y salud.....	162
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 3 y 4.....	164
<b>Síntesis de la Unidad</b> .....	166
<b>Evaluación final de Unidad</b> .....	168

## 5

### Causas de la evolución y de la especiación 172

<b>Lección 1:</b> ¿Cuál es el origen de la variabilidad? .....	174
<b>Lección 2:</b> ¿Cómo influye el azar en la evolución de una población? .....	180
<b>Lección 3:</b> ¿Cuáles son las consecuencias de la selección natural? .....	184

<b>Divulgación científica:</b> Selección natural e intolerancia a la lactosa .....	190
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 1 a 3.....	192
<b>Lección 4:</b> ¿Cómo se forman las nuevas especies?.....	194
<b>Trabajo científico:</b> Efecto del flujo génico.....	200
<b>Evalúo mi progreso</b> Lección 4.....	202
<b>Síntesis de la Unidad</b> .....	204
<b>Evaluación final de Unidad</b> .....	206

## 6 ADN y biotecnología 210

<b>Lección 1:</b> ¿Cómo es la molécula de ADN? .....	212
<b>Lección 2:</b> ¿Cómo se hereda el ADN? .....	216
<b>Lección 3:</b> ¿Cómo se expresa la información del ADN? .....	222
<b>Lección 4:</b> ¿Cómo se sintetiza un polipéptido? .....	228
<b>Trabajo científico:</b> Análisis de un experimento para determinar el modelo de la replicación del ADN.....	232

<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 1 a 4.....	234
<b>Lección 5:</b> ¿Qué es el proyecto genoma humano? .....	236
<b>Lección 6:</b> ¿Qué puede ocurrir si se altera tu ADN? .....	238
<b>Lección 7:</b> ¿Qué es la biotecnología?.....	242
<b>Divulgación científica:</b> Terapia génica.....	248
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 5 a 7 .....	250
<b>Síntesis de la Unidad</b> .....	252
<b>Evaluación final de Unidad</b> .....	254

## 7 Inmunidad 258

<b>Lección 1:</b> ¿Cuáles son los principales microorganismos patógenos? .....	260
<b>Lección 2:</b> ¿Cuáles son nuestras defensas? .....	268
<b>Lección 3:</b> ¿Qué hacen las células y moléculas del sistema inmune?.....	276
<b>Lección 4:</b> ¿Cómo se desarrolla la respuesta inmune adaptativa? .....	284
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 1 a 4 .....	292
<b>Trabajo científico:</b> Análisis de un experimento clásico para estudiar la selección clonal.....	294

<b>Lección 5:</b> ¿Cómo podemos prevenir y tratar las enfermedades infecciosas? .....	296
<b>Lección 6:</b> ¿Qué sucede cuando se altera el sistema inmune?.....	302
<b>Lección 7:</b> ¿Cómo es posible evitar el rechazo de los tejidos trasplantados?.....	310
<b>Divulgación científica:</b> La utilización de anticuerpos monoclonales en el tratamiento del cáncer de mama femenina .....	314
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 5 a 7 .....	316
<b>Síntesis de la Unidad</b> .....	318
<b>Evaluación final de Unidad</b> .....	320

## 8 Biodiversidad 324

<b>Lección 1:</b> ¿Cuál es nuestra biodiversidad? .....	326
<b>Lección 2:</b> ¿Está amenazada la biodiversidad? .....	332
<b>Divulgación científica:</b> Conservación de la biodiversidad en Chile.....	340
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 1 y 2.....	342

<b>Lección 3:</b> ¿Afecta el crecimiento poblacional humano al desarrollo sustentable? .....	344
<b>Lección 4:</b> ¿Cómo el cambio climático afecta a la biodiversidad?.....	352
<b>Trabajo científico:</b> Concentración de CO <sub>2</sub> y efecto invernadero .....	360
<b>Evalúo mi progreso</b> Lecciones 3 y 4.....	362
<b>Síntesis de la Unidad</b> .....	364
<b>Evaluación final de Unidad</b> .....	366

<b>Anexos</b> .....	370
<b>Glosario</b> .....	378
<b>Índice temático</b> .....	380
<b>Solucionario</b> .....	383
<b>Bibliografía</b> .....	398
<b>Agradecimientos</b> .....	400

Unidad

# 1

# Control de la homeostasis

Así como para el lobo de la fotografía, la prioridad para todos los organismos es mantener su vida, pese a lo adversas que pueden ser las condiciones ambientales. Para conseguirlo, deben responder adecuadamente a los cambios ambientales y para ello cuentan con cualidades físicas, metabólicas y conductuales.

En esta unidad, comprenderás cómo los organismos, y en particular el ser humano, consiguen mantener su vida pese a los continuos cambios ambientales que deben enfrentar.

## ¿Qué piensas?

Reúnete con tres compañeros y discute las siguientes preguntas. Luego, un representante del grupo comunicará sus conclusiones ante el curso.

- ¿Por qué este lobo podría morir si no es capaz de mantener estable su temperatura corporal?
- ¿Qué cualidades físicas y conductuales ayudan a este lobo a sobrevivir en la nieve?
- Sin considerar nuestra tecnología, ¿qué características físicas, metabólicas y conductuales tiene nuestra especie para soportar el frío?
- Además de la temperatura, ¿qué otras condiciones ambientales son un riesgo para nuestra sobrevivencia?, ¿cómo las superamos?



## Aprenderás a ...

### Lecciones

**1** ¿Los seres vivos somos sistemas?

Explicar que los organismos han desarrollado mecanismos de funcionamiento sistémico y de interacción integrada con el medio exterior.

**2** ¿Cómo se regula la homeostasis?

Describir la manera en que los organismos mantienen un ambiente interno estable, óptimo y dinámico que les confiere cierta independencia frente a las fluctuaciones del medio exterior.

**3** ¿Cómo se regula la temperatura?

Describir el control hormonal y nervioso en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a variaciones de temperatura.

**4** ¿Cómo afecta el estrés a la homeostasis?

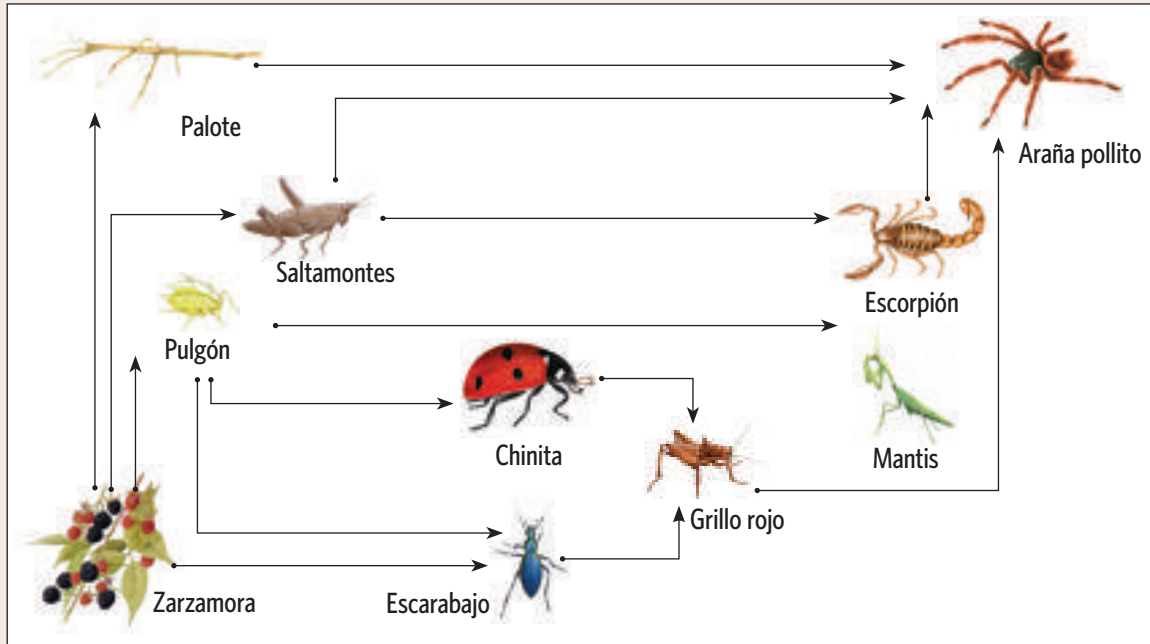
Describir el control hormonal y nervioso en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a estímulos estresantes.

# ¿Los seres vivos somos sistemas?

► Debes recordar: **Tramas tróficas - Transporte a través de la membrana**

## Trabaja con lo que sabes

1. ¿Qué sustancias intercambian tus células con el medio, a través de su membrana plasmática?
2. Observa la imagen y describe el flujo de materia y energía entre los organismos.
3. ¿De qué les sirve a las células y a los organismos la energía y la materia que obtienen del ambiente?



## Propósito de la lección

En años anteriores aprendiste que los organismos forman parte de una cadena de transferencia de materia y energía. En esta lección comprenderás que los organismos son sistemas capaces de regular ese intercambio y generar condiciones internas compatibles con la vida.

### 1. Los sistemas

Un **sistema** es una porción del universo compuesta por un conjunto de elementos organizados que interactúan entre sí. Las dimensiones y límites de un sistema no existen como tales en la naturaleza, sino que son establecidos en función del objetivo que se propone quien lo estudia.

## 1.1 Tipos de sistemas según el intercambio que se produce con el entorno

### Sistemas aislados

No intercambian materia ni energía con el medio. Por ejemplo, un termo (bien tapado) que contenga agua caliente.

### Sistemas cerrados

No intercambian materia con el ambiente, pero sí energía. Por ejemplo, una ampolleta encendida no intercambia materia, pero sí luz y calor.

### Sistemas abiertos

Intercambian tanto materia como energía. Por ejemplo, una fogata.

## 2. Los seres vivos somos sistemas abiertos

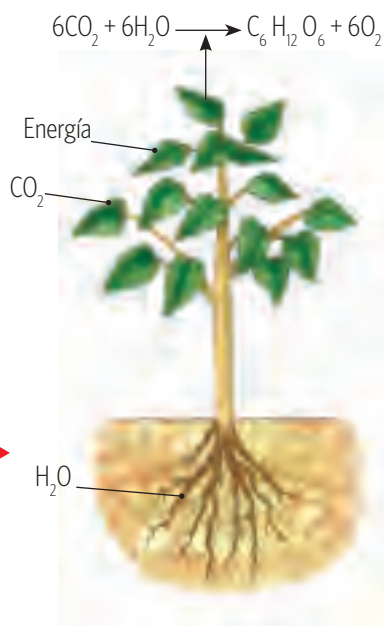
Los seres vivos somos sistemas abiertos, porque dependemos del intercambio de materia y energía para mantenernos en funcionamiento. Analicemos un ejemplo.

Cuando una vaca come pasto, obtiene parte de la materia y la energía que necesita para vivir. Pero ¿de dónde provino la materia y la energía que almacena el vegetal? En este caso, la planta obtuvo la energía directamente del sol; y la materia mineral o inorgánica, del suelo o del aire. Concretamente, incorporó agua y dióxido de carbono a través de la raíz y de las hojas, respectivamente. Con la energía solar captada y estas moléculas del suelo y del aire, y por medio de la fotosíntesis, se produjo la glucosa. Una vez elaboradas, esta y otras sustancias orgánicas pasan a ser parte del cuerpo del vegetal y son las que incorpora la vaca cuando come la planta.

Los seres vivos adquieren, de esta manera, materia y energía del ambiente. En su interior se producen transformaciones mediante las que se obtienen materiales nuevos y se almacena la energía. Estos procesos nos permiten realizar diferentes actividades y crecer. Como consecuencia de las transformaciones se liberan desechos y calor al exterior y, así, materia y energía son intercambiadas constantemente entre el ambiente y los seres vivos.

¿Qué relación tienen los alimentos con la energía? Si pensamos en un animal, como la vaca o nosotros, son justamente los alimentos que ingerimos los que la proveen. La energía está contenida en los enlaces químicos de las moléculas presentes en esos alimentos.

Fotosíntesis. Con la energía de la luz la materia inorgánica se transforma en orgánica. ▶



▶ La vaca obtiene materia y energía de los nutrientes del pasto, producidos a partir de la energía del sol y de la materia inorgánica.



▶ A través de su carne o de su leche, la vaca nos transfiere la materia y energía que ella obtuvo del pasto que comió; y todos nuestros sistemas actúan coordinadamente, con el fin de recibir la mayor cantidad de energía disponible en cada alimento.

**Actividad 1** Explicar...

**La relación de un organismo con el ambiente**

1. ¿Por qué se dice que el sol es la principal fuente de energía que mantiene a los organismos en el planeta?
2. ¿Qué ocurre con un ser vivo que deja de intercambiar materia y energía con el ambiente? Explica.

### 3. Los subsistemas

Los sistemas no son tan simples como parecen. Su complejidad depende de la cantidad de componentes que poseen y de las relaciones que se establecen entre estos. Algunos elementos del sistema están más estrechamente relacionados que otros, y llevan a cabo un trabajo en común. Este grupo de elementos, que cumple una función determinada, se denomina **subsistema**. Por ejemplo, el cuerpo de un animal vertebrado está compuesto por los siguientes subsistemas:

- a. **Subsistema para la nutrición** (sistemas digestivo, respiratorio, circulatorio y excretor): incluye todas las estructuras, como el estómago y los pulmones, que intervienen en la captación de nutrientes, el procesamiento para la obtención de energía y la eliminación de desechos.
- b. **Subsistema para la relación** (sistemas nervioso y endocrino): coordina e integra las respuestas adaptativas del organismo frente a cambios que modifican su estado de equilibrio. Incluye todo aquello que permite la recepción de estímulos, los procesos internos que se generan como consecuencia de estos y las respuestas asociadas. Forman parte de este subsistema las glándulas endocrinas y el cerebro.
- c. **Subsistema para el sostén y el movimiento** (sistema músculo esquelético): está formado por estructuras que permiten el desplazamiento y el mantenimiento de una posición. Por ejemplo, el esqueleto y los músculos.
- d. **Subsistema de reproducción** (sistema reproductor): incluye las estructuras que intervienen en la reproducción del ser vivo, como ovarios y testículos.

Se puede concluir que la acción coordinada de los diferentes subsistemas determina la función del sistema viviente en su conjunto y permite que los organismos se desarrollen en forma autónoma.

**Para saber +**

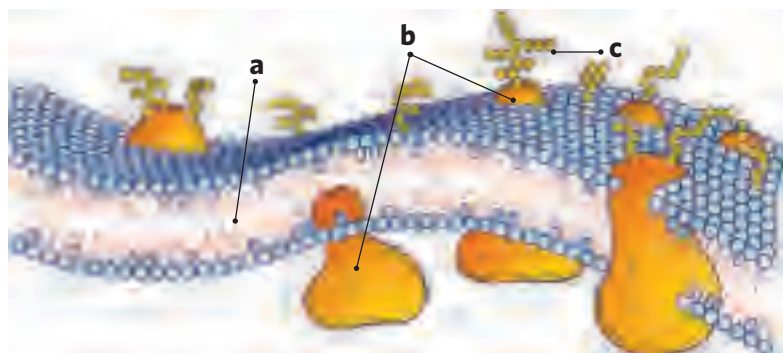
- Cuando estudiaste los diferentes niveles de organización de la materia, aprendiste que existen diversos grados de complejidad, comenzando por los átomos. Recién en el nivel celular se considera que comienza la vida como tal, porque este sistema tiene la capacidad de autorreproducirse y de autoabastecerse.





### 3.1 El sistema célula y el subsistema membrana

Las células son las unidades estructurales y funcionales de los organismos y, como todo sistema abierto, intercambian materia y energía con el ambiente. La membrana plasmática es, además del límite celular, la estructura que regula el intercambio de sustancias entre el citoplasma y el líquido intersticial que rodea las células de los organismos pluricelulares. Gracias a sus propiedades de selectividad y de direccionalidad, la membrana consigue diferenciar la composición del citoplasma de la del líquido intersticial, generando las condiciones adecuadas para el desarrollo del metabolismo.



▲ La membrana plasmática está compuesta por una bicapa lipídica (a) en la que se insertan proteínas (b), algunas de las cuales están unidas a carbohidratos en la superficie externa (c).

## 4. Medio interno y homeostasis

Medio interno es un término creado por el fisiólogo francés Claude Bernard, en el siglo XIX, para referirse al ambiente en el cual las células de un organismo pluricelular interactúan. Propuso que mantener sus condiciones constantes es vital para los organismos. En 1930, el fisiólogo estadounidense Walter Cannon asignó el término **homeostasis** (*homeo*: mismo; *stasis*: permanecer quieto) al concepto desarrollado por Bernard y lo definió como "el estado de equilibrio en que se mantiene el ambiente interno y que se debe a la incesante interacción entre todos los procesos reguladores del cuerpo". La pérdida de la condición de homeostasis puede derivar en enfermedad y muerte para el organismo.

### Actividad 2 Analizar los...

#### Componentes y funciones de la membrana plasmática

1. Describe alguna de las funciones y propiedades de los elementos de la membrana señalados en la ilustración.
2. ¿Cómo explicas la diferencia en la concentración de iones a uno y otro lado de la membrana?

### Apunte

Metabolismo: conjunto de reacciones químicas en el interior de las células, gracias a las cuales la materia y la energía pueden ser aprovechadas por estas.

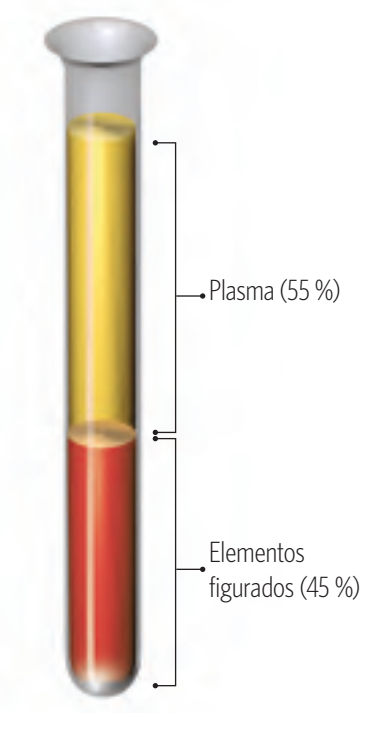
**Tabla 1:** Comparación de la concentración iónica intracelular y extracelular en una célula de mamífero.

Iones	Medio intracelular (mM)	Medio extracelular (mM)
Na <sup>+</sup>	5 - 15	145
K <sup>+</sup>	140	5
Mg <sup>2+</sup>	0,5	1 - 2
Ca <sup>2+</sup>	10 <sup>-4</sup>	1 - 2
Cl <sup>-</sup>	5 - 15	110

Fuente: Varios autores. (1993) *Elementos de biología celular y genética*. Departamento de Biología Celular y Genética, Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

Para saber +

- El plasma constituye el 55 % de la sangre; el 45 % restante consiste en los elementos figurados: glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. El 92 % del plasma es agua, y el 8 % está constituido por moléculas esenciales para la vida, tales como glucosa, aminoácidos, ácidos grasos y hormonas (insulina, cortisol, aldosterona, etc.) y también iones (sodio y calcio, entre otros).



El **medio interno** es el líquido extracelular (LEC) integrado por el líquido intersticial y por el líquido intravascular; es decir, el plasma contenido en los vasos sanguíneos. Es importante hacer notar que el LEC se encuentra en compartimientos cuyos límites están formados por las membranas plasmáticas, por lo que existe un intercambio continuo y regulado de sustancias entre el medio interno y el citoplasma celular.

El LEC es una solución compuesta mayoritariamente por agua y por diversos solutos, como iones y moléculas. Contiene grandes cantidades de iones de sodio, cloruro y bicarbonato, además de nutrientes para las células: oxígeno, glucosa, ácidos grasos y aminoácidos. También contiene desechos celulares, como dióxido de carbono y urea, que serán excretados.

Además de su composición, hay otras variables del medio interno que deben ser reguladas, entre ellas: temperatura, volumen, concentración de gases y pH.

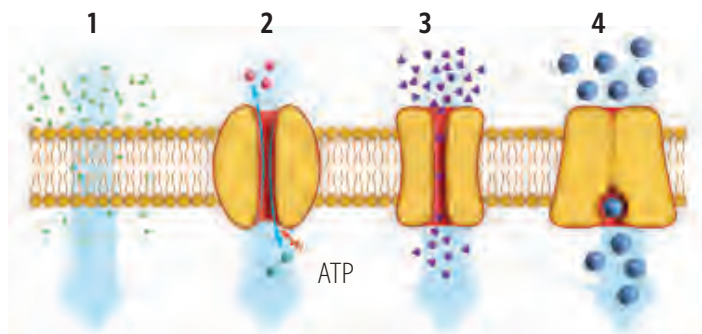
### 4.1 Membrana celular y homeostasis

La mantención de la homeostasis depende de la interacción de todas las células del cuerpo, particularmente de las funciones de intercambio y comunicación, propias de la membrana plasmática.

#### a. Funciones de intercambio

Para mantener el equilibrio homeostático, es necesario que las células intercambien sustancias con el medio extracelular. Esto ocurre mediante dos tipos de transporte:

- **Transporte pasivo:** en este tipo de transporte la célula no consume la energía contenida en las moléculas de ATP y las sustancias se mueven a favor del gradiente de concentración o del gradiente electroquímico; es decir, de mayor a menor concentración o de mayor a menor carga eléctrica. Son ejemplos de transporte pasivo la difusión simple, la difusión facilitada por canales iónicos o proteínas transportadoras y la osmosis, que es la difusión de moléculas de agua.
- **Transporte activo:** ocurre en contra del gradiente de concentración o del gradiente eléctrico, por lo que requiere consumo de ATP. También depende de la presencia y de la actividad de las proteínas transportadoras en la membrana plasmática.

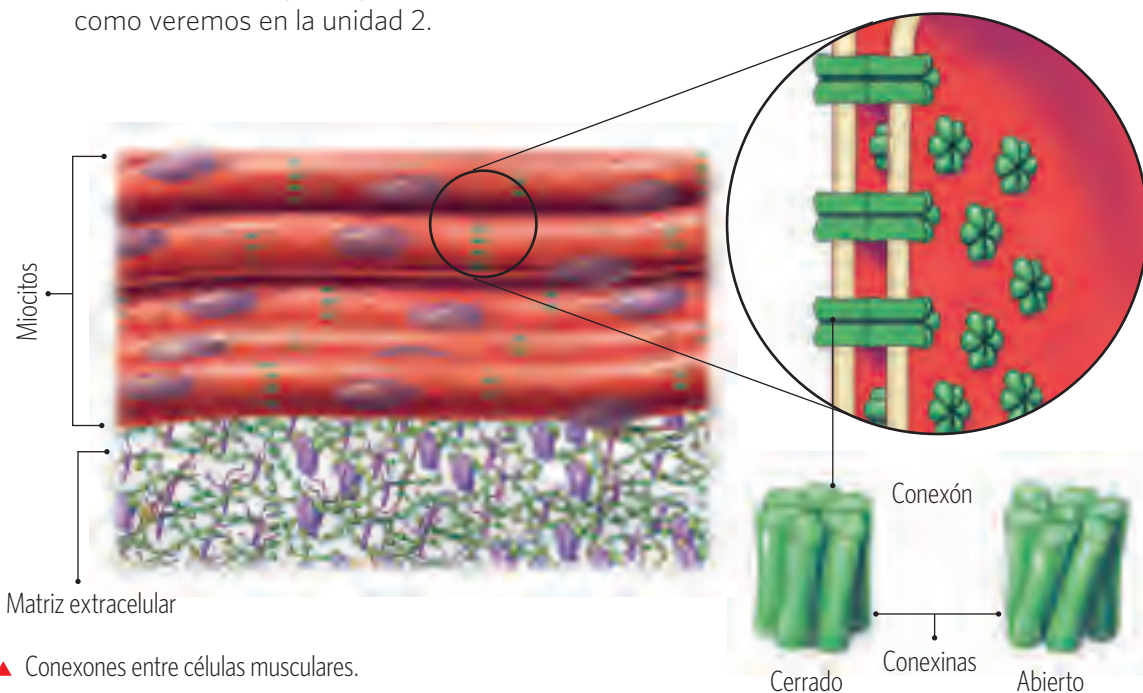


Transporte pasivo (1, 3 y 4) y transporte activo (2). ▶

## b. Funciones de comunicación

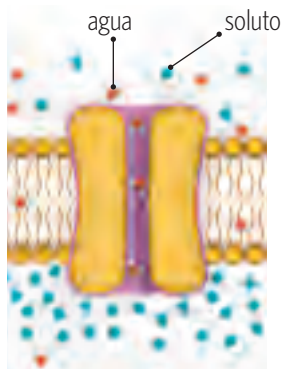
Tal como los miembros de un grupo de trabajo requieren comunicarse para coordinar sus acciones, las células del cuerpo emiten y reciben señales que les permiten hacerlo. Las características de la comunicación celular dependen de varios factores, como la distancia que separa a las células, el medio por el que debe viajar el mensaje y los tipos celulares que se comunican.

- **Comunicación entre células adyacentes:** cuando las membranas celulares están muy próximas, es posible que se establezcan uniones en hendidura. Estas se constituyen entre ciertas proteínas integrales de ambas membranas, formando un canal llamado **conexón** que comunica a los citoplasmas. Estas estructuras participan en ciertas conexiones neuronales, como veremos en la unidad 2.



### Para saber +

- Las moléculas de agua, aunque son polares, pueden pasar a través de la bicapa lipídica debido a los espacios que se generan entre los fosfolípidos cuando estos se mueven. Pero, además, existen proteínas que funcionan como canales especiales para su transporte, denominadas acuaporinas.



▲ Acuaporina

## Aquí CIENCIA

## Las alergias

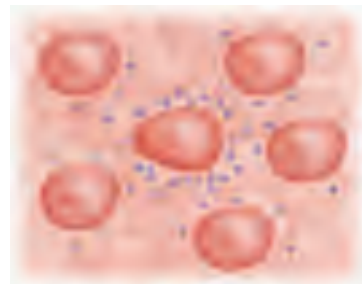
Los mastocitos son células que se distribuyen en todo el cuerpo, almacenan histamina, la que liberan durante las reacciones alérgicas, produciendo síntomas como edema, rinitis y prurito, entre otros. Para contrarrestar los efectos de la histamina se emplean antihistamínicos.

Las prostaglandinas son moléculas lipídicas que participan en el desarrollo de la respuesta inflamatoria, de la fiebre y del dolor, entre otros procesos. Algunos medicamentos antiinflamatorios, antipiréticos y analgésicos, tales como el ibuprofeno, el paracetamol y el ácido acetilsalicílico, actúan bloqueando su actividad.

- **Comunicación celular a distancia:** se basa en la interacción entre una célula que emite una señal química —un mediador químico o primer mensajero— y una célula diana que recibe esta señal gracias a un receptor específico para esta y que responde cambiando su actividad. Los tipos generales de este tipo de comunicación son: local, endocrina y nerviosa.

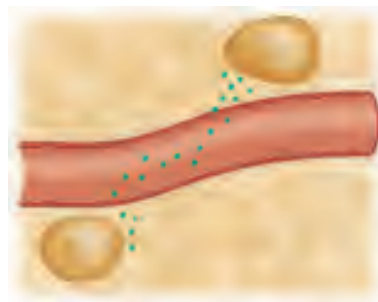
## Comunicación local

Las moléculas mensajeras son **mediadores químicos locales** secretados por la mayoría de las células del cuerpo y tienen un rango de acción limitado solo a las células vecinas. Por ejemplo, histamina y prostaglandinas.



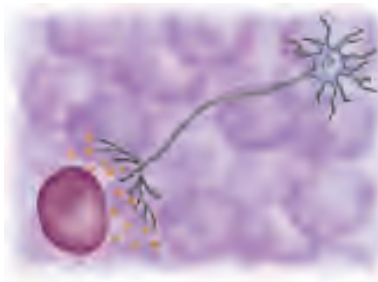
## Comunicación endocrina

Las sustancias químicas que actúan como mensajeros son las **hormonas** secretadas por células endocrinas. Viajan por la sangre hasta una o más células diana de distintas partes del cuerpo. Por ejemplo, el cortisol y la tiroxina.



## Comunicación nerviosa

Los mensajeros químicos son **neurotransmisores** producidos por las neuronas y liberados en las sinapsis sobre las células diana en las que actúan. Por ejemplo, la dopamina y la serotonina.



## Actividad 3 Propón hipótesis sobre...

## La acción de los antihistamínicos

1. Formula dos hipótesis que respondan la siguiente pregunta: ¿De qué manera los antihistamínicos impiden la acción de la histamina sobre las células diana?

## Minitaller

### Modelar la comunicación celular

Escribe en un trozo de papel una instrucción simple, como “tocarse la nariz” o “cerrar un ojo”, y pásaselo a tus tres compañeros más cercanos. Luego, debes enviar el mismo mensaje a un compañero del lado opuesto de la sala, pero no puedes desplazarte.

Terminada la experiencia, verifica y contesta:

- ¿Recibiste y enviaste mensajes a tus compañeros?
- ¿Tanto tú como tus compañeros entendieron el mensaje y ejecutaron las mismas respuestas de manera coordinada?
- ¿Fue necesaria la colaboración de otros compañeros para hacer llegar el mensaje al compañero más alejado?
- ¿Cómo crees que la célula logra comunicarse con las células vecinas?
- ¿Cómo una célula puede enviar un mensaje a una célula lejana?
- Recopila información acerca de los siguientes mediadores químicos y ordénala en una tabla. Luego, contrástala con la de un compañero.

Mediadores químicos	Células que los liberan	Células diana	Efectos que producen	Tipo de comunicación celular
Histamina				
Citoquinas				
Cortisol				
Adrenalina				
Dopamina				
Serotonina				

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

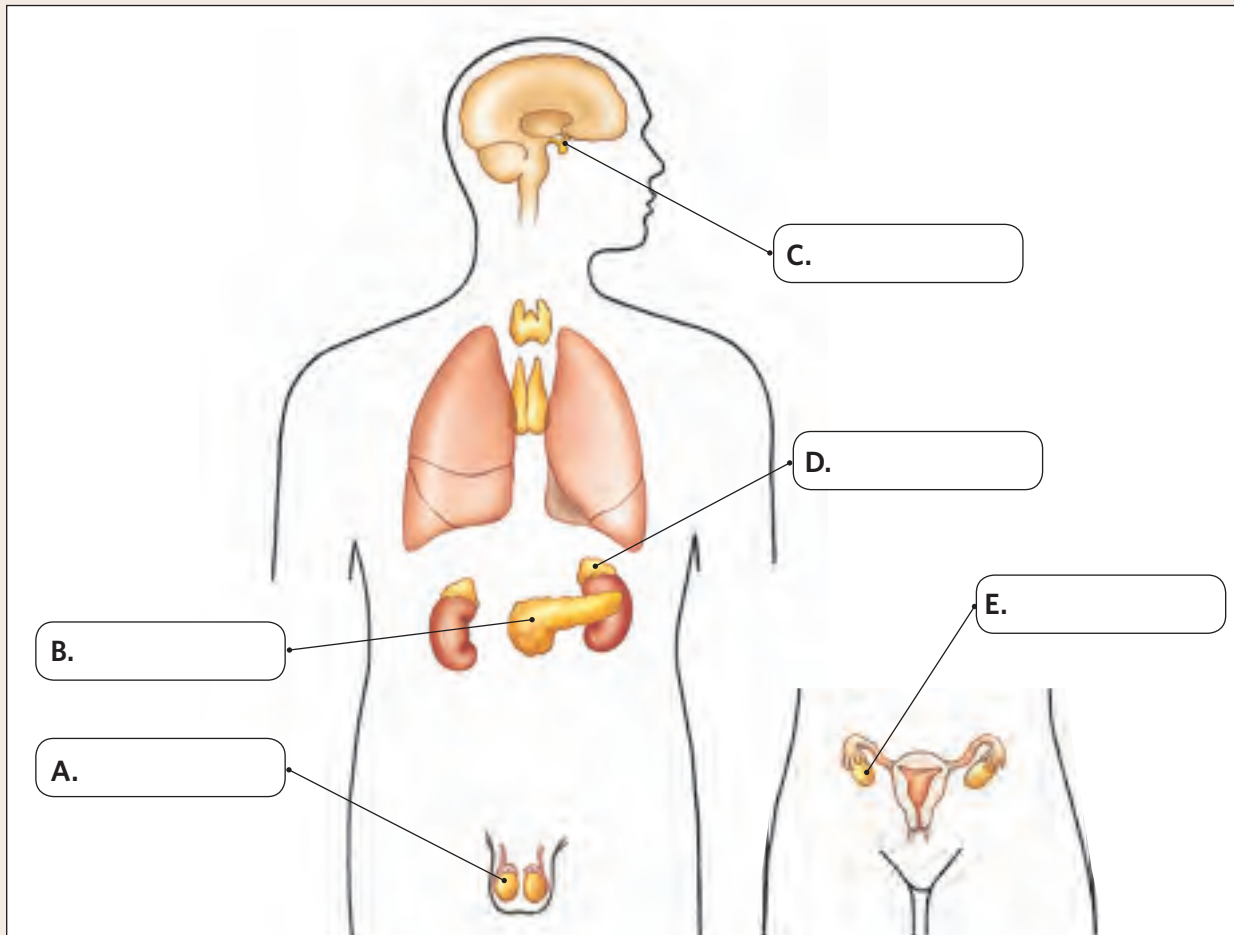
- Ilustra una trama alimentaria que incluya al ser humano. Explica cómo es que nuestro organismo obtiene la materia y la energía que requiere.
- Tanto una fogata como un ser vivo son sistemas abiertos. Al respecto, explica: ¿qué necesita la fogata para mantenerse ardiendo y el organismo para seguir viviendo, y cómo lo obtienen?
- ¿Cuál es el ambiente que rodea a nuestras células? Describe su composición y condiciones necesarias para sostener la vida celular.
- ¿Cuál es la relación entre los diferentes tipos de subsistemas y la composición del medio interno?
- En explicaciones independientes, relaciona el concepto de homeostasis con los conceptos de: sistema abierto, medio interno, ambiente, subsistemas de relación, célula, membrana plasmática y comunicación celular.

# ¿Cómo se regula la homeostasis?

► Debes recordar: **Sistema endocrino - Hormona**

## Trabaja con lo que sabes

1. Escribe en cada recuadro el nombre de la glándula correspondiente.



2. Observa la imagen y responde las siguientes preguntas:

- Nombra al menos una hormona secretada por cada glándula representada en la ilustración.
- ¿Qué relación tiene la glándula ubicada en el cerebro con las demás estructuras de la imagen?
- ¿En qué se diferencian los mecanismos de acción de los sistemas endocrino y nervioso? Menciona al menos dos diferencias.

## Propósito de la lección

Anteriormente aprendiste que la membrana celular juega un rol clave en la mantención de las condiciones del LEC. En esta lección comprenderás que los subsistemas de relación son clave para el funcionamiento coordinado de las células del organismo y para mantener la homeostasis.

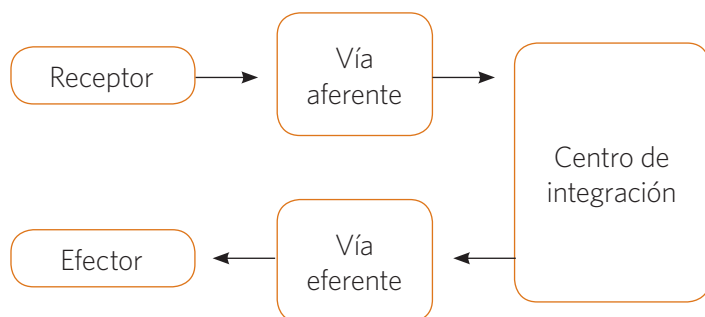
## 1. Importancia de los subsistemas de relación

Un organismo se mantiene vivo si todos sus subsistemas operan adecuadamente. Para que las células se mantengan con vida, es necesario que el organismo pueda responder de manera adecuada y en el momento preciso. De esta forma se logra mantener el medio interno estable dentro de ciertos parámetros, pese a las variaciones ambientales y a la dinámica de los procesos que determinan su composición.

Aquellas perturbaciones que causan desequilibrio del medio interno se denominan **estímulos estresantes**. De ellos, son ejemplos externos el calor, el frío y la falta de agua o de oxígeno; e internos, el dolor, el bajo nivel de glucosa y la acidificación de la sangre.

Frente a los estímulos estresantes, el organismo dispone de **mecanismos de control homeostático** que intentan contrarrestar sus efectos. Todos los subsistemas participan de ellos, pero son de especial relevancia los subsistemas de relación, es decir, los **sistemas nervioso** y **endocrino**, pues ellos se ocupan de integrar y coordinar las respuestas adaptativas del organismo frente a las variaciones que alteran su estado de equilibrio.

Los mecanismos de control homeostático son, en su mayoría, sistemas de retroalimentación. Esto es, sistemas capaces de obtener y procesar información acerca de las funciones que realiza para generar acciones correctivas. Se distinguen sistemas de retroalimentación negativos y positivos.



▲ Organización general de un sistema de retroalimentación.

El centro de integración o de control establece los límites entre los cuales debe oscilar una variable orgánica, o condición controlada. Los receptores monitorean permanentemente el estado de la variable y, cuando un estímulo provoca una alteración, envían señales o información aferente al centro de control que, tras recibirla, determina las respuestas que devolverán el equilibrio a la variable, enviando mensajes o información eferente a un efector que ejecuta la respuesta monitoreada por el receptor.

### Apunte

Sistemas de retroalimentación: pueden ser negativos, si en ellos la respuesta invierte el efecto del estímulo y operan manteniendo la condición controlada entre los límites definidos por el centro de control; o positivos, si en ellos la respuesta actúa en el mismo sentido que el estímulo.

En el siguiente cuadro se comparan las respuestas nerviosa y endocrina:

Aspecto	Respuesta nerviosa	Respuesta endocrina
Forma en la que se transmite la información entre las células.	Impulso nervioso y secreción de neurotransmisores.	Secreción de hormonas.
Medio por el cual se propaga la información.	Axón y terminales axónicos.	Sangre y matriz extracelular.
Rapidez con que se transmite la información y se genera una respuesta.	Mayor (milisegundos).	Menor (segundos, horas).
Concentración de la molécula que transmite la información en el medio de propagación.	Los neurotransmisores pueden alcanzar altas concentraciones en la sinapsis. Por ejemplo, $5 \times 10^{-4}$ M.	Las hormonas viajan muy diluidas en la sangre: comúnmente $< 10^{-8}$ M.
Permanencia del efecto.	Corta duración.	Larga duración.

▲ Comparación de las respuestas nerviosas y endocrinas.

## 2. Control neuroendocrino de la homeostasis

Si bien ocupa solo el 1 % del volumen total del encéfalo, el hipotálamo es el principal centro de integración encargado de la coordinación de los sistemas nervioso y endocrino para la regulación de la homeostasis. Interviene en la función de casi todos los órganos del cuerpo, mediante la integración de la información y el control que ejerce sobre la actividad del sistema nervioso autónomo y la función de la hipófisis.

Al hipotálamo llega mucha información por distintas vías, la que integra generando respuestas que regulan la homeostasis. Por ejemplo, recibe información acerca de:

- la presión sanguínea y la distensión estomacal, mediante el nervio vago;
- la temperatura de la piel, desde el tronco cerebral;
- las condiciones de luz y oscuridad, mediante las vías ópticas;
- el balance iónico y la temperatura de la sangre, gracias a diversos receptores.

### Para saber +

- El hipotálamo recibe información desde el sistema límbico y los nervios olfatorios, la que usa para regular la ingesta de alimentos y la conducta sexual. Estas son vitales para asegurar la sobrevivencia tanto del individuo como de la especie.



## 2.1 Control del hipotálamo sobre el sistema nervioso autónomo

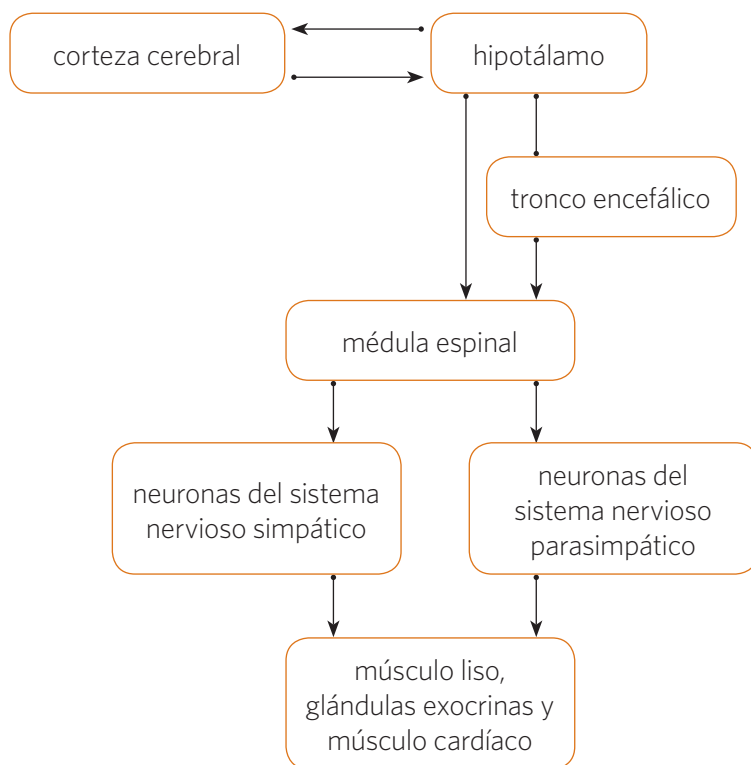
El sistema nervioso autónomo (SNA) es una división del sistema nervioso encargada de responder de manera automática e involuntaria a ciertos estímulos, controlando la musculatura lisa, las glándulas exocrinas y el músculo cardíaco. Presenta tres divisiones: **entérica**, **simpática** y **parasimpática**; las dos últimas son las principales responsables de la regulación de la conducta emocional y de la homeostasis; sus respuestas son opuestas y complementarias, manteniendo así las condiciones normales del metabolismo basal.

El hipotálamo se conecta con los centros neuronales del SNA, ubicados en el tronco encefálico y en la médula espinal. Con esto consigue controlar la presión arterial, la composición electrolítica y la temperatura corporal, entre otras variables. Además, interviene en las respuestas reproductivas y en el estrés agudo.

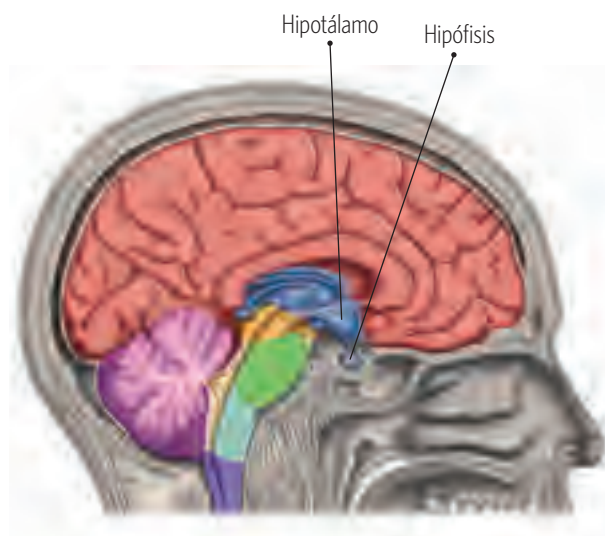
De este modo, tanto ante una situación de amenaza externa como si ocurre un desequilibrio interno, el hipotálamo, a través de la rama simpática del SNA, envía señales a múltiples órganos para que respondan al estímulo estresante. Luego de superada la emergencia, el hipotálamo, mediante la división parasimpática, ordena a los órganos volver a su condición normal de funcionamiento.

### Para saber +

- La división entérica está incluida en el tracto gastrointestinal; funciona independientemente del hipotálamo y de otros componentes del sistema nervioso central, y se ocupa de controlar los movimientos peristálticos.



▲ Organización de las vías descendentes que controlan los movimientos involuntarios.



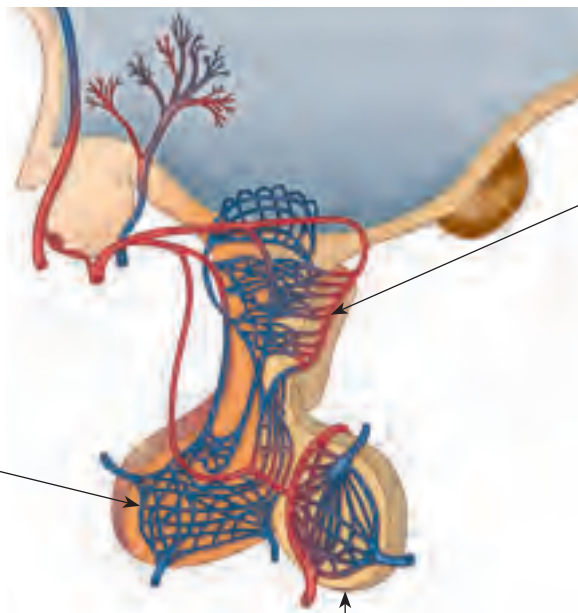
▲ El hipotálamo es crucial para la sobrevivencia, pues integra la información acerca de las condiciones internas del organismo y la del estado emocional del individuo.

## 2.2 Control del hipotálamo sobre la hipófisis

Para ejercer su función homeostática, el hipotálamo regula la actividad de otras glándulas endocrinas mediante el control de la hipófisis. Esta es la principal glándula del sistema endocrino, ya que controla la actividad secretora de la mayoría de las demás glándulas, razón por la cual se la denomina glándula "maestra o rectora".

La hipófisis es una pequeña glándula del tamaño de un poroto, ubicada en la base del encéfalo. En ella pueden identificarse tres partes o lóbulos. El lóbulo anterior o **adenohipófisis**, el lóbulo posterior o **neurohipófisis** y una parte que los conecta, el lóbulo intermedio, muy pequeño en los seres humanos. Dada la estrecha relación entre ambas glándulas, se habla del eje **hipotalámico-hipofisario**. A continuación, se explica su funcionamiento.

El hipotálamo contiene células neurosecretoras; grupos de neuronas especializadas que producen diversas hormonas, las almacenan y las liberan cuando reciben un estímulo. Sus secreciones ingresan a un grupo de capilares sanguíneos que rodean a la adenohipófisis, donde actúan estimulando o inhibiendo (según sea el caso) la secreción de las hormonas hipofisarias. La neurohipófisis, por su parte, no es una verdadera glándula endocrina, ya que no produce hormonas, sino que almacena las secreciones hormonales que se producen en el hipotálamo.



**Lóbulo anterior o adenohipófisis:** es regulada por neuronas hipotalámicas que secretan hormonas conocidas como factores liberadores y factores inhibidores.

**Capilares del sistema porta hipotálamo-hipofisario:** en ellos son vertidos los factores liberadores e inhibidores del hipotálamo que controlan la secreción hormonal de la hipófisis.

**Lóbulo posterior o neurohipófisis:** contiene las terminales nerviosas de neuronas que liberan las hormonas oxitocina y vasopresina, que luego son absorbidas por los capilares de la neurohipófisis.

**Tabla 2:** Hormonas hipofisarias anteriores y sustancias que controlan su liberación.

Hormonas secretadas por la adenohipófisis	Hormonas liberadoras (HL), secretadas por el hipotálamo	Hormonas inhibidoras secretadas por el hipotálamo
Hormona del crecimiento	HL de la hormona del crecimiento	Somatostatina
Hormona luteinizante	HL de gonadotropinas	
Hormona folículoestimulante		
Tirotropina	HL de la tirotropina	
Prolactina	HL de prolactina	Dopamina
Hormona adrenocorticotrópica	HL de corticotropina	

### Para saber +

- Las hormonas liberadoras e inhibidoras producidas por el hipotálamo se encuentran también en otras regiones del sistema nervioso central y se ocupan de otras funciones, como la neurotransmisión.

Fuente: Martin, J. (1998). *Neuroanatomía*. Editorial Prentice Hall. Madrid. 2° ed.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

- Analiza la siguiente descripción y responde: Si aumenta la glicemia, el páncreas responde liberando insulina, la que estimula a las células hepáticas para que incorporen la glucosa del plasma y la conviertan en glucógeno. Por el contrario, si la glicemia disminuye, el páncreas libera glucagón, el que provoca que las células hepáticas degraden el glucógeno y secreten glucosa al plasma.
  - ¿Cuál es la variable o condición controlada?
  - ¿Cuál es el estímulo estresante que provoca la secreción de insulina o de glucagón?
  - ¿Se trata de un sistema de control por retroalimentación positiva o negativa? Explica.
  - ¿Cuáles son las células efectoras?
  - ¿Por qué es importante regular la glicemia?
- ¿Qué diferencia existe entre las respuestas mediadas por las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo?
- ¿Cuál es la importancia del eje hipotalámico-hipofisario?
- Diseña un organizador gráfico que explique el control del hipotálamo sobre los sistemas nervioso y endocrino.



## El estrés: un problema del mundo actual

El desarrollo económico y social que ha tenido parte de la población mundial desde el siglo XX ha permitido mejoras en la salud de las personas y una mayor esperanza de vida, si se compara con los siglos precedentes. Sin embargo, han surgido con fuerza nuevas patologías, vinculadas con el estilo de vida asociado al mayor desarrollo económico de las sociedades, que han comenzado a afectar progresivamente a la población. Un claro ejemplo de esto es el estrés crónico.

Todos —adultos, adolescentes y hasta los niños— pasamos por momentos de estrés. En términos sencillos, se define como el conjunto de reacciones emocionales y fisiológicas que presentan las personas frente a situaciones en las que deben hacer grandes esfuerzos para adaptarse. El estrés es la manera en la que el cuerpo se enfrenta a un reto y se predispone para actuar ante una situación difícil con enfoque, vigor y agudeza mental, desde verse en

peligro físico hasta hacer una presentación en clase. Por lo tanto, el estrés es una sensación normal que puede ayudarnos a hacer las cosas; un cierto nivel de estrés es necesario y normal ante determinadas circunstancias.

Sin embargo, cuando el estrés se prolonga o intensifica en el tiempo, produce una respuesta más compleja, denominada síndrome de adaptación general. Esta condición extendida de estrés causa daños al organismo, principalmente por elevación de la adrenalina y de hormonas corticoesteroides secretadas por las glándulas adrenales. Al sobrepasar ciertos límites, el estrés afecta a numerosos órganos del cuerpo, al igual que la capacidad mental y el sistema inmunológico, por lo que nuestra salud, desempeño académico o profesional e incluso nuestras relaciones personales se pueden ver alterados.



- ▲ En condiciones de estrés permanente, el cansancio y la inestabilidad emocional son característicos. En personas susceptibles, esto puede desencadenar trastornos mentales, como la depresión y la adicción a drogas.

Una persona estresada puede manifestar algunas de las siguientes alteraciones:

- **Psicológicas:** ansiedad, irritabilidad, miedo, fluctuación del ánimo, confusión, excesiva autocrítica, dificultad para concentrarse y tomar decisiones, olvidos, preocupación por el futuro, pensamientos repetitivos, angustia y excesivo temor al fracaso.
- **Conductuales:** dificultades del habla, llantos, reacciones impulsivas, risa nerviosa, trato brusco a los demás, rechinar los dientes o apretar las mandíbulas, aumento del consumo de tabaco, alcohol y otras drogas, mayor predisposición a accidentes y aumento o disminución del apetito.
- **Físicas:** músculos contraídos, manos frías o sudorosas, dolor de cabeza, problemas de espalda o cuello, perturbaciones del sueño, malestar estomacal, gripes e infecciones, fatiga, respiración agitada o palpitaciones, temblores y boca seca.

Tras el terremoto del 27 febrero de 2010 aumentaron los niveles generales de estrés. De acuerdo con datos del Ministerio de Planificación, a tres meses de ocurrido, un 12 % de la población adulta de las regiones damnificadas presentaba sintomatología asociada al trastorno de estrés postraumático; mientras que en las tres regiones más afectadas, el porcentaje fluctuaba entre un quinto y un cuarto de la población.

**Tabla 3:** Prevalencia de estrés permanente en último año, según edad y sexo.

Edad	Prevalencia en hombres (%)	Prevalencia en mujeres (%)	Prevalencia en ambos sexos (%)
15-24	1,2	9,4	5,3
25-44	8,8	16,4	12,6
45-64	4,9	11,8	8,5
65 o más	1,4	5,6	3,8
Total	5,2	12,1	8,8

Fuente: Encuesta Nacional de Salud 2009-2010.

### Actividad

1. ¿Cuáles son las diferencias de causa y efecto entre el estrés adaptativo y el síndrome de adaptación general?
2. Explica las siguientes observaciones y propón un procedimiento para comprobar que tu explicación es adecuada:
  - a. El estrés es más prevalente en mujeres que en hombres, en todos los grupos etarios.
  - b. El estrés es más prevalente entre los 25 y 44 años.
3. Propón un procedimiento que te permita poner a prueba las explicaciones que has formulado en tu respuesta anterior.
4. Comenta con tus compañeros qué actitudes o conductas pueden ayudar a evitar el estrés.



### Organiza lo que sabes

En tu cuaderno, diseña un organizador gráfico usando al menos diez de los conceptos de esta lista. Este organizador representará lo que has aprendido.

ambiente	líquido extracelular (LEC)	sistema de retroalimentación
célula	líquido intersticial	sistema endocrino
comunicación	materia	sistema nervioso
eje hipotalámico-hipofisiario	medio interno	sistema nervioso autónomo
energía	membrana	sistema nervioso parasimpático
estímulo estresante	membrana plasmática	sistema nervioso simpático
hipotálamo	plasma	subsistema de relación
homeostasis	sistema abierto	transporte

### Evaluación de proceso

1. Si lo piensas, tanto tú como un automóvil son sistemas abiertos. Por lo tanto, ¿qué capacidad tienes tú, y todos los seres vivos, que te diferencian de otros sistemas abiertos? (3 puntos).
2. Representa en un dibujo el intercambio de materia y energía de un animal, un vegetal y una célula con el ambiente. Identifica los tipos de sustancias y de energía involucrados, las estructuras que participan del intercambio y el ambiente con el cual este se produce. (6 puntos).
3. Nombra al menos cuatro componentes de cada subsistema de un animal vertebrado. (4 puntos).
4. Describe las funciones que cumple la membrana plasmática. (2 puntos).
5. Acerca del medio interno, responde: (3 puntos).
  - a. ¿Qué líquidos lo integran?
  - b. ¿Cómo la membrana plasmática participa en su formación?
6. Predice lo que le podría suceder a tus células si las condiciones del medio interno se modifican de las siguientes maneras: (4 puntos).
  - a. aumento de la concentración de iones.
  - b. disminución de la presión parcial de oxígeno.

7. Acerca de los subsistemas de relación, responde: (4 puntos).
  - a. ¿Cuáles son y cuál es la función de cada uno?
  - b. ¿Cuáles son sus mecanismos de control homeostático? Descríbelos.
8. El hipotálamo es una estructura neuroendocrina. Al respecto, contesta: (6 puntos).
  - a. ¿Qué tipo de información recibe?
  - b. Describe las respuestas que controla mediante el sistema nervioso autónomo.
  - c. Describe las respuestas que controla mediante su acción sobre la hipófisis.

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador y luego reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos. Marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Explicar que los organismos han desarrollado mecanismos de funcionamiento sistémico y de interacción integrada con el medio exterior.	1, 2 y 3	_____/13	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
Describir la manera en que los organismos mantienen un ambiente interno estable, óptimo y dinámico, que les confiere cierta independencia frente a las fluctuaciones del medio exterior.	4, 5 y 6	_____/9	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
Distinguir el rol de los sistemas nervioso y endocrino en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a cambios que modifican su estado de equilibrio.	7 y 8	_____/10	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-bottom: 5px;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

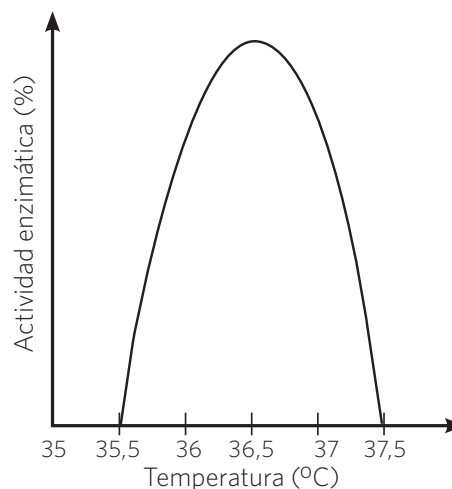
# ¿Cómo se regula la temperatura?

► **Debes recordar: Metabolismo - Enzimas**

## Trabaja con lo que sabes

1. Interpreta el gráfico y responde:
  - a. ¿Las variaciones de temperatura pueden influir en el desarrollo de una reacción metabólica? Explica.
  - b. ¿Qué le sucede a una proteína, como una enzima, si se la expone a temperaturas diferentes a las que está normalmente sometida en el organismo?
  - c. ¿Por qué es importante para el organismo mantener la temperatura dentro de ciertos límites?
2. ¿Cómo responde tu cuerpo cuando tienes calor o frío?

**Gráfico 1:** Actividad enzimática vs. temperatura.



## Propósito de la lección

Regular la temperatura es vital para que el metabolismo se desarrolle con normalidad. En esta lección comprenderás los procesos endocrinos y nerviosos que permiten este control.

### Apunte

Organismos homeotermos: son los animales capaces de regular su temperatura corporal de manera automática, utilizando la energía química, procedente de los alimentos. Los mamíferos y las aves son los dos grandes grupos animales que poseen esta característica.

## 1. Importancia de la termorregulación

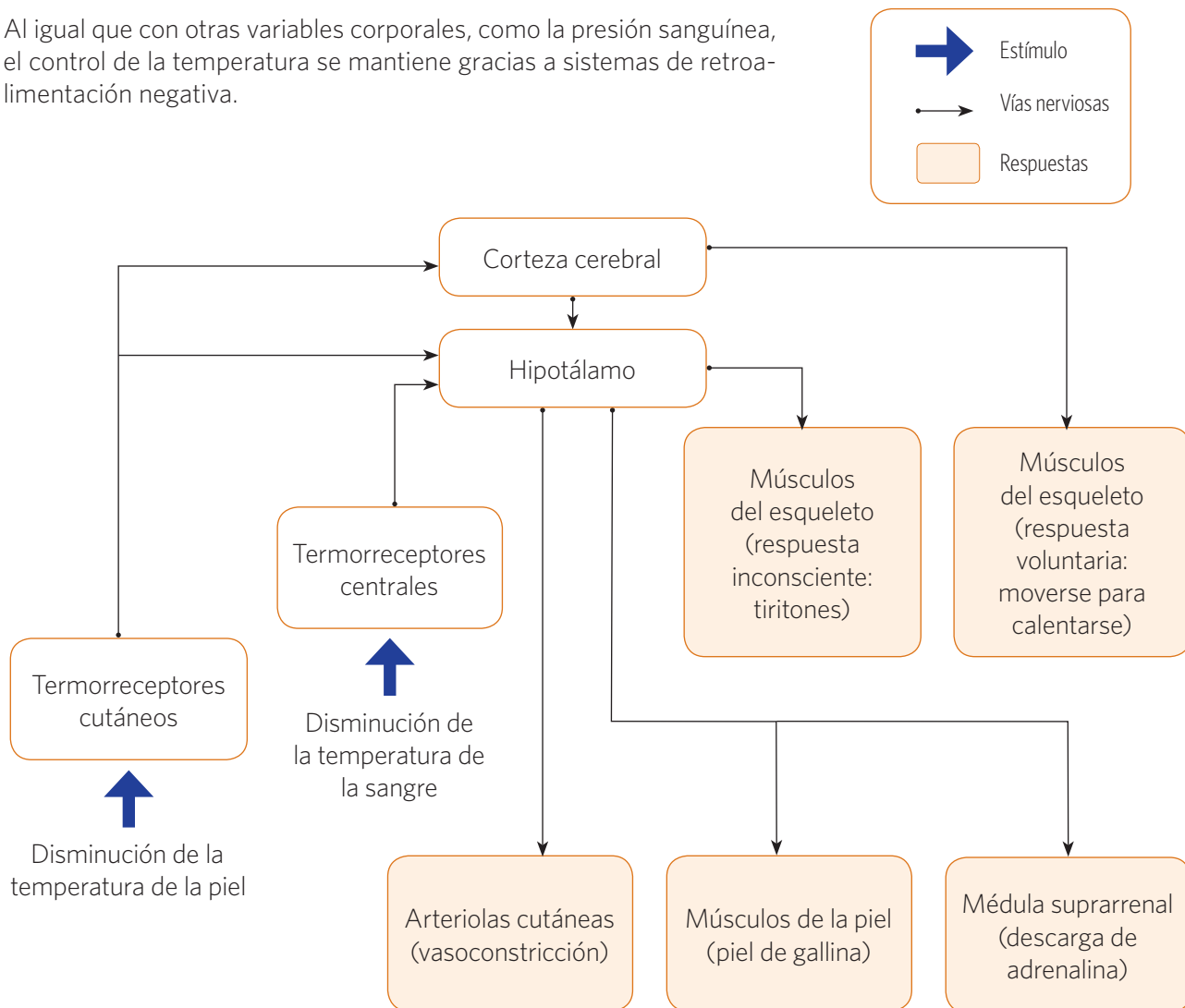
La termorregulación es la capacidad de los organismos homeotermos de regular y mantener su temperatura corporal estable dentro de ciertos rangos, aunque la temperatura ambiental circundante sea muy diferente. En los seres humanos, la temperatura corporal normal, o temperatura interna, oscila entre 36,5 y 37,2 °C, con variaciones que dependen de la actividad física o de la condición fisiológica; por ejemplo, del momento del ciclo menstrual en que se encuentren las mujeres o si existe una respuesta febril ante una infección.

Mantener la temperatura estable dentro de ciertos valores es vital para el organismo, pues una temperatura interna muy alta podría inactivar las proteínas del cuerpo y una demasiado baja puede provocar arritmias, también inactivar las proteínas (ver gráfico 1) y causar la muerte.



## 2. Control nervioso de la temperatura

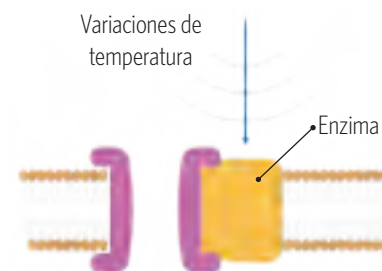
Al igual que con otras variables corporales, como la presión sanguínea, el control de la temperatura se mantiene gracias a sistemas de retroalimentación negativa.



▲ Mecanismos involucrados en la regulación térmica del cuerpo cuando un individuo se expone al frío.

Los termorreceptores son estructuras capaces de detectar variaciones de la temperatura. Los que existen en la piel (cutáneos) responden principalmente a las variaciones ambientales de temperatura, mientras que los centrales, ubicados en los órganos y en el sistema nervioso central, se activan por variaciones de la temperatura de la sangre que los irriga.

La corteza cerebral, como centro de integración, controla respuestas reflejas de la musculatura esquelética, los tiritones, que permiten generar calor debido al movimiento muscular. También inicia respuestas voluntarias destinadas a controlar la temperatura, como moverse o desabrigarse.



▲ La temperatura incide en una enzima de la membrana del receptor que controla un canal iónico.



- ▲ La tasa de sudoración puede alcanzar hasta los 2 L/h, lo que puede producir una importante pérdida de agua y llevar a una deshidratación, descendiendo el volumen plasmático y la producción de orina.

### Conexión con

#### Deporte

Aproximadamente, el 80 % de la energía producida para la contracción muscular se libera en forma de calor. El objetivo de la termorregulación es mantener la temperatura corporal lo más estable posible, incluso durante el ejercicio. En los deportistas, la producción de calor es muy alta; sin embargo, el sudor permite disiparlo, pero a la vez provoca deshidratación. Beber líquidos se convierte en un mecanismo “refrigerante”, ya que induce la sudoración y contribuye a enfriar el cuerpo.

El hipotálamo actúa libre del control de la voluntad y la conciencia, y envía señales a los efectores usando nervios del sistema nervioso autónomo. Así, para comunicarse con los efectores, utiliza la división simpática para aumentar la temperatura y la parasimpática para disminuirla.

Para aumentar la temperatura, estimula:

- la contracción de la musculatura lisa de las arteriolas ubicadas cerca de la superficie del cuerpo, evitando la pérdida de calor a través de la piel. Además, desvía el volumen de sangre hacia el interior del cuerpo, donde es más necesario mantener el calor para el adecuado funcionamiento de los órganos y tejidos.
- la piloerección o piel de gallina, respuesta útil en mamíferos más peludos que nosotros, pues el pelo erizado es un mejor aislante térmico.
- la secreción de adrenalina desde la médula de las glándulas suprarrenales. Esta hormona acelera el metabolismo, lo que genera calor.

Para disminuir la temperatura, estimula:

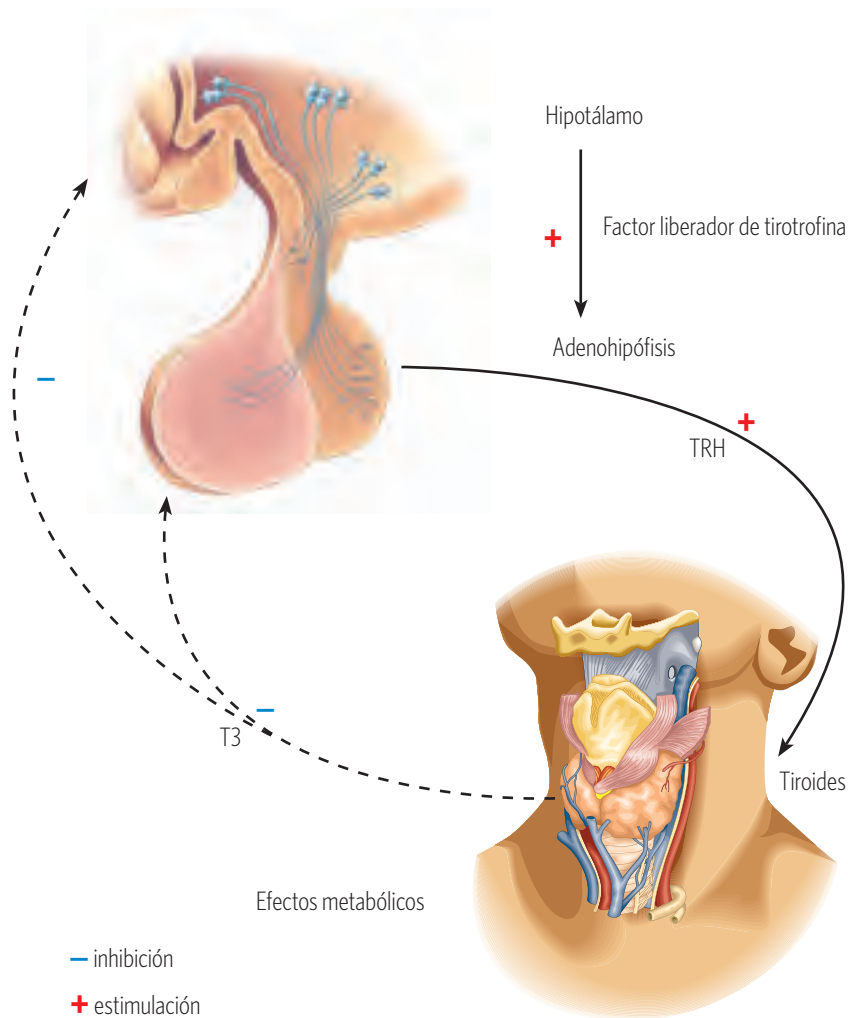
- la vasodilatación de las arteriolas superficiales, que permite transmitir calor al exterior mediante radiación.
- la sudoración. Cuando el sudor liberado por las glándulas sudoríparas se evapora, el cuerpo pierde calor.

Una vez restablecidos los valores normales de temperatura, los termorreceptores detectan el cambio y disminuyen la frecuencia de sus señales hacia los centros de integración y estos determinan que los efectores suspendan o aminoren su actividad.

### 3. Control hormonal de la temperatura

La **tiroxina (T4)**, producida por la glándula tiroides y que se transforma en **T3** (forma activa), es la principal hormona encargada de regular la temperatura corporal; además, estimula el crecimiento de los tejidos y es imprescindible para el desarrollo del sistema nervioso.

Cuando el hipotálamo recibe información de un descenso en la temperatura, comienza a producir y liberar el factor liberador de tirotrófina. Esta hormona estimula a la adenohipófisis a que produzca y secrete tirotrófina (TRH), que actúa en la tiroides, la cual comienza a secretar tiroxina. La tiroxina actúa en todas las células y provoca un aumento del ritmo metabólico, lo que produce energía en forma de calor. ¿Cómo se desactiva esta “cascada” de reacciones? El aumento de la temperatura corporal o de los niveles de tiroxina en la sangre inhiben la secreción hormonal del hipotálamo, de la adenohipófisis y de la tiroides.



▲ Sistema de retroalimentación negativa en la producción de tiroxina.

### Para saber +

- La fiebre es una respuesta defensiva del cuerpo contra una infección, por eso los bebés y niños suelen presentar fiebre alta con enfermedades virales menores. La mayoría de las bacterias y virus que causan las infecciones en las personas prosperan mejor a 37 °C, por lo que un aumento de la temperatura corporal dificulta su proliferación. De todos modos, es conveniente tener bajo observación el aumento de la temperatura corporal, pues si sube demasiado, las células del organismo comienzan a sufrir daños.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

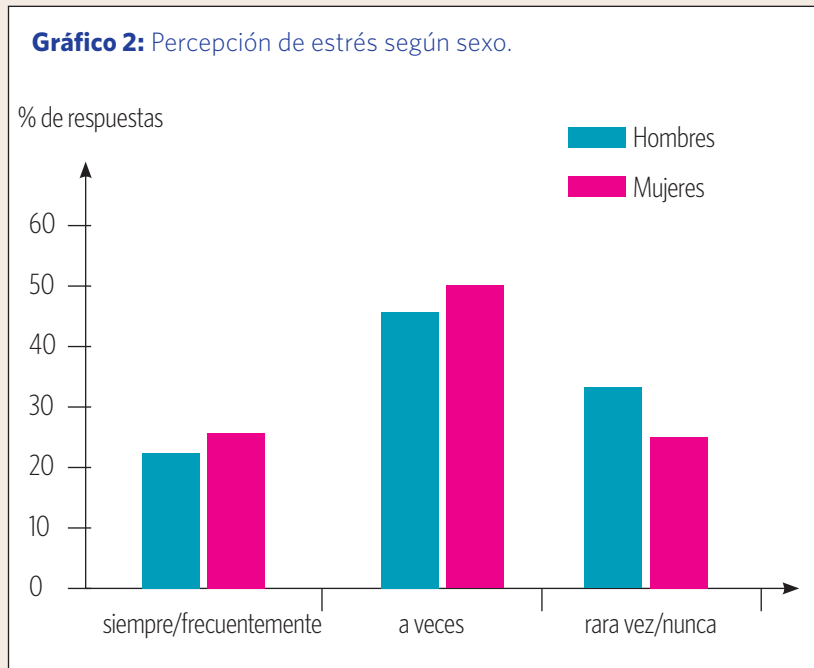
1. Las variaciones bruscas de temperatura ¿cómo afectan la composición del LEC y el intercambio entre este y las células?
2. ¿Cuál respuesta, nerviosa o endocrina, es la más rápida y duradera para aumentar la temperatura?
3. Infiere:
  - a. ¿Por qué nuestro cuerpo tiene mayor variedad de respuestas para aumentar la temperatura que para hacerla descender?
  - b. ¿Por qué cuando baja la temperatura ambiental suele aumentar el deseo de comer alimentos con alto contenido energético?

# ¿Cómo afecta el estrés a la homeostasis?

► **Debes recordar:** Sistema endocrino - Hipotálamo - Estrés

## Trabaja con lo que sabes

1. ¿Qué es el estrés?
2. Según el gráfico, de cada diez personas, ¿cuántas están bajo un estrés permanente?
3. Según el gráfico, ¿en qué sexo es más frecuente el estrés? Propón una explicación.
4. ¿Cuáles son los comportamientos o rasgos propios de un hombre o de una mujer estresado/a?
5. ¿Qué te causa estrés?
6. ¿Cómo se puede evitar el estrés?



Fuente: [www.minsal.cl](http://www.minsal.cl)

## Propósito de la lección

En ocasiones, el ambiente obliga a nuestro organismo a generar respuestas de emergencia que alteran en gran medida su funcionamiento, con el fin de adaptarlo a las nuevas condiciones y mantener la homeostasis. En esta lección aprenderás cómo se produce esto y cuáles pueden ser las consecuencias de los cambios adaptativos.

### Apunte

Adaptación: serie de cambios o modificaciones que suponen diferencias morfológicas y funcionales con respecto al organismo.

## 1. El estrés y sus causas

Como vimos en la página 26, el estrés se puede entender como un cambio innato en el comportamiento del individuo ante la amenaza, con el objetivo de responder defensiva o adaptativamente frente al estímulo o situación que se percibe como un peligro (agente estresor).

Cada especie manifiesta respuestas adaptativas particulares ante la amenaza, pero, en general, se acepta que mientras mayor sea el grado de complejidad de los subsistemas de relación, también serán más complejas y diversas las respuestas posibles. Son, entonces, los sistemas nervioso y endocrino los encargados de integrar las respuestas que permitan compensar los cambios y restablecer los estados iniciales, para así mantener la homeostasis, y conseguir la adaptación del organismo.

## 1.1 Agentes estresores

El agente inicial que induce la aparición de estrés se denomina **estresor**. Este es un estímulo o una situación que desencadena respuestas nerviosas y endocrinas; puede ser de **naturaleza física**, como la deshidratación o la exposición continuada al frío, o de **naturaleza psicológica**, como aquellas situaciones que son interpretadas como amenazas para la sobrevivencia o para mantener la forma de vida. Por ejemplo, la violencia y el maltrato, dificultades familiares, el despido de un trabajo o una situación económica difícil.

En los vertebrados, el hipotálamo es la primera estructura que se encarga de procesar los estímulos generados por los agentes estresores y dirigir una respuesta inconsciente y rápida ante estos, la que suele ser parecida entre los distintos grupos animales, incluida nuestra especie. Posteriormente, el cerebro se encarga de producir respuestas conscientes y más complejas, las que varían de un individuo a otro según su experiencia, contexto cultural y situación emocional.

Por ejemplo, ante una amenaza física, el hipotálamo desencadena una serie de cambios fisiológicos que reconocemos como miedo. Para enfrentar al estresor, el organismo requiere aumentar la cantidad de sangre que llega al cerebro y músculos. También debe aumentar el aporte de oxígeno y glucosa transportados por la sangre a estos órganos. La **adrenalina** (que puede actuar como neurotransmisor y hormona) y el **cortisol** son ejemplos de sustancias químicas que permiten estas funciones. El estrés genera respuestas que determinan que el organismo reciba un mayor aporte de oxígeno y glucosa. Esto explica por qué aumenta la frecuencia cardíaca y la respiratoria.

### Inter@ctividad

- Visita [www.rekursostic.cl/lbm035](http://www.rekursostic.cl/lbm035) y junto con tres compañeros confecciona un afiche con una de las medidas propuestas para prevenir y controlar el estrés. Péguenlo en un lugar visible de la sala.



- ▲ La deshidratación es un ejemplo de estresor de naturaleza física. El organismo puede soportar estados extremos de deshidratación, gracias al control de los niveles de agua.



- ▲ La amenaza del perro es un agente estresor de naturaleza psicológica que provoca la respuesta inmediata e inconsciente del hipotálamo.

## Reflexiona

## Cuidado animal

La conducta de los animales que vemos en los zoológicos no es igual a la que muestran en la vida salvaje. Las jaulas, el espacio reducido y la falta de estímulos originan en los animales estados de estrés que se manifiestan, entre otras conductas, con comportamientos estereotipados, que se definen como acciones constantes y repetitivas que no tienen una finalidad o una función, como caminar en círculos o morderse la cola.



- ▲ Averigua qué es el enriquecimiento ambiental y cómo influye en el bienestar de los animales en cautiverio.

## 1.2 Tipos de estrés

De acuerdo con la duración, existen dos tipos de estrés: el estrés agudo y el crónico.

## a. Estrés agudo

El estrés agudo tiene relación con la aparición del estado de alerta. Puede ser originado por una situación violenta o sorpresiva, lo que desencadena la preparación del organismo para responder a este estado. En la naturaleza, los animales que son presas manifiestan estados de estrés agudo cuando perciben la presencia o el inminente ataque de su depredador. Los seres humanos solemos presentar estrés agudo derivado de estresores psicológicos y sociales, que en la gran mayoría de los casos no ponen en riesgo nuestras vidas. Por esto, los científicos lo denominan estrés nervioso o psicológico.

## b. Estrés crónico

Se produce cuando el organismo no logra responder bien a los requerimientos fisiológicos que este estado le provoca. Esto puede ocurrir por la influencia de estresores psicológicos que se mantienen a lo largo del tiempo y redundan en una baja general de las funciones fisiológicas, lo que se puede transformar en una enfermedad crónica por daño a los órganos que incluso puede llegar a ser mortal.

Existe una etapa intermedia entre el estrés agudo y el crónico, la **fase de resistencia**. En ella, el organismo se esfuerza por mantener constantes los parámetros que han sido alterados por algún estresor, lo que pone en marcha un sinnúmero de procesos internos para nivelar y restablecer el equilibrio inicial. Si esta etapa se prolonga por mucho tiempo, es probable que se desarrolle estrés crónico o se llegue a la etapa de agotamiento.

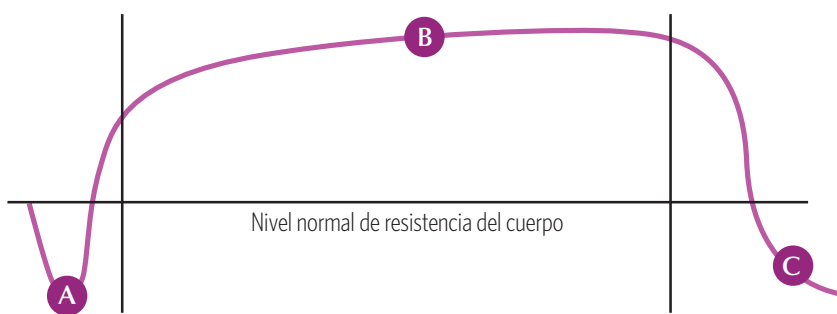


- ▲ Estresores psicológicos comunes en nuestra sociedad son las exigencias laborales y las presiones académicas a las que están sometidos los estudiantes, entre otros.

El estrés crónico es considerado una enfermedad, ya que los cambios generados por el organismo para lograr la adaptación llegan a un límite. Esto provoca que el cuerpo se dañe por una sobrecarga de exigencia, lo que reduce las probabilidades de sobrevivencia del individuo.

El fisiólogo y médico austrohúngaro Hans Selye fue el primer científico que investigó el estrés. Selye centró sus estudios en los estresores físicos. Fue él quien descubrió la naturaleza inespecífica del estrés, lo que quiere decir que aunque el agente estresor puede variar, la respuesta fisiológica en muchas ocasiones es similar. Su segundo gran aporte fue la clasificación del estrés en dos tipos: el estrés adaptativo y el estrés crónico.

### Modelo de Selye de síndrome general de adaptación al estrés



Fuente: Jaureguizar, J. y Espina, A. (2005). *Enfermedad física crónica y familia*. 1ª edición en versión digital. Libros en red.

**Fase de alarma:** percepción de una situación de estrés.

- A** Se generan alteraciones fisiológicas y psicológicas. Se rompe el equilibrio y se activan los mecanismos de regulación de la homeostasis.

**Fase de resistencia:** todos los sistemas se encuentran en alerta para resistir los cambios que provoca el agente estresor.

- B** Aumenta la resistencia.

**Fase de agotamiento:** durante la fase de resistencia el organismo no fue capaz de adaptarse o detener al agente estresor, por lo que el cuerpo no tiene posibilidades de recuperarse y se hace inminente el desgaste de los órganos y sistemas que lo conforman.

- C**

### Para saber +

- La mayoría de los cambios fisiológicos que sufre tu cuerpo cuando tienes alguna emoción, como la sudoración, la sequedad de la boca, la respiración rápida, el sentir el estómago apretado o un aumento de la frecuencia cardíaca, se deben a la acción del sistema nervioso autónomo.



- ▲ Ante emociones distintas, como el miedo o la ansiedad, tu cuerpo reacciona de manera similar.

140



Opina, en no más de 140 caracteres, acerca de los factores estresantes que afectan a las personas de tu comunidad. Comparte tu opinión con tus compañeros.

**Conexión con**

**Literatura**

El enanismo psicogénico es un síndrome que aparece en niños pequeños por la exposición a situaciones extremas de estrés. Se ha evidenciado que estos niños carecen de cariño y cuidados necesarios para desarrollarse normalmente. Uno de los casos más conocidos es el de J. M. Barrie, autor de la novela *Peter Pan*. Barrie, siendo adulto, no creció ni maduró sexualmente y llenó sus cuentos de niños que nunca crecían. Padeció enanismo psicogénico a raíz de una infancia de abandono, con un padre frío y distante y una madre despreocupada. Esta situación se transformó en una profunda depresión debido a la muerte de su hermano mayor.



▲ J. M. Barrie jugando con Michael Llewelyn Davies, quien interpretó a Peter Pan en 1906.

• **Consecuencias del estrés crónico**

Durante décadas, los especialistas han indagado en la forma en que el estrés crónico se relaciona con la manifestación de otras enfermedades. Gracias a estas investigaciones, hoy se puede establecer que este estado influye en la aparición de enfermedades físicas, puesto que se origina una disminución de la función del sistema inmunológico.

Los trastornos que se manifiestan con síntomas físicos, pero cuyo desarrollo está influido por factores psicológicos, se denominan **trastornos psicosomáticos**.

**Tabla 4: Consecuencias generadas por estados prolongados de estrés crónico.**

Fatiga corporal y desgaste muscular prematuro
Diabetes
Hipertensión
Enanismo psicogénico (niños que no se desarrollan producto de estrés infantil)
Descalcificación ósea
Impotencia sexual, supresión ovulatoria y pérdida del impulso sexual
Depresión inmunológica (la persona es más susceptible a las enfermedades infecciosas y al cáncer)
Degeneración neuronal acelerada (durante la vejez)

**Actividad 4** Identificar las...

**Causas y tipos de estrés**

1. Identifica en cada situación si el agente estresor es de origen físico o psicológico:
  - a. Problemas de pareja.
  - b. Muerte de un ser querido.
  - c. Bañarse con agua muy fría.
2. ¿Qué diferencia al estrés agudo del crónico?
3. ¿En qué condiciones el estrés es beneficioso y en cuáles se transforma en una enfermedad?
4. ¿Por qué aunque el agente estresor puede variar, la respuesta fisiológica en muchas ocasiones es similar?
5. Identifica los principales agentes estresores que te afectan y propón estrategias que te permitan controlarlos.



### 1.3 Respuesta neuroendocrina frente al estrés

Cuando se presenta un agente estresor ocurre una serie de cambios fisiológicos a partir de la interacción en conjunto de los sistemas endocrino y nervioso. Esta respuesta fisiológica es mediada por el hipotálamo a través del sistema endocrino y el sistema nervioso simpático. A partir de la activación de ambas cadenas de reacciones, se produce una serie de cambios.

Una situación de estrés desencadena respuestas provenientes del sistema nervioso a través del **eje hipotalámico-hipofisario-adrenal**, que involucra también a las glándulas suprarrenales.

Como aprendiste anteriormente, el sistema nervioso simpático actúa frente a situaciones que alteran el normal equilibrio, y el sistema nervioso parasimpático restablece las condiciones normales luego de reaccionar frente a una amenaza. La respuesta del sistema nervioso simpático frente a agentes estresores consiste en estimular la liberación de adrenalina y noradrenalina desde la médula suprarrenal. Ambas hormonas actúan produciendo un estado de alerta, caracterizado por un aumento de la frecuencia cardíaca y de la irrigación cerebral, temblores musculares y ansiedad. Este mismo sistema de control estimula también a la corteza suprarrenal, la que libera **glucocorticoides** (como **cortisol**), que originan un aumento en la formación de glucosa, efectos inmunosupresores y antiinflamatorios, entre otros.

Cuando desaparece el agente estresor, disminuye la respuesta del sistema nervioso simpático y disminuye la concentración de cortisol en la sangre, lo que actúa como retroalimentación negativa sobre las células productoras de CRH y ACTH, retornando de esta forma las concentraciones sanguíneas de glucocorticoides a los valores normales.

#### Para saber +

- Durante el estrés, el cortisol deprime el sistema inmune, evitando una respuesta exagerada que podría desembocar en una reacción autoinmune fulminante. Debido a su propiedad inmunosupresora, el cortisol se emplea en algunos medicamentos antialérgicos cuyo uso debe ser muy regulado.

#### Actividad 5 Comprender...

##### El circuito neurohormonal frente al estrés

1. ¿Qué respuesta homeostática es más rápida, la del sistema nervioso o la del endocrino? Fundamenta.
2. ¿Qué rol cumple el hipotálamo en el control del estrés?
3. ¿Por qué aumenta la glicemia en situaciones de estrés? ¿Cómo se relaciona esto con el aumento del estado de vigilia?

#### Reflexiona

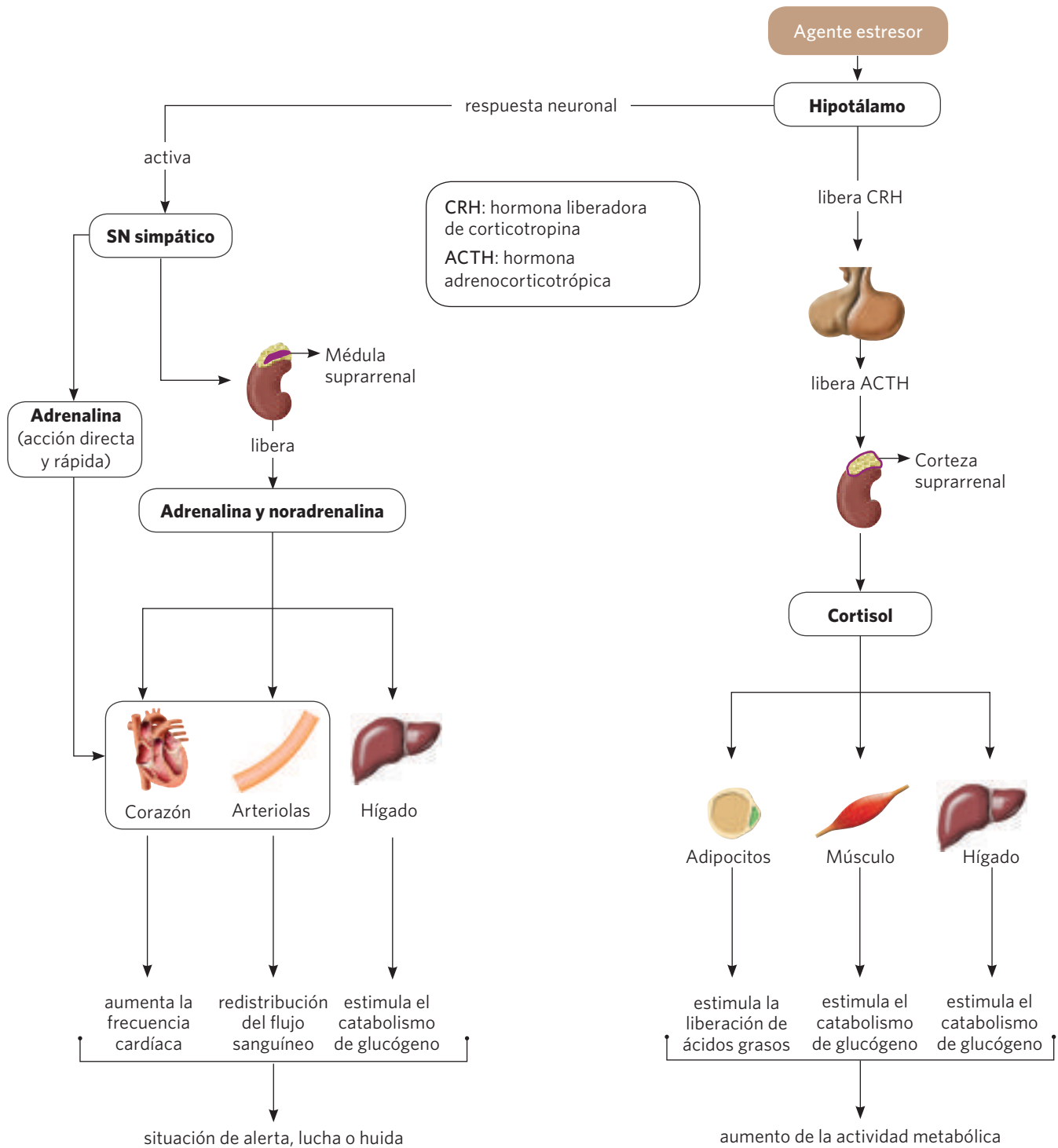
##### Evitar el estrés

Puedes evitar los efectos negativos del estrés con algunos cambios conductuales y afrontando las dificultades con una actitud más positiva. Por ejemplo:

- No te preocupes por aquellas cosas que no puedas controlar o que sean responsabilidad de los adultos.
- Ocupate oportunamente de aquello que sí dependa de ti, como tus relaciones interpersonales y tus estudios.
- Pide ayuda a familiares, amigos o profesionales.
- Ponte metas realistas y planifica cómo alcanzarlas.
- Medita, ejercítate y aliméntate saludablemente.
- Mantén el buen humor porque, además de reducir el estrés y prevenir la depresión, mejora la respuesta inmune y la función del sistema cardiovascular, así como la motivación, la comunicación y la armonía social.



- ▲ El buen humor y la risa ayudan a mantener la salud.



▲ Respuesta neuroendocrina frente al estrés.

## Minitaller

## Interpretación de resultados y planteamiento de hipótesis

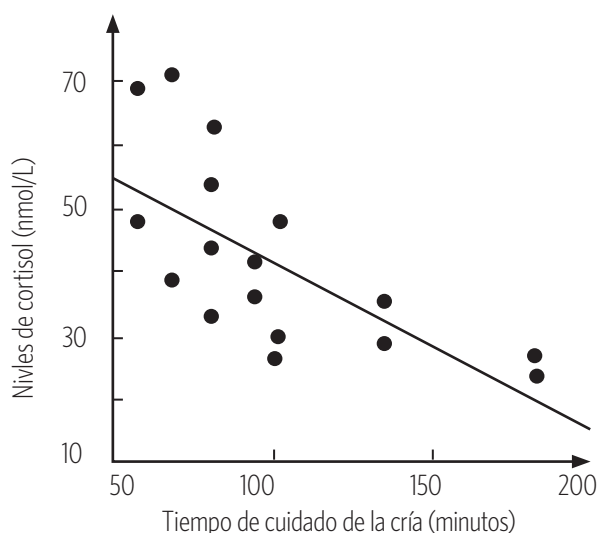
Se ha demostrado que las experiencias previas pueden influir en las respuestas fisiológicas frente al estrés. En el año 1967, un grupo de investigadores demostró que el cuidado maternal en las crías de ratas durante los primeros días de vida, disminuía los niveles de cortisol frente a la presencia de un agente estresor en la etapa adulta. Los resultados se ilustran en el gráfico 3. Ellos sugirieron que la conducta de cuidado maternal proyecta variaciones en las respuestas hormonales frente al estrés en la descendencia. A este efecto se le denominó inmunización al estrés.

Lo que debes hacer:

Responde las siguientes preguntas y luego discute tus respuestas con un compañero.

1. ¿Cómo se relaciona el cuidado de la madre con la secreción de cortisol en las ratas crías?
2. ¿Por qué se puede señalar que existe una asociación inversa entre las dos variables del gráfico?
3. ¿Qué entiendes por "inmunización al estrés"?
4. ¿Cuál habrá sido el problema planteado por los investigadores y una posible hipótesis?

**Gráfico 3:** Niveles de cortisol presentes en las ratas adultas después de la acción de un estresor.



▲ Tiempo dedicado al acicalamiento y cuidado de la cría por parte de la madre durante los primeros diez días de vida de la cría.

Fuente: Liu, D. y otros. (1997). *Maternal care, hippocampal glucocorticoid receptors, and hypothalamic pituitary-adrenal responses to stress. Science, 277(5332), 1659-1662.* (Adaptación).

## Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. ¿Qué subsistema de relación es responsable de una respuesta inmediata y momentánea ante un agente estresor y cuál lo es de una respuesta más lenta y prolongada?
2. Selecciona dos ejemplos de agentes estresores causantes de estrés agudo y dos de agentes estresores causantes de estrés crónico. Explica tu selección.
3. Si a través de un examen de sangre quisieras conocer si una persona está en la fase de resistencia del estrés, ¿el nivel de qué hormona deberías medir? Fundamenta.
4. ¿Por qué el cuerpo se deteriora si permanece por demasiado tiempo en la fase de resistencia?
5. ¿Cómo se puede prevenir y controlar el estrés?

## Diferencias en la secreción de cortisol entre hombres y mujeres

Durante el desarrollo de una investigación se debe cuidar que las variables independientes y dependientes que se vinculan en la pregunta problema, sean las mismas que se relacionan en la hipótesis, que se controlan y observan durante el procedimiento experimental y a las que se hace referencia de su comportamiento en la interpretación de resultados y en las conclusiones.

### Antecedentes

Un agente estresante es capaz de alterar el equilibrio fisiológico de nuestro organismo. Esto genera una respuesta que se basa en mecanismos que intentan resistir el cambio y restablecer las condiciones iniciales. Durante esta etapa, se activa la secreción de algunas hormonas y se inhiben otras. Una de las respuestas más comunes es el aumento de la síntesis de cortisol, cuyos efectos se relacionan con el aumento del metabolismo de los hidratos de carbono, los lípidos y las proteínas.

### Problema de investigación

En este taller trabajarán analizando un estudio realizado por un grupo de investigadores de la Universidad de las Islas Baleares, España. Ellos analizaron la respuesta ante el estrés, percibido por un grupo de 45 estudiantes ante un examen. Para esto, se midió la secreción de cortisol mediante la toma de muestras de orina. El problema de investigación que se plantearon los investigadores fue: ¿Existen variaciones en la liberación de cortisol en hombres y mujeres frente a episodios de estrés?

### Planteamiento de hipótesis

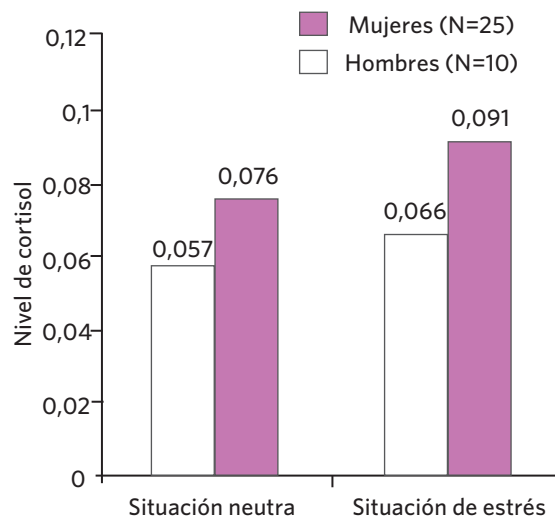
Propongan una hipótesis que relacione las variables y proporcione una respuesta tentativa al problema planteado.

### Estrategias de contrastación y resultados

Para evaluar la diferencia de reacción frente a un agente estresor, los investigadores analizaron muestras de orina de cada alumno y alumna para detectar las diferencias de secreción de cortisol en distintas situaciones. La primera muestra fue tomada al comienzo del curso (situación neutra) y la segunda el mismo día del examen (situación de estrés). Los resultados se presentan en el siguiente gráfico:

Fuente: García, G., y colaboradores. (2004). *La respuesta de cortisol ante un examen y su relación con otros acontecimientos estresantes y con algunas características de personalidad*. Revista *Psicothema*, 16(2), 294-298.

**Gráfico 4:** Variaciones de cortisol presente en la orina en hombres y mujeres.



### **Análisis e interpretación de evidencias**

A partir de los resultados obtenidos, respondan las siguientes preguntas:

1. ¿Qué respuesta fisiológica es común para ambos géneros en el experimento?
2. ¿Cuál es la diferencia observada entre los individuos analizados?
3. Con los datos obtenidos, infiere las diferentes respuestas basándote en la edad de los individuos?
4. Si la situación de estrés fuera distinta para hombres y mujeres en el experimento, ¿podrían concluir que la secreción de cortisol es diferente solo en función del género?, ¿por qué?
5. Tomando en cuenta el problema planteado y los resultados obtenidos, ¿aceptan o rechazan la hipótesis propuesta por ustedes?

### **Conclusiones, comunicación de resultados y proyección**

Para finalizar el trabajo, redacten una conclusión que relacione las variables estudiadas en la investigación. Para la comunicación de resultados, realicen un resumen de la investigación. Apoyen su trabajo revisando el anexo 2 de la página 372 de su texto. Luego, envíenlo por correo electrónico a sus compañeros y compañeras de curso y escojan, entre todos, los tres resúmenes mejor logrados.

### **Proyección**

Propongan, como proyección del trabajo, un nuevo problema de investigación que incorpore otra variable. Puede ser la edad, la hora del día en que se enfrenta a la situación de estrés, los alimentos que han ingerido los individuos, si presentan alguna patología, entre otras.



### Organiza lo que sabes

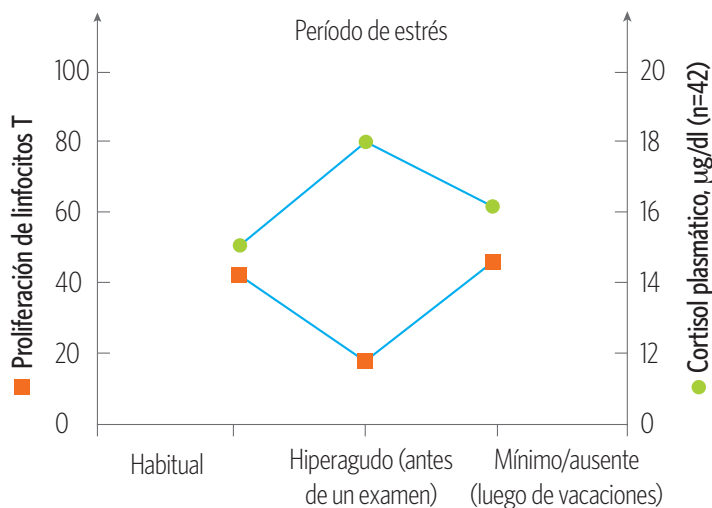
Revisa en tu cuaderno el organizador gráfico que creaste en la sección *Evalúo mi progreso* anterior y utilízalo como base para diseñar un nuevo organizador. Incluye en él, al menos, siete de los conceptos de la siguiente lista. Esta vez, hazlo en una cartulina o papelógrafo, para que lo puedas exponer y discutir con tus compañeros.

adrenalina	hipotálamo	sistema nervioso parasimpático	arteriolas
médula suprarrenal	sistema nervioso simpático	corteza cerebral	
metabolismo	termorreceptores	tiroides	glándulas sudoríparas
músculos esqueléticos	organismos homeotermos	tiroxina	

### Evaluación de proceso

1. Explica cómo puede influir la temperatura en: (4 puntos).
  - a. las relaciones de intercambio entre la célula y el medio interno.
  - b. el desarrollo de las reacciones metabólicas.
2. Identifica las hormonas cuya acción permite aumentar la temperatura corporal y las glándulas que las secretan. (2 puntos).
3. Describe el proceso que permite al hipotálamo y a la corteza cerebral regular la temperatura corporal. (4 puntos).
4. Analiza el gráfico, responde las preguntas y realiza las actividades propuestas. (8 puntos).

**Gráfico 5:** Variaciones de linfocitos T y de cortisol en distintos niveles de estrés.



- a. ¿Qué tipo de estrés provoca mayor secreción de cortisol?, ¿por qué?
  - b. ¿Cómo se relaciona esta hormona con la respuesta inmune?, ¿qué otros efectos produce en el organismo una exposición prolongada a esta hormona?
  - c. ¿Es posible afirmar que los cambios producidos por agentes estresores en estos casos son transitorios y reversibles? Explica.
5. Diferencia entre estrés agudo y estrés crónico, tomando en cuenta las características del agente estresor, las hormonas principales, la utilidad adaptativa y las consecuencias para la salud. (4 puntos).

### Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador y luego reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos. Marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Describir el control hormonal y nervioso en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a variaciones de temperatura.	1, 2 y 3	_____/10	
Describir el control hormonal y nervioso en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a estímulos estresantes.	4 y 5	_____/12	

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

### Lección 1: ¿Los seres vivos somos sistemas?

- Un sistema es una porción del universo compuesta por un conjunto de elementos organizados que interactúan entre sí. Los organismos son sistemas abiertos porque dependen del intercambio de materia y energía para mantenerse vivos.
- La complejidad de un sistema depende de la cantidad de componentes que poseen y de las relaciones que se establecen entre estos. A un grupo de elementos que cumplen una función determinada se le llama subsistema. Por ejemplo, en un vertebrado se distinguen subsistemas de nutrición y de relación, entre otros.
- La célula, como entidad viva, es un sistema abierto y su membrana plasmática es el subsistema encargado del intercambio de materia y energía con el ambiente y de comunicar a la célula con otras, función clave para la organización de tejidos, órganos y del organismo en general.



- Producto de la función de transporte de la membrana se establecen las características del ambiente que la rodea. Este es el medio interno y corresponde a líquido extracelular (LEC), integrado por el líquido intersticial y el plasma.

- El LEC está compuesto por agua y diversos iones y moléculas orgánicas e inorgánicas. Tanto su composición como otras variables, pH y temperatura, entre otras, deben mantenerse dentro de ciertos rangos de normalidad.
- La homeostasis es el estado de equilibrio en que se mantiene el medio interno. Se debe a la incesante interacción entre todos los procesos reguladores del cuerpo, y su pérdida puede derivar en enfermedad y muerte para el organismo.

### Lección 2: ¿Cómo se regula la homeostasis?

- Los subsistemas de relación, nervioso y endocrino, responden a estímulos estresantes, los cuales ponen en riesgo la homeostasis, por ejemplo: el calor, el frío y el bajo nivel de glicemia.
- Ambos sistemas de relación operan mediante mecanismos de control homeostáticos que son, en su mayoría, sistemas de retroalimentación negativa. Pero existen diferencias en su funcionamiento; por ejemplo, el sistema nervioso responde más rápidamente que el sistema endocrino y sus efectos son menos duraderos.
- El hipotálamo es el centro integrador a cargo de la regulación de la homeostasis, controlando la actividad de la hipófisis y del sistema nervioso autónomo (SNA).





### Lección 3: ¿Cómo se regula la temperatura?

- La termorregulación es la capacidad de los organismos homeotermos de regular y mantener la temperatura corporal dentro de ciertos rangos, aunque la temperatura ambiental sea muy diferente. Esto es vital para el organismo, pues una temperatura interna muy alta podría inactivar las proteínas del cuerpo y una demasiado baja puede causar la muerte.
- Al igual que con otras variables corporales, el control de la temperatura es mantenido gracias a sistemas de retroalimentación negativa.
- Existen termorreceptores cutáneos y centrales, ubicados en los órganos y en el sistema nervioso central, que se activan por variaciones de la temperatura. El control nervioso depende de la corteza cerebral y del hipotálamo. La primera controla reflejos de los músculos esqueléticos y conductas conscientes, mientras que las respuestas hipotalámicas son inconscientes y mediadas por el SNA.
- La corteza controla respuestas de la musculatura esquelética, mientras que el hipotálamo controla la dilatación de las arteriolas, la excreción de sudor y la secreción de adrenalina desde la médula suprarrenal.
- El centro de integración endocrino también es el hipotálamo, que por medio del control sobre la adenohipófisis, regula la actividad de la tiroides y de su secreción de tiroxina (T3). Esta es la principal hormona encargada de regular la temperatura corporal, debido a su efecto sobre el metabolismo.

### Lección 4: ¿Cómo afecta el estrés a la homeostasis?

- El estrés es un cambio innato en el comportamiento del individuo ante la amenaza, con el objetivo de responder defensiva o adaptativamente frente al estímulo o situación que es percibido como un peligro (agente estresor). El hipotálamo es la primera estructura que se encarga de procesar los estímulos generados por los agentes estresores y dirigir una respuesta inconsciente y rápida ante estos.
- Se distingue el estrés agudo, asociado al estado de alerta ante una emergencia, y el estrés crónico, que es un estrés permanente. Mientras que el primer tipo es adaptativo, el segundo es una enfermedad.
- El hipotálamo ejerce un control nervioso de las respuestas ante el estrés a través del SNA y la secreción de adrenalina; y un control endocrino mediante el control que mantiene sobre la actividad de la glándula suprarrenal y sus secreciones de adrenalina y de cortisol.

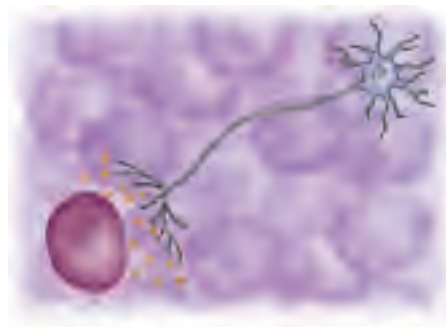
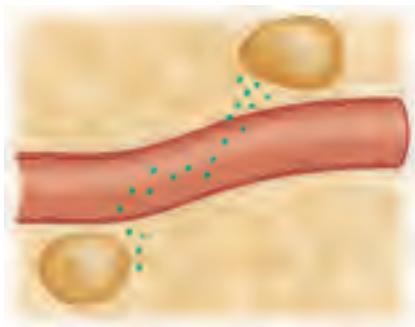


Utiliza lo aprendido durante esta unidad para contestar las siguientes preguntas.

1. Completa la tabla nombrando algunos de los elementos que componen cada sistema. (4 puntos).

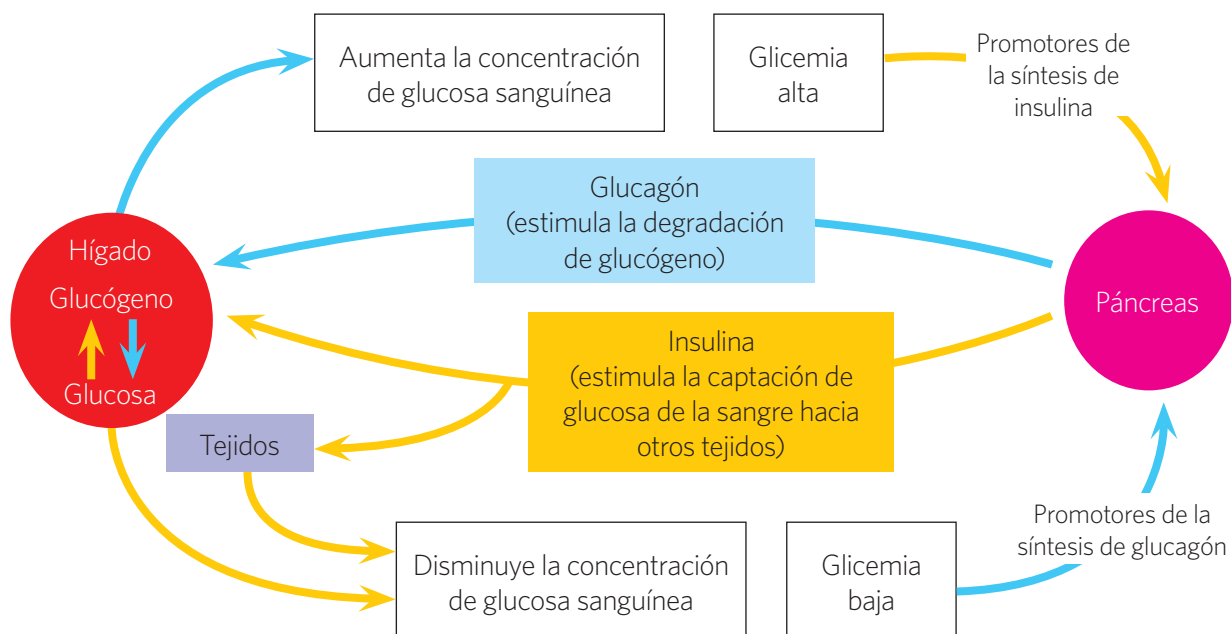
	Sistemas			
	Sistema circulatorio	Corazón	Arteria coronaria	Glóbulo rojo
<b>Elementos</b>				

2. Explica por qué el corazón, la arteria coronaria y el glóbulo rojo pueden ser considerados sistemas. (2 puntos).
3. Describe tres situaciones con las que ejemplifiques cómo nuestro cuerpo intercambia materia y energía con el ambiente. (3 puntos).
4. Identifica a qué tipo de comunicación celular a distancia corresponden ambas representaciones, e indica la célula emisora, primer mensajero y la célula diana. (4 puntos).



5. Explica la importancia de la comunicación celular y del transporte a través de la membrana para mantener la homeostasis. (4 puntos).
6. Escribe en tu cuaderno el concepto al que se refiere cada definición. (2 puntos).
  - a. El plasma y el líquido intersticial forman el líquido extracelular.
  - b. Mantenimiento del medio interno en condiciones constantes.

7. Observa la ilustración y, según tu análisis, responde las preguntas. (9 puntos).



- ¿Cuál es la variable controlada?
- ¿Qué estructura opera como centro de integración? Explica.
- ¿Bajo qué condiciones fisiológicas aumenta la secreción de insulina o glucagón?
- ¿Dónde están las células diana del glucagón y de la insulina?
- ¿Por dónde viajan la insulina y el glucagón y cuál es su efecto en las células diana?
- ¿Se trata de un sistema de retroalimentación positiva o negativa? Fundamenta.

8. Identifica la estructura señalada y responde las preguntas. (9 puntos).



- ¿Cómo contribuye esta estructura a la regulación de la homeostasis?
- Describe el tipo de información aferente que recibe esta estructura.
- Elabora un organizador gráfico que incluya las relaciones funcionales de esta estructura con elementos del sistema nervioso autónomo y del sistema endocrino.

## Evaluación final de Unidad

9. Elabora un cuadro que incluya tres diferencias entre la respuesta nerviosa y endocrina en la regulación homeostática. (3 puntos).
10. Un estudiante observa que su conejo consume, en proporción a su peso, más alimento y con mayor frecuencia que su tortuga. Esta última, a diferencia del conejo, es incapaz de regular su temperatura de manera automática. ¿Cómo explicas esta situación? (3 puntos).
11. Describe cómo los sistemas nervioso y endocrino regulan la temperatura corporal si estamos expuestos a condiciones como las de los ambientes A y B. (10 puntos).

Ambiente A



Ambiente B



12. Describe cómo los sistemas nervioso y endocrino responden ante una emergencia (caso A) y ante una situación de estrés permanente (caso B). (10 puntos).

Caso A



Caso B



13. Explica la utilidad de las siguientes respuestas ante el estrés: (8 puntos).

- Aumento de la frecuencia cardíaca y respiratoria.
- Aumento de los ácidos grasos circulantes.
- Redistribución del flujo sanguíneo.
- Estimulación del catabolismo del glucógeno.

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos
Explicar que los organismos han desarrollado mecanismos de funcionamiento sistémico y de interacción integrada con el medio exterior.	1, 2 y 3	5 o menos	6 o 7	8 o más
Describir la manera en que los organismos mantienen un ambiente interno estable, óptimo y dinámico que le confiere cierta independencia frente a las fluctuaciones del medio exterior.	4, 5, 6 y 7	11 o menos	12 a 15	16 o más
Distinguir el rol de los sistemas nervioso y endocrino en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a cambios que modifican su estado de equilibrio.	8 y 9	6 o menos	7 a 9	10 o más
Describir el control hormonal y nervioso en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a variaciones de temperatura.	10 y 11	7 o menos	8 a 10	11 o más
Describir el control hormonal y nervioso en la coordinación e integración de respuestas adaptativas del organismo frente a estímulos estresantes.	12 y 13	10 o menos	11 a 14	15 o más



Por lograr



Logrado parcialmente



Logrado totalmente

Unidad

# 2

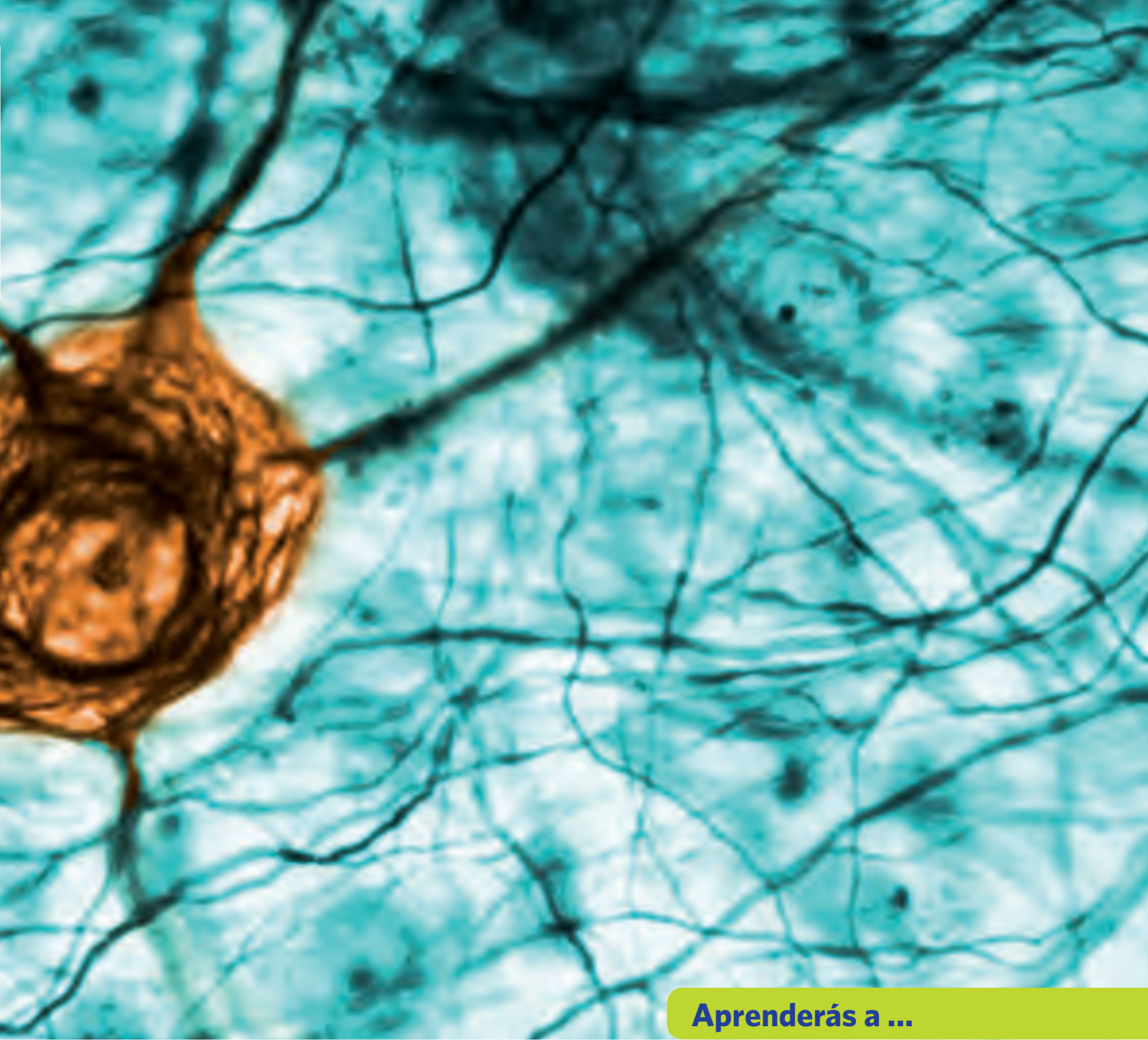
## Organización y función del sistema nervioso

La célula de la fotografía es una neurona; como puedes ver, se proyecta en diferentes direcciones. Con ellas forma una red muy compleja de conexiones con otras neuronas. Cada ser humano tiene en su cerebro redes neuronales particulares, diseñadas por sus genes y construidas bajo la influencia del ambiente, con un número estimado de 100 000 000. En esta unidad aprenderás que los recuerdos, emociones, deseos y pensamientos de cada persona dependen de las redes formadas por estas células tan especiales.

### ¿Qué piensas?

Reúnete con tres compañeros y discute las siguientes preguntas. Luego, un representante del grupo comunicará sus conclusiones ante el curso.

- ¿Cuál será la especialización funcional de las neuronas?
- ¿Qué comparaciones o analogías puedes hacer entre una red neuronal e Internet o una red social?
- ¿Por qué las personas piensan, sienten y valoran las cosas de diferente manera?
- ¿Qué aspectos en común piensas que tienen las redes neuronales de todas las personas?



## Aprenderás a ...

### Lecciones

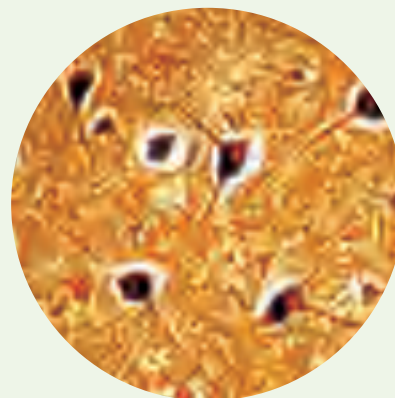
- |   |   |  |
|---|---|--|
| <b>1</b> ¿Qué células forman el tejido nervioso?                    | — | Describir las células que constituyen al tejido nervioso.  |
| <b>2</b> ¿Cómo se organiza y funciona nuestro sistema nervioso?     | — | Describir la organización y función de los órganos y estructuras que componen el sistema nervioso humano.  |
| <b>3</b> ¿Por qué las neuronas pueden conducir un impulso nervioso? | — | Aplicar el conocimiento de las cualidades de la membrana plasmática en la explicación de los fenómenos eléctricos que se producen en las neuronas. |
| <b>4</b> ¿Cómo se comunican las neuronas?                           | — | Explicar cómo se conectan las neuronas en los diferentes tipos de sinapsis.  |
| <b>5</b> ¿Cómo se producen los reflejos?                            | — | Describir la organización y función de un arco reflejo, aplicado en la regulación e integración de funciones sistémicas.                           |

# ¿Qué células forman el tejido nervioso?

➔ **Debes recordar:** Células eucariontes - Tejido - Homeostasis

## Trabaja con lo que sabes

1. Observa las células de la imagen y luego responde las siguientes preguntas.
  - a. Describe la forma y componentes de las células que observas en la imagen.
  - b. ¿Qué procesos se efectúan en el nucléolo y en los ribosomas?
  - c. ¿Estas células forman un tejido? Fundamenta.
2. ¿Cuál es la especialización funcional del tejido nervioso y cuál es su relación con la homeostasis?
3. Describe el tipo de comunicación celular que se produce entre las células del tejido nervioso y el tipo de sustancia que actúa como primer mensajero.



▲ Células nerviosas.

## Propósito de la lección

Al igual que todos nuestros sistemas, el sistema nervioso está formado por órganos, tejidos y células especializadas. En esta lección conocerás las principales características de las células que lo constituyen y que son la base de su compleja organización.

## Aquí CIENCIA

### La inteligencia de Einstein

Tras la muerte del físico alemán Albert Einstein, su cerebro fue analizado con el fin de buscar algún rasgo que ayudara a explicar su inusual inteligencia. No se encontraron diferencias de estructura o tamaño en su cerebro, con respecto al común de las personas. Sin embargo, se descubrió la presencia de un número muy alto de células gliales.

## 1. El tejido nervioso

El tejido nervioso es altamente especializado y está formado por dos tipos celulares: **células nerviosas** o **neuronas** y **células gliales** o **glías**.

### 1.1 Las neuronas

De la enorme cantidad de neuronas de nuestro organismo, solo en el cerebro hay más de cien mil millones; todas ellas comparten la misma organización estructural y especialización funcional: la **conducción del impulso nervioso**. Sin embargo, existen cualidades que las distinguen, como su forma o su función específica, lo que hace posible la aplicación de diferentes criterios para su clasificación.

### Actividad 1

Inferir sobre...

#### El origen de la inteligencia

1. ¿Cuál podría ser la causa de la inteligencia de Einstein?
2. ¿Basta esta única observación para hacer conclusiones generales?, ¿por qué?



## 1.2 Estructura de una neurona típica

Las neuronas son la unidad estructural y funcional del sistema nervioso. Una neurona típica tiene regiones bien definidas que desempeñan funciones especializadas, estas son: dendritas, soma y axón.

**Dendritas:** prolongaciones cortas y múltiples del soma. En sus extremos están los **botones postsinápticos**, a través de los cuales reciben señales desde otras neuronas o células.

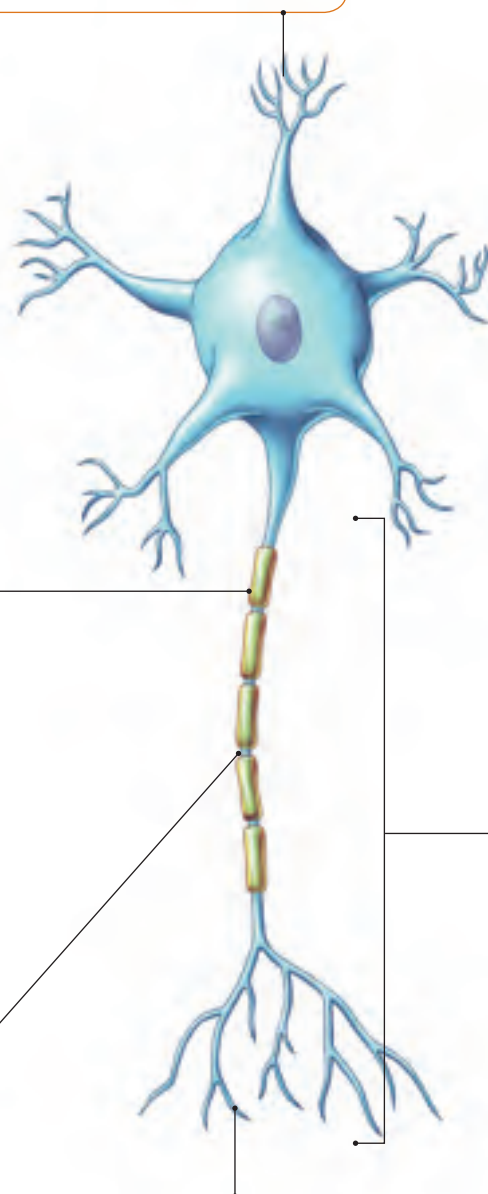
**Soma o cuerpo celular:** en él destacan el núcleo con el nucléolo y los cuerpos de Nissl o polirribosomas, lo que indica una elevada síntesis de proteínas. En el soma, además, se forman vesículas con neurotransmisores. Las agrupaciones de somas neuronales forman la **sustancia gris**, que es visible en la corteza cerebral y en la médula espinal.

**Vaina de mielina:** existe en la mayoría de las neuronas y está formada por varias capas de mielina, una sustancia grasa producida por células gliales, que envuelven entrecortadamente al axón y que aíslan su membrana del líquido intersticial. Su presencia aumenta la velocidad de conducción del impulso nervioso.

**Nodos de Ranvier:** se forman por las interrupciones de la vaina de mielina; en ellos, la membrana del axón tiene contacto con el líquido intersticial y puede, por lo tanto, intercambiar sustancias con él.




**Terminal axónica:** desde esta región del axón se transmiten las señales a otras neuronas, a los músculos o glándulas. En sus extremos se distinguen los **botones presinápticos**, a los que llegan, desde el soma, numerosas vesículas con **neurotransmisores**.

**Axón o fibra nerviosa:** ramificación del soma, más larga que las dendritas y generalmente única. Su membrana se especializa en la conducción del impulso nervioso, cuya velocidad es mayor en los axones de mayor diámetro. En el citoplasma del axón se distinguen neurofilamentos que le dan rigidez y microtúbulos que conducen las vesículas con neurotransmisores desde el soma y numerosas mitocondrias. En su extremo terminal se ramifica formando la **terminal axónica**. Un conjunto de axones constituye la **sustancia blanca** del sistema nervioso central, y haces de ellos forman los nervios del sistema nervioso periférico.



### 1.3 Clasificación de las neuronas

Las neuronas pueden ser clasificadas usando distintos criterios. Aquí te presentamos dos de los más usados.

Clasificación según el número de prolongaciones que emergen del soma	Clasificación según su función
 <p><b>Neurona bipolar</b> Su única dendrita lleva información hacia el soma, y su axón, hacia otras células. Transmiten información sensorial (olfato, vista, oído y equilibrio) al sistema nervioso central.</p>	<p><b>Neuronas asociativas</b> También llamadas <b>interneuronas</b>, se localizan en centros nerviosos como la médula espinal o el encéfalo, donde conectan distintos tipos de neuronas.</p>
 <p><b>Neurona pseudounipolar</b> Es un subtipo de neurona bipolar en la que se han fusionado dendritas y axón, pero mantienen su especificidad funcional. Llevan información sensorial a la médula espinal.</p>	<p><b>Neuronas sensitivas</b> También llamadas <b>aférentes</b>, conducen los impulsos nerviosos desde los órganos de los sentidos y las células sensoriales hacia el sistema nervioso central.</p>
 <p><b>Neurona multipolar</b> Presentan un único axón y varias dendritas. Es el tipo de neurona más común en el sistema nervioso de mamíferos.</p>	<p><b>Neuronas motoras</b> También llamadas <b>eférentes</b>, conducen los impulsos desde el sistema nervioso central hacia las estructuras que ejecutan las respuestas, llamados órganos efectores, como los músculos y glándulas.</p>

#### Actividad 2 Comprender las...

##### Cualidades de las neuronas

1. ¿Cuáles son las partes de la neurona especializadas en: recibir señales, conducir el impulso nervioso y transmitir esas señales?
2. ¿De qué cualidades de la neurona depende la velocidad del impulso nervioso?
3. Supón que estás viendo una película de terror y, sorpresivamente, un ruido te hace saltar del asiento. Identifica las funciones sensitivas y motoras que operan en esta situación.

## 2. Tipo de células gliales y sus principales funciones

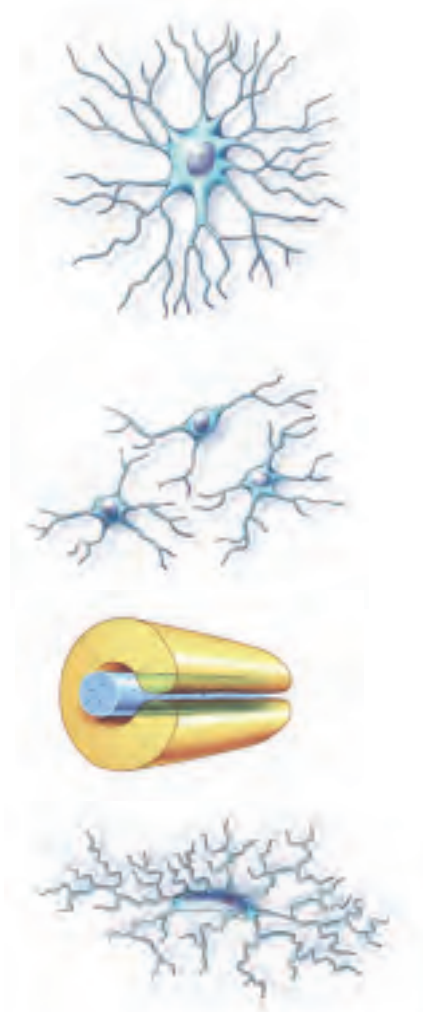
La mayor parte de las células que forman al tejido nervioso son células gliales; estas cumplen funciones auxiliares de apoyo estructural y fisiológico a las neuronas.

**Astroцитos:** son las más numerosas; con sus múltiples prolongaciones contactan tanto a capilares como a neuronas; por esto se sospecha que colaborarían en la nutrición neuronal. Forman la **barrera hematoencefálica**, una capa impermeable ubicada en los capilares y vénulas del encéfalo, que evita el paso de muchas sustancias tóxicas desde la sangre hacia este. Además, regulan el pH y los niveles de potasio del líquido extracelular. Esto impide que las neuronas se activen indiscriminadamente. Además, funcionan como reguladores de la sinapsis. A esto se le llama sinapsis tripartita (terminal presináptico, terminal postsináptico y astrocito).

**Oligodendrocitos:** son las más pequeñas y se ubican en el sistema nervioso central. En la sustancia gris, soportan a los somas neuronales, y en la sustancia blanca, sus prolongaciones forman la vaina de mielina de los axones.

**Células de Schwann:** se ubican en el sistema nervioso periférico (SNP) y cumplen funciones de soporte y regulación de los axones. Existen dos tipos de células de Schwann: las mielinizantes, que forman la vaina de mielina alrededor de un axón, y las no mielinizantes, que acompañan a los axones amielínicos del SNP.

**Microglías:** forman parte del sistema inmune y representan la población de macrófagos residentes del sistema nervioso central (SNC). Tienen capacidad fagocítica y tras una lesión o enfermedad, fagocitan los restos celulares. Además, inician la respuesta inflamatoria.



### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. Identifica las estructuras neuronales especializadas en la recepción de señales, en la conducción del impulso nervioso y en la transmisión de este a otras células.
2. Identifica los componentes de las neuronas que forman la sustancia gris, la sustancia blanca y los nervios.
3. Compara las características de una neurona y las de una célula animal típica. ¿Qué puedes concluir a partir de esta comparación?
4. Haz un listado de las funciones generales de las células gliales.
5. ¿Qué células gliales forman la barrera hematoencefálica, y qué importancia tiene esta?
6. ¿Qué células gliales forman la vaina de mielina en el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico, respectivamente?

# ¿Cómo se organiza y funciona nuestro sistema nervioso?

⇒ **Debes recordar: Homeostasis - Neurona**

## Trabaja con lo que sabes

- Las imágenes muestran la actividad cerebral al realizar distintas acciones. Obsérvalas y responde las preguntas a y b.



Ver



Escuchar



Pensar

- ¿Qué relación existe entre la actividad de las neuronas y los colores observados en cada imagen?
  - ¿Por qué solo algunas zonas del cerebro presentan actividad en las distintas acciones? Explica.
- ¿Cómo responde el hipotálamo si baja la cantidad de agua en la sangre?, ¿por qué esta respuesta es un ejemplo de homeostasis?

## Propósito de la lección

En la lección anterior conociste las características del tejido nervioso, particularmente las de su unidad funcional: la neurona. En esta lección conocerás las principales estructuras del sistema nervioso humano, y cómo, a partir de sus relaciones, surgen sus propiedades funcionales.

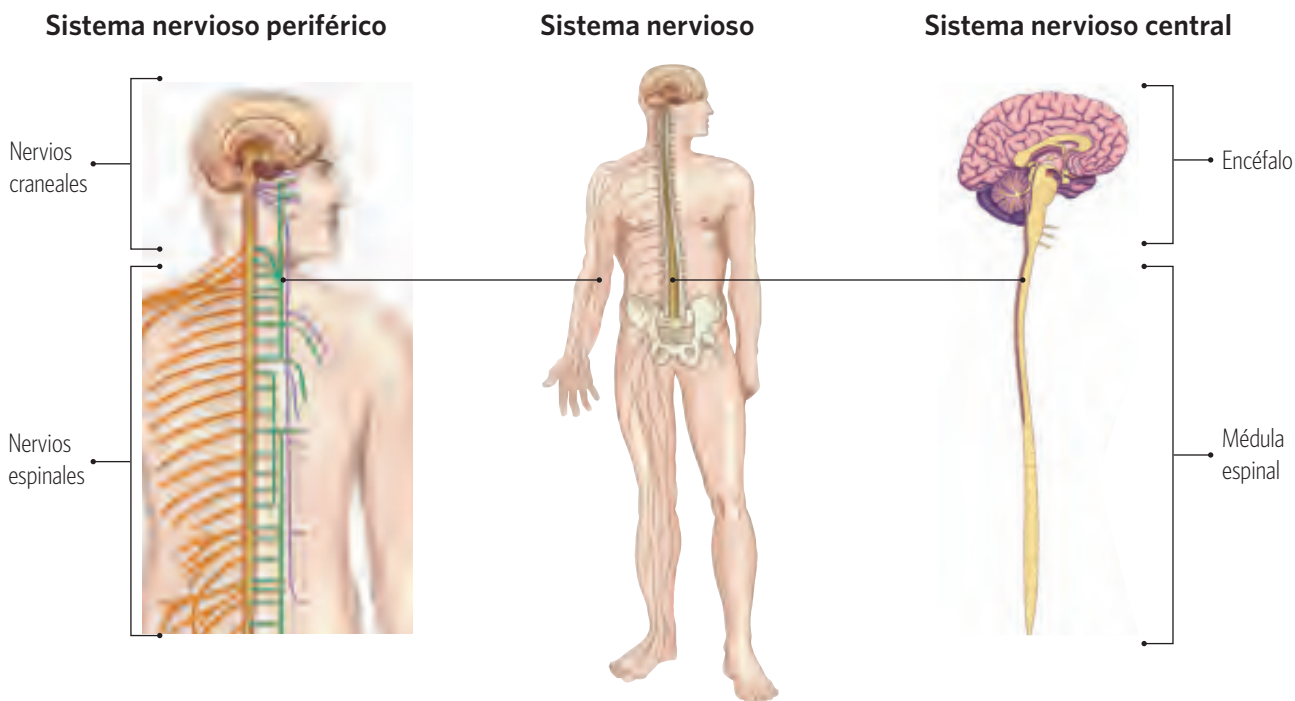
### Apunte

**Estímulo:** es una perturbación interna o externa posible de ser captada por uno o más receptores de un organismo y que provoca una reacción o respuesta de una célula, tejido u órgano.

## 1. Importancia y organización del sistema nervioso

Permanentemente, tu sistema nervioso recibe múltiples estímulos. Por ejemplo, cuando estás almorzando con tus amigos, eres capaz de percibir el sabor y olor de la comida, conversar y reír, mientras tu sistema digestivo procesa los alimentos. ¿Cómo puedes sentir y hacer tantas cosas a la vez? Al igual que el sistema endocrino, el sistema nervioso (SN) controla la homeostasis, y además, capta y procesa la información ambiental produciendo respuestas coordinadas. Para esto, integra funciones con mucha rapidez, lo que permite al cuerpo actuar con armonía y eficiencia frente a cambios tanto del medio interno como del ambiente.

Los órganos que forman el sistema nervioso se conectan anatómicamente y funcionalmente entre sí, y también con los demás órganos y tejidos del cuerpo. Con el fin de facilitar su estudio se subdivide en varios componentes, pero no debes olvidar que el sistema nervioso funciona integradamente, como una unidad.



▲ Subdivisiones generales del sistema nervioso.

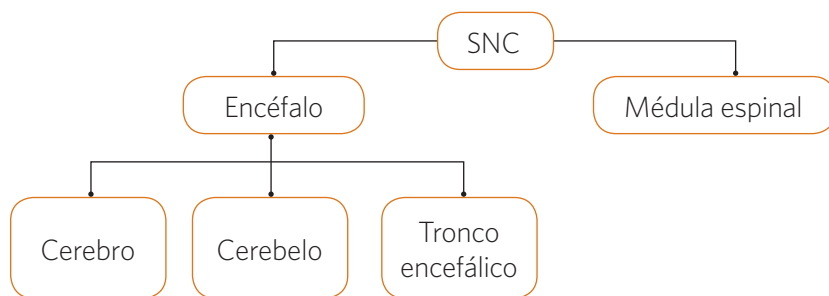
## 2. Organización del sistema nervioso central (SNC)

El SNC es el centro integrador de respuestas, por lo que recibe y transmite información desde y hacia el resto del cuerpo mediante la red de nervios del sistema nervioso periférico (SNP). La complejidad de sus respuestas es mayor a medida que ascendemos en él; así, la médula espinal es responsable de respuestas más simples, comparadas con aquellas que da el cerebro, como los reflejos.

En los órganos del SNC, la sustancia gris forma cortezas, núcleos y la zona central de la médula espinal. Por su parte, la sustancia blanca forma cordones y otras estructuras que conectan los componentes del SNC, como el cuerpo caloso, que une los dos hemisferios cerebrales, y los tractos espinales, que transmiten la información desde y hacia la médula espinal.

### Apunte

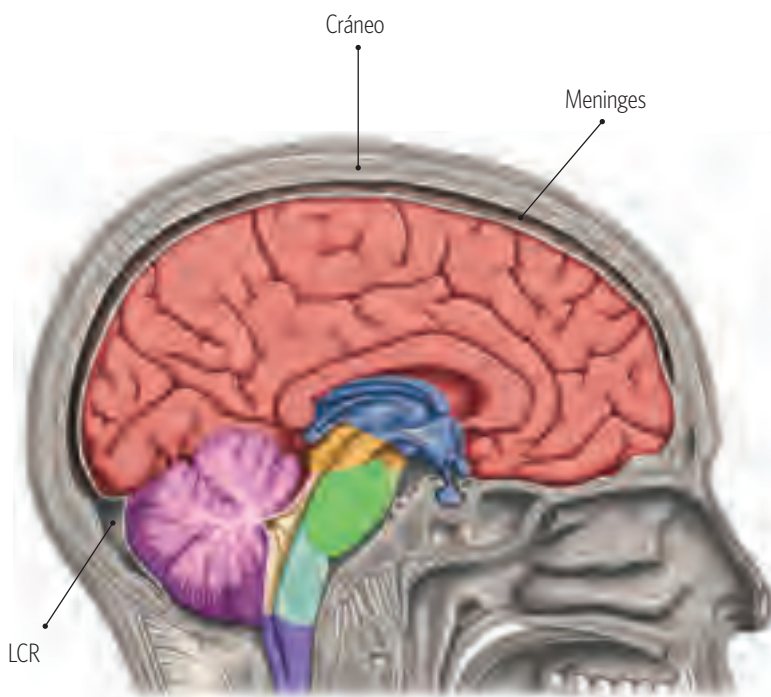
Reflejos: son respuestas rápidas e involuntarias elaboradas ante la recepción de un estímulo.



▲ Organización general del SNC.

### 3. Protección del SNC

Las neuronas no se reproducen y la capacidad de regenerarlas es muy limitada, por lo que su pérdida es, casi siempre, irreparable. Sin embargo, el SNC está bien protegido por:



▲ Estructuras que protegen el SNC.

#### Para saber +

- En el espacio epidural se inyectan anestésicos; por ejemplo, durante el parto. También se toman muestras de LCR.

#### Apunte

Tejido conjuntivo o conectivo: une otros tejidos del cuerpo; además, sostiene, protege y aísla diferentes estructuras del organismo.

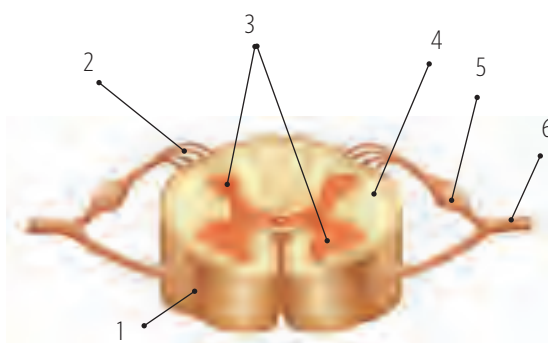
- Estructuras óseas**: el cráneo protege el encéfalo y la columna vertebral resguarda la médula espinal de lesiones.
- Meninges**: son tres membranas de tejido conjuntivo. La **piamadre**, que reviste la superficie del SNC, tiene muchos vasos sanguíneos y forma las estructuras que producen el líquido cefalorraquídeo. Sobre la piamadre está la **aracnoide** y entre ellas, se encuentra el espacio subaracnoideo en el cual está el líquido cefalorraquídeo. Adherida a los huesos se ubica la **duramadre**, la más fibrosa y resistente de las meninges; en el cráneo forma tabiques que ayudan a mantener en su posición las distintas partes del encéfalo; en la columna vertebral forma el espacio epidural, este contiene grasa que protege la médula espinal de lesiones.

- Líquido cefalorraquídeo (LCR)**: la mayor parte de este líquido es producida por una especialización de la piamadre llamada plexos coroideos, que cubre unas cavidades encefálicas llamadas ventrículos, desde los cuales fluye hasta el canal vertebral. En este flota el SNC y sirve como amortiguador ante eventuales golpes. Su composición se asemeja a la del plasma y a la del líquido extracelular del sistema nervioso. Además, transporta nutrientes y desechos a lo largo del SNC y mantiene la presión constante entre cerebro y médula espinal.

### 4. Médula espinal

La médula espinal recorre el canal raquídeo de las vértebras, desde la base del cráneo hasta la primera vértebra lumbar, un poco más arriba de la cintura. Funciona como un centro elaborador de reflejos y conductor de impulsos nerviosos desde y hacia el encéfalo.

## 4.1 Organización de la médula espinal



▲ Médula espinal.

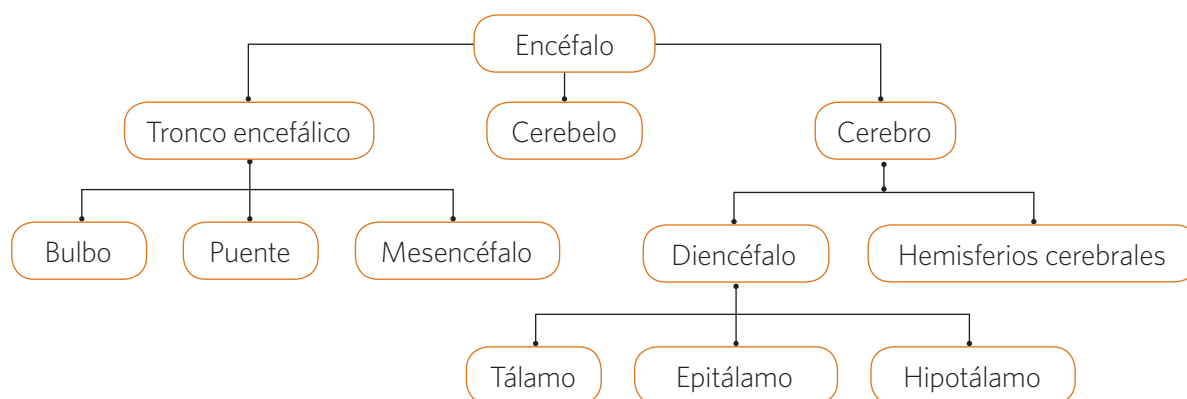
1. **Raíces ventrales o anteriores:** vía eferente que contiene axones motores del sistema nervioso somático y del sistema nervioso autónomo.
2. **Raíces dorsales o posteriores:** vía aferente que contiene axones sensitivos procedentes de la piel, los músculos y las vísceras.
3. **Sustancia gris:** transversalmente se identifican dos astas dorsales y dos ventrales. Las primeras contienen núcleos sensitivos, y las segundas, núcleos motores.

▲ Nervios espinales.

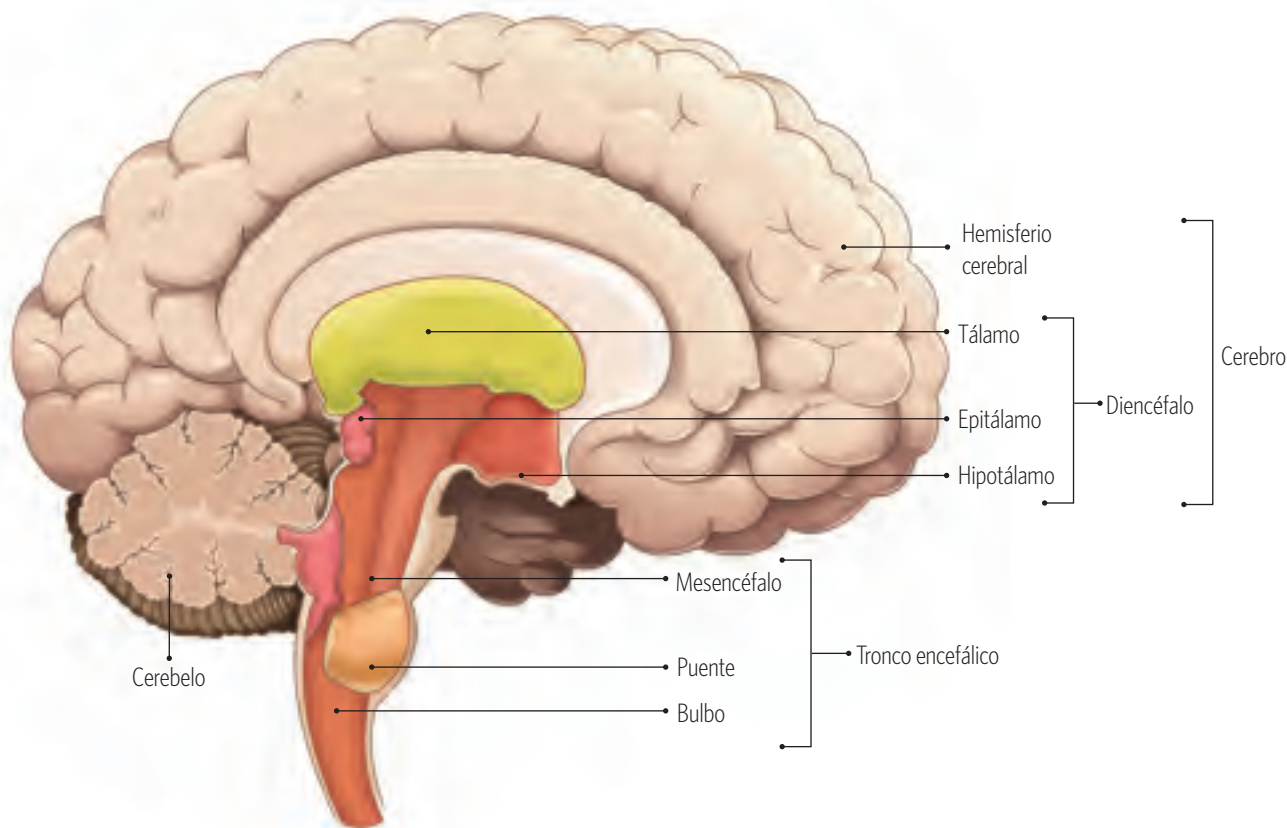
4. **Sustancia blanca:** muchísimos axones se reúnen formando cordones dorsales, laterales y ventrales. Unos ascienden con información sensitiva hasta el encéfalo, y otros descienden con información motora.
5. **Ganglios espinales o raquídeos:** contienen somas de neuronas pseudounipolares, por las cuales se transmite información sensitiva hacia el SNC.
6. **Nervios espinales o raquídeos:** son 31 pares de nervios formados por la unión de las raíces dorsales y ventrales; por lo tanto, contienen axones sensitivos y motores.

## 5. Organización del encéfalo

El encéfalo está constituido por las estructuras superiores del sistema nervioso central, protegidas por el cráneo. Es el centro elaborador de respuestas reflejas, voluntarias y de procesos superiores, como el lenguaje, la coordinación motora, el aprendizaje, la atención y la memoria.



▲ Organización general del encéfalo.



▲ Organización del encéfalo.

### Para saber +

- La formación reticular es una red de neuronas del tronco encefálico que interviene en los procesos de alerta y atención. Podemos considerar la atención como un filtro de la percepción, que discrimina lo importante de lo que no lo es y es clave en el proceso de aprendizaje.

## 5.1 Tronco encefálico (TE)

El TE se ubica sobre la médula espinal y lo componen el bulbo raquídeo, la protuberancia o puente y el mesencéfalo. Desde él emergen diez de los doce pares de **nervios craneales**, a través de los cuales recibe información sensorial del gusto, oído y equilibrio, además de la que proviene de las articulaciones y la piel de la cabeza. Algunos nervios craneales también transmiten información motora a los músculos del cuello y de la cabeza.

La sustancia blanca del tronco encefálico conduce información sensorial y motora hacia y desde los centros superiores del encéfalo.

### a. Bulbo

- Interviene en el control de la presión sanguínea, mediante la regulación de la frecuencia y fuerza del latido cardíaco y del diámetro de los vasos sanguíneos.
- Interviene en el control de la frecuencia del ritmo respiratorio.
- Controla la deglución, el vómito, el estornudo, la tos y el hipo.



### b. Puente o protuberancia

- Contiene núcleos que controlan los movimientos respiratorios.
- Recibe información sensorial del gusto e información táctil de la cara y el cuello.
- Envía información motora que controla la expresión facial.
- A través de su sustancia blanca, conduce información sensitiva y motora desde y hacia los centros superiores del encéfalo.

### c. Mesencéfalo o cerebro medio

- Controla los movimientos de los globos oculares, así como la contracción de la pupila.
- Presenta núcleos que participan en funciones sensoriales de la visión y audición.
- Presenta centros reguladores de reflejos de los ojos, la cabeza y el cuello.

#### Para saber +

- El síndrome de Moebius se caracteriza por el desarrollo incompleto de los nervios craneales VI y VII, que emergen desde el puente, lo que genera parálisis facial y estrabismo.



## 5.2 Cerebelo

Es la segunda estructura en cuanto a tamaño, después del cerebro. Su sustancia gris forma una corteza muy plegada y también núcleos cerebelosos centrales, desde donde salen axones que llevan información fuera del cerebelo. La sustancia blanca es central y tiene un aspecto semejante a un árbol, por lo cual recibe el nombre de "árbol de la vida". El cerebelo recibe información sensorial, conducida por la médula, desde músculos, tendones y articulaciones; información motora desde la corteza e información del equilibrio desde el oído interno.

- Coordina la actividad de los músculos esqueléticos durante el movimiento.
- Participa en el control de los movimientos oculares y en la mantención de la postura corporal.



- ◀ El cerebelo coordina nuestros movimientos voluntarios.

## Para saber +

- El sistema límbico es, junto al sistema nervioso autónomo, responsable de la respuesta emocional, pero además interviene en la memoria y el deseo sexual. Por esa razón, es clave en las características de nuestra personalidad y conducta. Está formado por varias estructuras cercanas al tálamo, como el hipotálamo, el hipocampo y la amígdala cerebral.

### 5.3 Cerebro

El cerebro es la principal estructura del encéfalo, tanto por su tamaño como por la complejidad de sus funciones. Lo integran el diencefalo o cerebro medio y los hemisferios cerebrales izquierdo y derecho.

#### a. Diencefalo

##### Hipotálamo

- Controla la secreción hormonal de la hipófisis.
- Regula al sistema nervioso autónomo controlando, por ejemplo, la temperatura corporal y las sensaciones de hambre y sed.
- Participa en emociones, como la rabia, y en la regulación del estado de vigilia y los patrones del sueño.

##### Tálamo

- Recibe casi todos los impulsos sensitivos y motores provenientes de otras estructuras del SNC, y los distribuye a zonas específicas de la corteza cerebral.

##### Epitálamo

- Pertenece al sistema límbico; tiene relación con los instintos y las emociones y contiene a la glándula pineal, que regula los estados de sueño y vigilia.

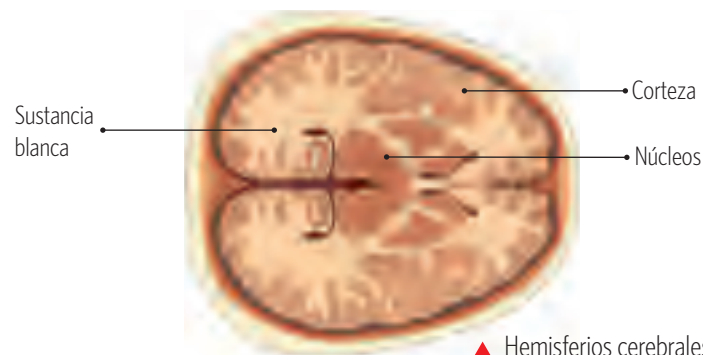
#### b. Hemisferios cerebrales

##### Sustancia gris

En la superficie forma la **corteza**, que participa de los procesos más complejos, como el lenguaje, la memoria y la resolución de problemas. Inmersa en la sustancia blanca de los hemisferios, hay tres **agrupaciones nucleares**: los núcleos de la base, la amígdala y el hipocampo. Estas se relacionan con funciones motoras, la memoria y las emociones, entre otras.

##### Sustancia blanca

Está formada por millones de axones mielinizados, que conectan a los distintos elementos del sistema nervioso central. Destaca el **cuerpo calloso**, un conjunto de axones que conecta ambos hemisferios, lo que permite que trabajen asociadamente en la coordinación de funciones.

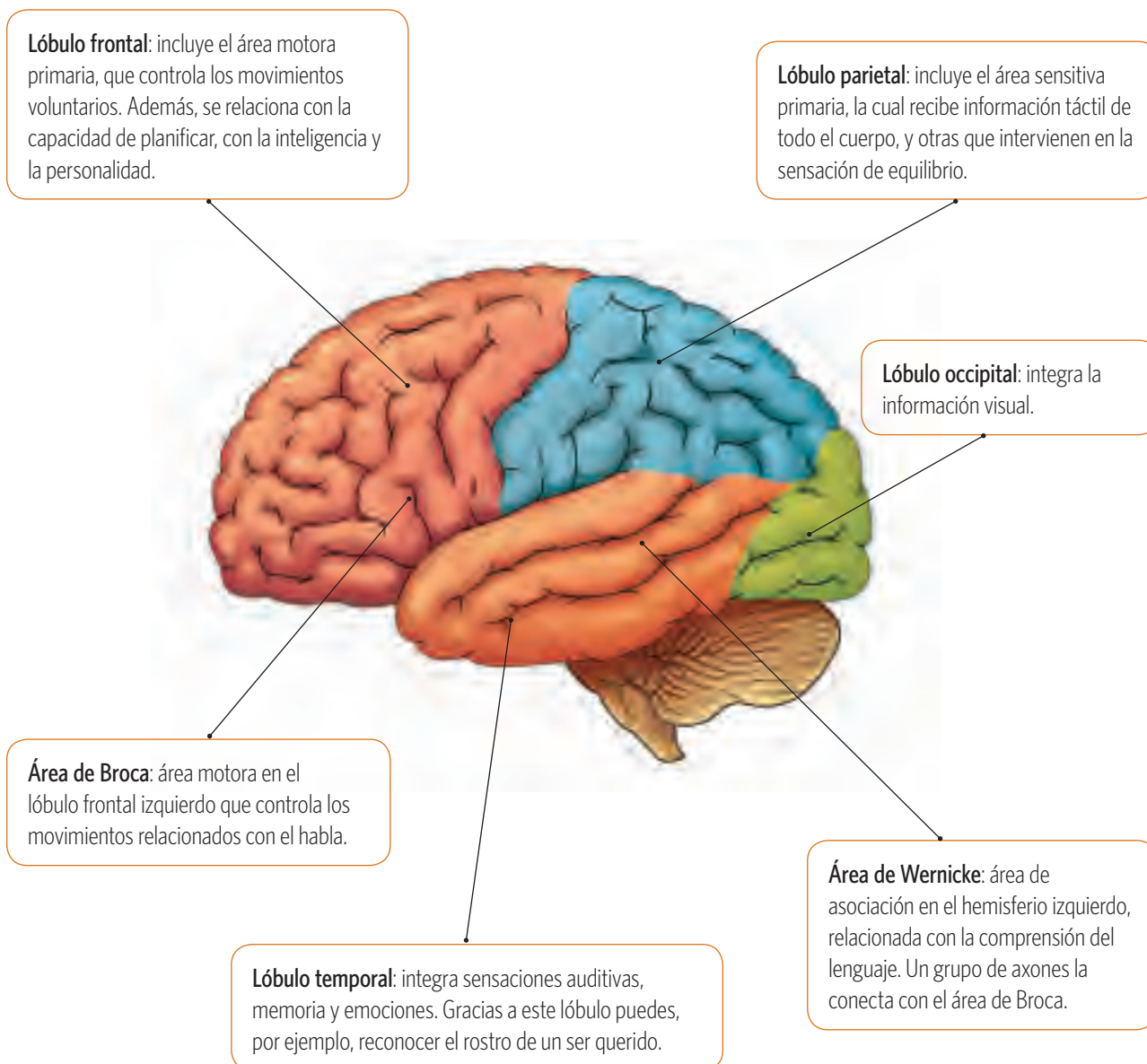


▲ Hemisferios cerebrales.

## 5.4 Funciones de la corteza

A pesar de su aspecto semejante, los hemisferios se diferencian en su especialización funcional. Del **hemisferio izquierdo** dependen los movimientos y sensaciones del lado derecho del cuerpo, la habilidad numérica, el razonamiento lógico y los lenguajes escrito y hablado. Del **hemisferio derecho** dependen los movimientos y las sensaciones del lado izquierdo del cuerpo, la percepción tridimensional, el sentido artístico y la imaginación.

En la corteza de cada hemisferio se identifican cuatro lóbulos. En ellos se encuentran las **áreas sensitivas**, que reciben impulsos sensoriales; las **áreas motoras**, que controlan los movimientos voluntarios; y las **áreas de asociación**, que intervienen en procesos de memoria, razonamiento, lenguaje y emociones.



Para saber +

- Aunque el sistema nervioso somático es responsable de las respuestas voluntarias, también genera reflejos. Por ejemplo, tiritamos cuando hace frío porque los termorreceptores cutáneos y del hipotálamo envían esta información a la corteza cerebral, la cual envía señales para que se produzca la contracción involuntaria de los músculos esqueléticos. Por el contrario, cuando sube tu temperatura, el hipotálamo envía, a través del sistema nervioso simpático, señales que activan las glándulas sudoríparas. Al sudar, nuestro cuerpo se enfría y la temperatura tiende otra vez a normalizarse.



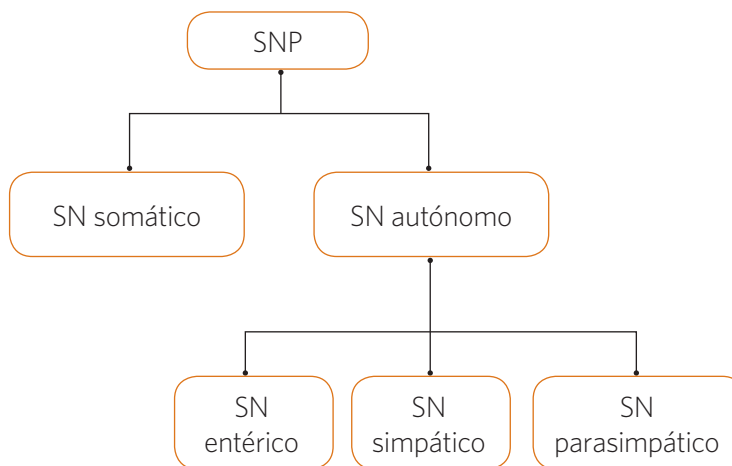
140



Opina, en no más de 140 caracteres, acerca de la importancia de nuestras emociones y de cómo estas influyen en nuestras acciones y decisiones.

## 6. Organización del sistema nervioso periférico (SNP)

El SNP está formado por **ganglios** o grupos de somas neuronales, y por **nervios**, ubicados fuera del SNC, pero conectados a este. Su función es transmitir información sensitiva hacia el SNC e información motora, desde este hacia los músculos y glándulas.



▲ Organización general del sistema nervioso periférico.

### 6.1 Sistema nervioso somático

Formado por los nervios craneales y espinales, conduce impulsos nerviosos desde el SNC hasta la musculatura estriada, provocando los movimientos voluntarios. A su vez, transmite información sensitiva desde el resto del cuerpo al SNC.

### 6.2 Sistema nervioso autónomo

Es independiente del control de la corteza cerebral, regulándose a sí mismo. Es responsable del movimiento de las vísceras y de la musculatura lisa, así como de la actividad de las glándulas exocrinas. Su centro de control es el **hipotálamo**, que integra información proveniente de otros elementos del SNC, especialmente del tronco encefálico. De su actividad depende la manifestación física de las emociones, y de sus divisiones **simpática** y **parasimpática**, al igual que las neuronas motoras de la división somática, depende la mantención de la homeostasis frente a variaciones del medio interno y ambiental.

#### a. Sistema nervioso entérico

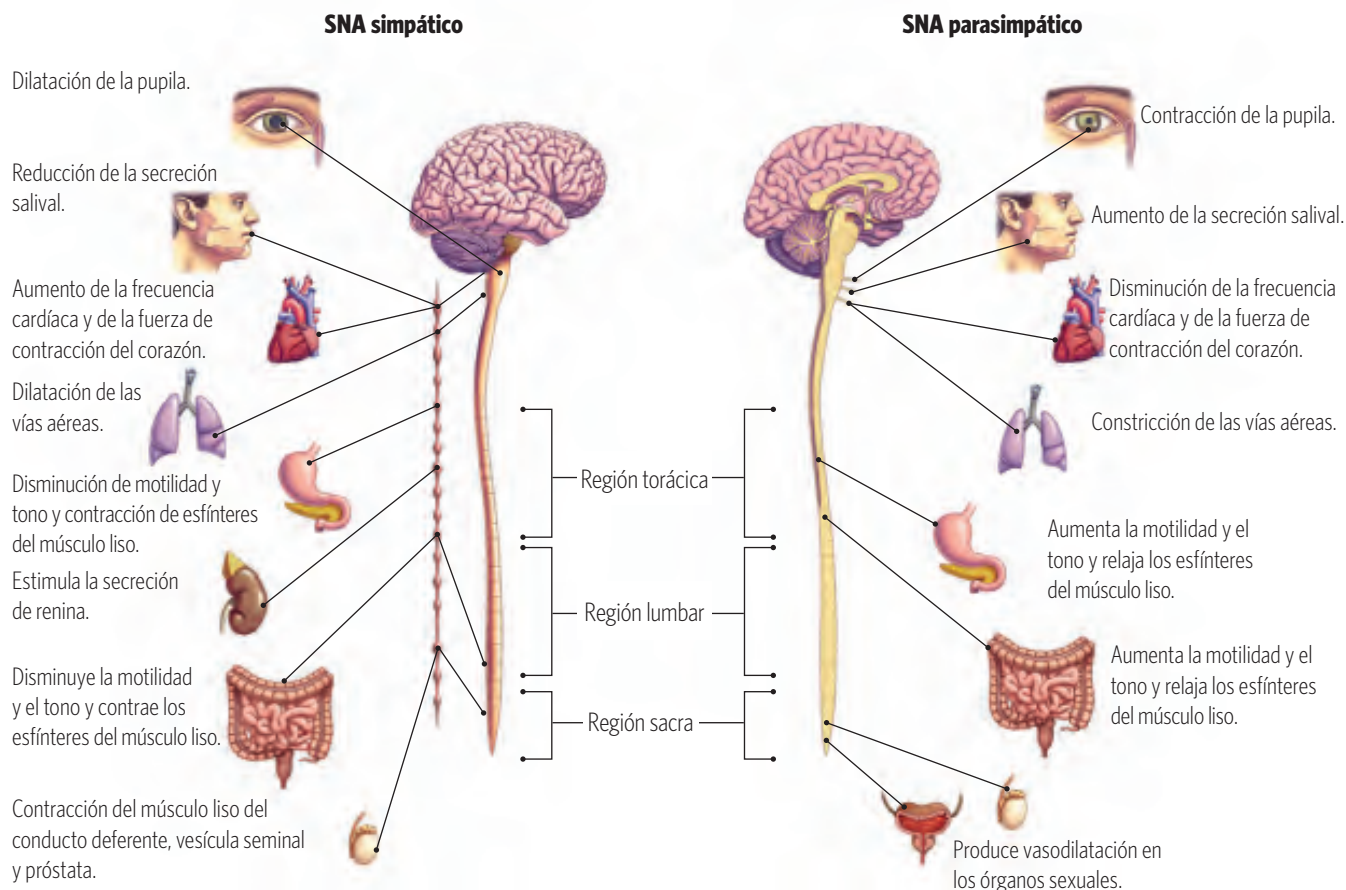
Es una red neuronal que controla la actividad de la musculatura del tubo digestivo en la digestión de los alimentos. Además, es responsable de las “mariposas en el estómago” que sientes cuando estás emocionado, pues está conectado con el sistema límbico.

**b. Sistema nervioso simpático**

Está involucrado en actividades que requieren energía. Actúa frente a situaciones de alerta o estrés, como las que se dan ante una lucha o huida, preparando al cuerpo para combatir o correr. Su acción predomina también cuando estamos enojados o felices, y cuando estamos en una competencia deportiva.

**c. Sistema nervioso parasimpático**

Está involucrado en acciones que conservan la energía. Se conecta a los mismos órganos que el sistema nervioso simpático, pero sus acciones son opuestas; es decir, vuelve al organismo a la condición de reposo y menor consumo de energía.



**Antes de seguir, utiliza lo aprendido**

1. ¿Cuáles son las funciones generales del sistema nervioso?
2. Elabora en tu cuaderno un organizador gráfico en el que relaciones todas las subdivisiones del sistema nervioso con sus respectivos elementos.
3. Si al caminar sientes dolor porque te has clavado una espina, y levantas el pie, ¿cuál es el recorrido de la información desde que tu organismo capta el estímulo hasta que produce la respuesta?
4. Compara los siguientes pares de sistemas: sistema nervioso central y periférico; sistema nervioso somático y autónomo; y sistema nervioso simpático y parasimpático.
5. ¿Por qué el hipotálamo es tan importante para la regulación de la homeostasis?

## Planteamiento y comprobación de hipótesis para explicar la relación estructura-función de diferentes encéfalos en vertebrados

### Antecedentes

Los vertebrados presentan diferencias de proporciones entre las estructuras que componen su encéfalo. Estas divergencias se asocian a niveles de complejidad en las conductas expresadas y en sus capacidades para percibir los estímulos del medio.

Por ejemplo, si comparas las conductas o las capacidades perceptivas que desarrolla un pez con las de un caballo, sin duda encontrarás diferencias. En el caso de los peces óseos, estos poseen una línea lateral a cada lado de su cuerpo constituida por células sensoriales que les permiten percibir las vibraciones del agua para detectar movimientos a su alrededor. A través de su sistema visual pueden incluso distinguir distancias entre los objetos observados, mientras que su sistema auditivo discrimina sonidos. Muchos peces óseos presentan yemas gustativas y sus fosas olfatorias filtran el agua percibiendo olores.

Los caballos poseen conductas más complejas; aprenden a través del reflejo condicionado y lo fijan en su memoria. Se organizan en manadas, las cuales presentan jerarquías y cuidado colectivo de las crías. En general, no es un animal agresivo, es más bien temeroso. Con respecto a los sentidos, tienen buena vista lateral y el olfato está bien desarrollado, lo que les permite encontrar alimento, agua y reconocer a los de su especie.

### Problema de investigación

Durante la evolución de las especies se seleccionan rasgos y características que contribuyen a la supervivencia de los organismos, lo que genera diferencias entre ellos. Algunos de estos rasgos se relacionan con la fisiología y el comportamiento. Entonces, podemos plantearnos las siguientes preguntas: ¿qué relación existe entre la morfología del encéfalo y la complejidad conductual?, ¿y entre la morfología del encéfalo y la capacidad perceptiva en los vertebrados?

### Estrategias de contrastación y resultados

Lean el siguiente extracto de investigación y trabajen con los datos registrados que encontrarán a continuación. Para esta etapa del taller deben diseñar una estrategia que les permita encontrar una o más relaciones entre las variables planteadas en su hipótesis (estructura del encéfalo, complejidad conductual y capacidad perceptiva). Detallen el procedimiento que realizarán para el trabajo comparativo. Recuerden que el cerebro es el órgano que regula la conducta; el cerebelo, la coordinación motora; el lóbulo olfatorio procesa el olfato y el lóbulo óptico, la capacidad visual.

Un grupo de investigadores observó durante un año la conducta de diversos ejemplares de lampreas, peces óseos, ranas, gansos y caballos, registrando datos etológicos (conductuales). Paralelamente, analizaron las capacidades fisiológicas de sus sistemas sensoriales. Todas las observaciones registradas se clasificaron en cuatro categorías:

- complejidad conductual general.
- coordinación motriz.
- percepción visual.
- percepción olfatoria.

Los resultados se detallan en la siguiente tabla.

**Tabla 1:** Niveles de complejidad conductual y capacidad fisiológica en diferentes organismos.

Especie	Complejidad conductual	Coordinación motriz	Percepción visual	Percepción olfatoria
Lamprea	*	*	*	*****
Pez óseo	***	***	*****	*
Rana	***	**	****	*****
Ganso	****	*****	*****	*
Caballo	*****	*****	*****	****



### Análisis e interpretación de evidencias

Luego de comparar la estructura del encéfalo con las capacidades fisiológicas y perceptivas de los distintos organismos, planteen una hipótesis de trabajo. Luego, respondan las siguientes preguntas:

1. ¿Qué diferencias importantes observan en los modelos de encéfalo de los diferentes organismos? Mencionen al menos cuatro.
2. ¿Existe una relación entre la estructura del encéfalo y las características conductuales y perceptivas de los organismos?
3. De acuerdo con los resultados obtenidos, ¿rechazan o aceptan la hipótesis planteada?

### Conclusiones, comunicación de resultados y proyección

Enuncien conclusiones que señalen las relaciones que se identifican entre las variables analizadas.

Como proyección del trabajo, planteen un nuevo problema de investigación incorporando otra variable, que puede ser, por ejemplo, un cambio en el ambiente en el que se desarrollan los diferentes organismos, donde el problema podría ser: "Los vertebrados mantienen conductas complejas al modificar el ambiente donde se desarrollan".

Elaboren un panel para comunicar los resultados de la investigación. Revisen el anexo 2 de su texto (página 374) para apoyar su realización.



### Organiza lo que sabes

En tu cuaderno, diseña un organizador gráfico usando al menos diez de los conceptos de esta lista. Este organizador representará lo que has aprendido.

- axón
- impulso nervioso
- neuronas motoras
- botón postsináptico
- médula espinal
- neuronas sensitivas
- botón presináptico
- nervios motores
- sistema límbico
- células gliales
- nervios sensitivos
- sistema nervioso periférico
- cerebro
- neurona
- soma
- dendritas
- neuronas de asociación
- tronco encefálico

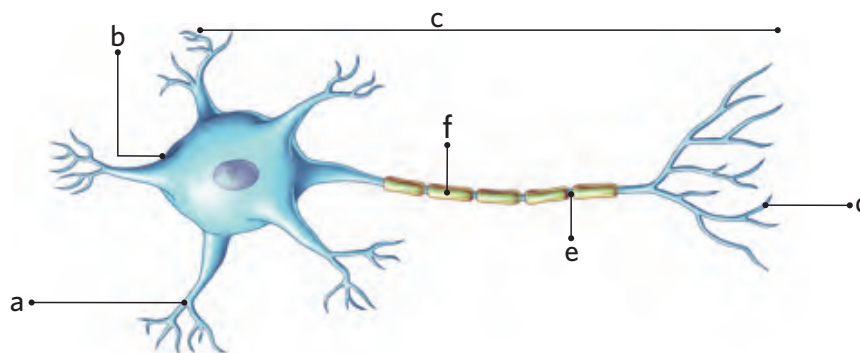
### Evaluación de proceso

1. Copia y completa la tabla con las funciones de las estructuras solicitadas. (16 puntos).

	Funciones		Funciones		Funciones
SNC		Encéfalo		Cerebro	
				Cerebelo	
				Tronco encefálico	
		Médula espinal		Sustancia gris	
		Sustancia blanca			
SNP		SN somático		Nervios craneales	
				Nervios espinales	
		SN autónomo		SN entérico	
				SN simpático	
				SN parasimpático	



2. Observa la imagen de neurona y contesta las preguntas. (6 puntos).



- Describe estructural y funcionalmente los componentes de la neurona indicados con letras.
  - Según el número de prolongaciones, ¿a qué tipo de neurona corresponde?
  - Si esta neurona forma parte de un nervio del sistema nervioso autónomo, ¿a qué tipo de neurona, según su función, corresponde? Explica.
3. Escribe para cada función, el nombre de la célula glial responsable de ejecutarla: soporte, nutrición, producir vaina de mielina, regular la composición del líquido extracelular y eliminación de restos celulares. (4 puntos).

### Me evaluó

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos. Marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Describir la organización y función de los órganos y estructuras que componen el sistema nervioso humano.	1	_____/16	
Describir las células que constituyen el tejido nervioso.	2 y 3	_____/10	

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

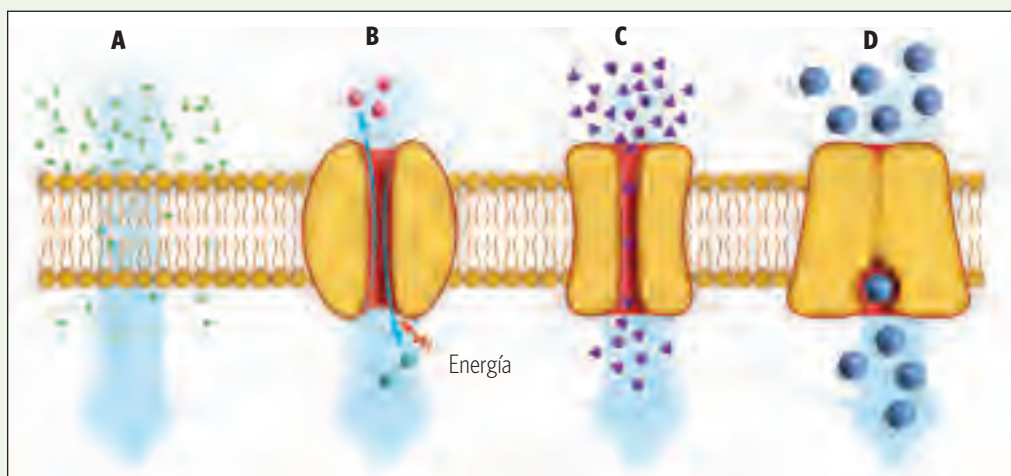
# ¿Por qué las neuronas pueden conducir un impulso nervioso?

➔ **Debes recordar:** Estructura y función de la membrana plasmática

## Trabaja con lo que sabes

Junto con un compañero, responde las siguientes preguntas:

1. Se representan diferentes tipos de transporte a través de la membrana plasmática. Al respecto:
  - a. ¿Qué rol cumplen las proteínas en el transporte?
  - b. ¿Qué sustancias pueden usar los tipos de transportes representados?
  - c. ¿De qué depende que una sustancia sea transportada de manera activa o pasiva?



## Propósito de la lección

En las lecciones anteriores aprendiste acerca del rol de las neuronas como unidad estructural y funcional del sistema nervioso. En esta lección comprenderás cómo se produce y genera un impulso nervioso en las neuronas.

### Para saber +

- Los canales iónicos activados por voltaje pueden ser 'sin puerta' o 'con puerta'. A través de los canales sin puerta, los iones difunden libremente, mientras que los canales con puerta solo se abren cuando hay variaciones de voltaje, permitiendo el flujo de los iones a favor de su gradiente electroquímico.

## 1. Cualidades de la membrana del axón

Los procesos eléctricos que ocurren en las neuronas dependen de ciertas cualidades de su membrana plasmática. Como la de cualquier otra célula, su membrana está formada por una doble capa de fosfolípidos, en la que se insertan proteínas y, al igual que todas, es selectivamente permeable. Esto permite distinguir el medio intracelular del extracelular, generando gradientes o desequilibrios de concentración. Pero, a diferencia a la de otras células, la membrana neuronal es capaz de producir grandes desequilibrios de concentración de iones entre el citoplasma y el ambiente extracelular, y también de movilizar estas cargas eléctricas rápidamente. Esto es posible por:

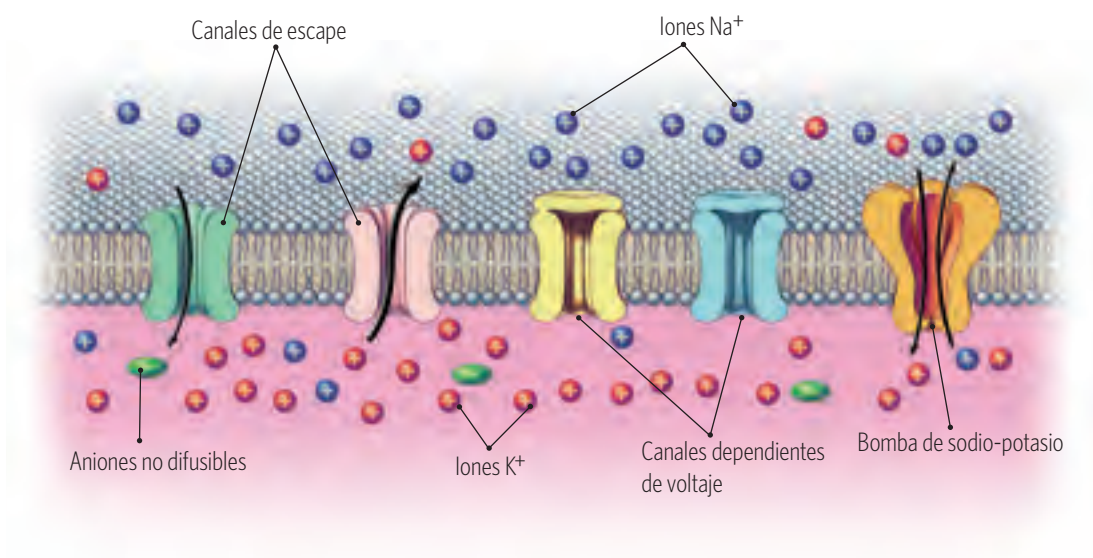
- La actividad de bombas de sodio-potasio presentes en mayor cantidad que en otras células: estas proteínas extraen activamente del citoplasma tres iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ), al tiempo que ingresan dos iones de potasio ( $\text{K}^+$ ).
- Las propiedades de selectividad y direccionalidad de la membrana al transportar los iones: si se compara la membrana del axón con la de otras células, en la del axón existe una gran cantidad de canales iónicos, por los que se difunden los iones.
- La presencia del ion cloro ( $\text{Cl}^-$ ) y de proteínas con carga eléctrica negativa en el citoplasma genera una carga negativa en relación con el exterior.

### Inter@ctividad

- Ingresa a [www.rekursostic.cl/lbm073a](http://www.rekursostic.cl/lbm073a) y [/lbm073b](http://www.rekursostic.cl/lbm073b). Encontrarás animaciones explicativas del potencial de membrana y del potencial de acción, asociadas a preguntas que debes contestar en tu cuaderno.

## 2. Generación del potencial de acción y conducción del impulso nervioso

- a. **Fibra nerviosa en reposo o polarizada:** la distribución desigual de cargas eléctricas positivas entre ambos lados de la membrana celular genera una diferencia de voltaje o diferencia de potencial eléctrico; se dice entonces que la membrana está **polarizada**, con mayor cantidad de cargas positivas en su exterior que en su interior. Esta condición se denomina **potencial de reposo** y se debe a que hay mayor concentración de  $\text{Na}^+$  fuera de la neurona que dentro de ella y, por el contrario, mayor concentración de  $\text{K}^+$  en la neurona que fuera de esta. Se suman a lo anterior la acción de la bomba de sodio-potasio y la influencia de las cargas negativas del  $\text{Cl}^-$  y de las proteínas.

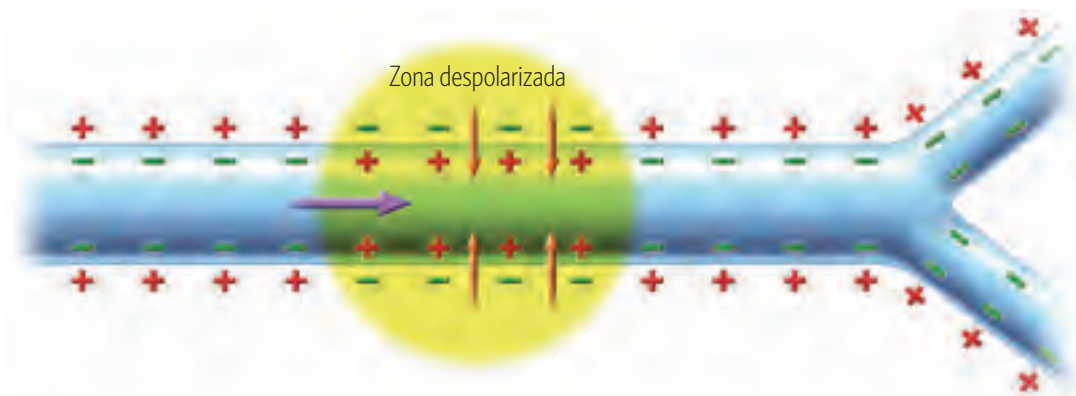


- ▲ **Membrana polarizada:** Debido a que la membrana impide el flujo de los iones en favor de su gradiente electroquímico, se mantiene una diferencia de cargas a uno y otro lado de la membrana.

## Para saber +

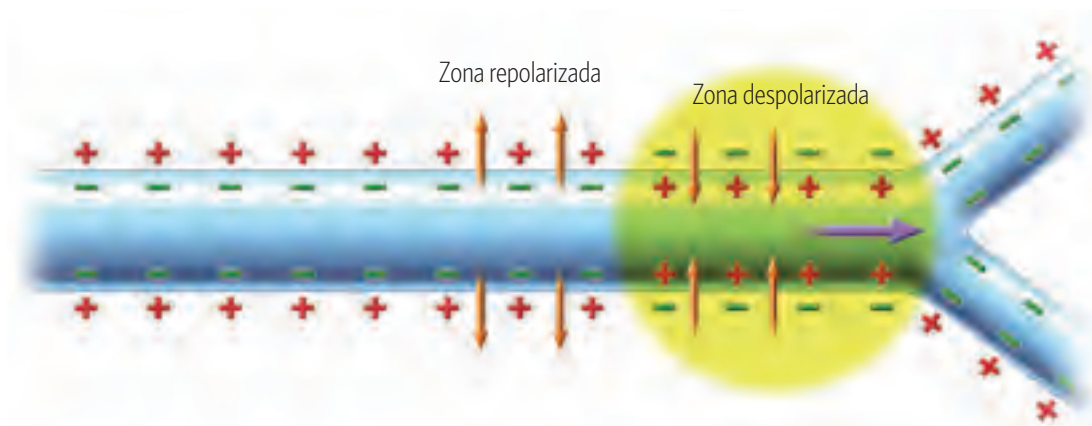
- Si se rompe un vidrio, seguramente lo oirás, pero si cae un alfiler, es probable que no lo oigas. Si el fenómeno no genera suficiente energía para que las neuronas alcancen el potencial de umbral, no se producirá un impulso nervioso.

- b. **Generación del potencial de acción:** al ser estimulada con una intensidad suficiente, la neurona sufre un cambio en la permeabilidad de su membrana. Cuando se abren los canales con puerta activados por voltaje del  $\text{Na}^+$ , e ingresan suficientes iones de este tipo para que, en el área de ingreso a la neurona, su interior se vuelva positivo y el exterior negativo, se dice que ha ocurrido una **despolarización** o inversión de cargas. Ocurre esta, rápidamente los canales de  $\text{Na}^+$  se vuelven a cerrar, se abren los canales con puerta de  $\text{K}^+$  y se escapan estos iones de la neurona. Al salir estas cargas positivas, el interior de la neurona vuelve a ser negativo, **repolarizando** la membrana. Este proceso, que dura cerca de un milisegundo, se denomina **potencial de acción**.



- ▲ Despolarización de una región de la membrana. El flujo de iones se ha representado solo con signos negativos y positivos para facilitar su comprensión.

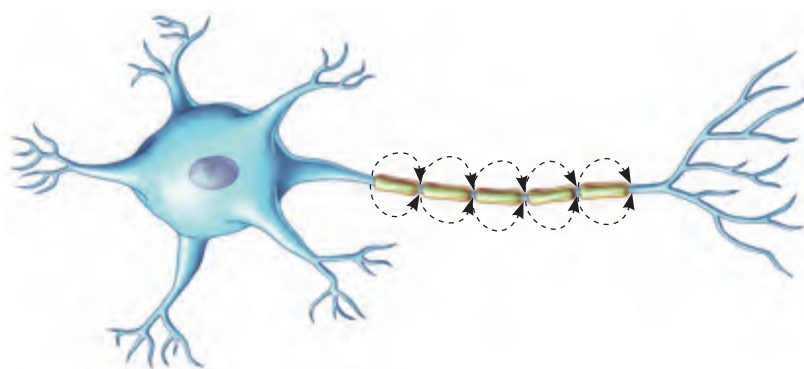
- c. **Conducción del impulso nervioso:** el potencial de acción generado, provoca que las áreas vecinas de la membrana también inicien un proceso de despolarización y generen su propio potencial de acción. De esta manera, sucesivamente, se van produciendo a lo largo del axón potenciales de acción, los que se propagan como una onda de despolarización que viaja a lo largo de este. Esto es un **impulso nervioso**.



- ▲ Un impulso nervioso es una onda de despolarización que viaja por el axón.

### 3. Características del impulso nervioso

- El impulso nervioso es **bidireccional**, ya que se propaga desde cualquier punto de la neurona hacia ambos extremos de la célula.
- El impulso nervioso cumple con **la ley del todo o nada**, es decir, la neurona siempre producirá un potencial de acción con máxima intensidad cada vez que la energía del estímulo le permita alcanzar el **potencial de umbral**.
- Todos los impulsos son semejantes, y el hecho de que percibamos diferentes sensaciones, como las sonoras o visuales, se debe al lugar del sistema nervioso central donde aquellos son procesados.
- La velocidad de conducción del impulso nervioso será mayor en los axones más gruesos y con vaina de mielina. Un mayor diámetro resulta en una mayor superficie de membrana y, por lo tanto, un mayor intercambio con el medio extracelular; y un axón mielinizado presenta nódulos de Ranvier, por lo que la despolarización no ocurre en toda la extensión del axón, sino que va saltando de nódulo en nódulo.



▲ Conducción saltatoria. Esta es más veloz que una conducción continua.

#### Reflexiona

#### ¿Cómo ayudar a quienes sufren el mal de Alzheimer?

El mal de Alzheimer es una enfermedad degenerativa del tejido nervioso que afecta a millones de personas. Es más frecuente a partir de los 65 años de edad y su causa estaría vinculada a la presencia de placas proteicas que interrumpen la transmisión del impulso nervioso en las sinapsis. Quienes la padecen, pierden progresivamente la memoria y otras funciones cognitivas, pero se ha observado que si viven en un ambiente familiar armónico y realizan actividad física se retarda el desarrollo de este mal. ¿Cómo podemos mejorar las condiciones de vida de los adultos mayores de nuestro país?

#### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. Distingue si las siguientes proteínas transportadoras realizan transporte pasivo o activo: bomba de sodio-potasio, canales iónicos sin puerta, canales iónicos con puerta activados por voltaje.
2. Los canales con puerta, activados por voltaje, ¿están abiertos o cerrados en las siguientes situaciones?

	Canales con puerta activados por voltaje para el $\text{Na}^+$	Canales con puerta activados por voltaje para el $\text{K}^+$
Membrana polarizada		
Membrana despolarizada		
Membrana repolarizada		

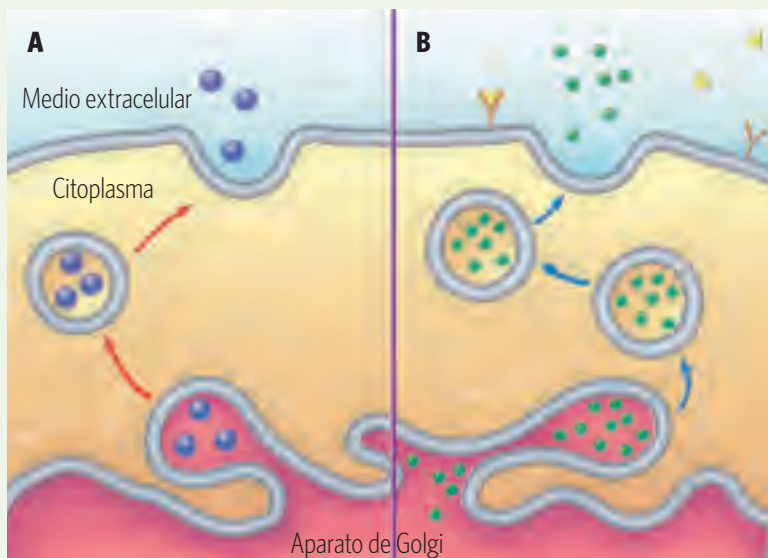
3. ¿De qué cualidades del axón depende su velocidad de conducción?

# ¿Cómo se comunican las neuronas?

➡ **Debes recordar: Exocitosis - Estructura neuronal**

## Trabaja con lo que sabes

1. La ilustración representa dos variedades del proceso de exocitosis. Al respecto, contesta:
  - a. Describe ambos tipos de exocitosis e indica sus puntos en común y sus diferencias.
  - b. ¿Qué tipo de exocitosis, A o B, te parece más regulado?, ¿por qué?
  - c. ¿Qué tipo de sustancia pudiera ser la molécula señal del caso B?
  - d. Las sustancias transportadas por exocitosis, ¿podrían ser mensajeros químicos? Menciona dos ejemplos de este tipo de moléculas.



▲ Exocitosis.

## Propósito de la lección

Para que el sistema nervioso integre y coordine el funcionamiento del organismo, es necesario que se produzca la comunicación entre sus diferentes componentes y el resto del cuerpo. Ya sabemos cómo se propaga el impulso nervioso; ahora veremos cómo una neurona puede modificar la actividad de otras células.

### Apunte

Exocitosis: consiste en el transporte de moléculas que están empaquetadas en vesículas, desde el interior de la célula hacia el medio extracelular.

## 1. Sinapsis

La sinapsis es la unión que permite la comunicación de las neuronas entre sí o con los tejidos efectoros, como músculos o glándulas. Se clasifican de acuerdo con el **elemento postsináptico** o según **cómo se transmite el impulso nervioso**.

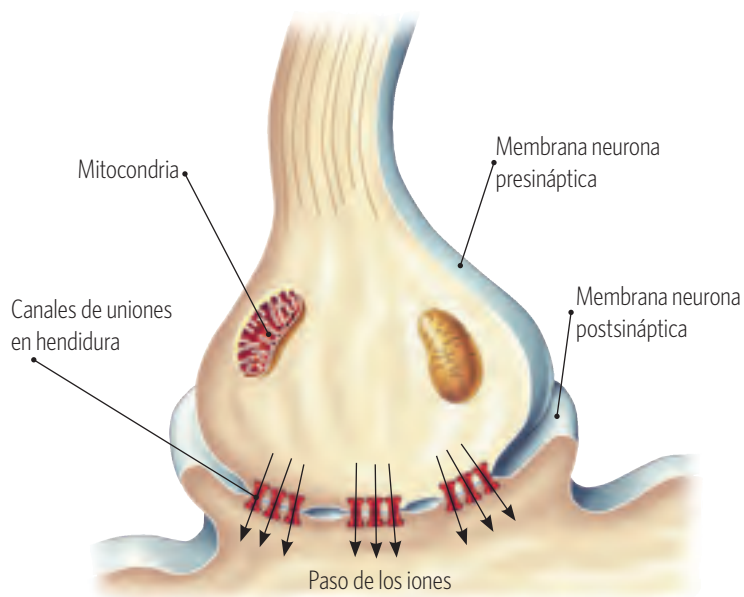
### 1.1 Tipos de sinapsis según el elemento postsináptico

- **Axo-axónica**: se comunica el axón de la neurona presináptica con el axón de la postsináptica.
- **Axo-somática**: se comunica el axón de la neurona presináptica con el cuerpo celular de la postsináptica.
- **Axo-dendrítica**: se comunica el axón de la neurona presináptica con una dendrita de la postsináptica.

## 1.2 Tipos de sinapsis según la transmisión del impulso nervioso

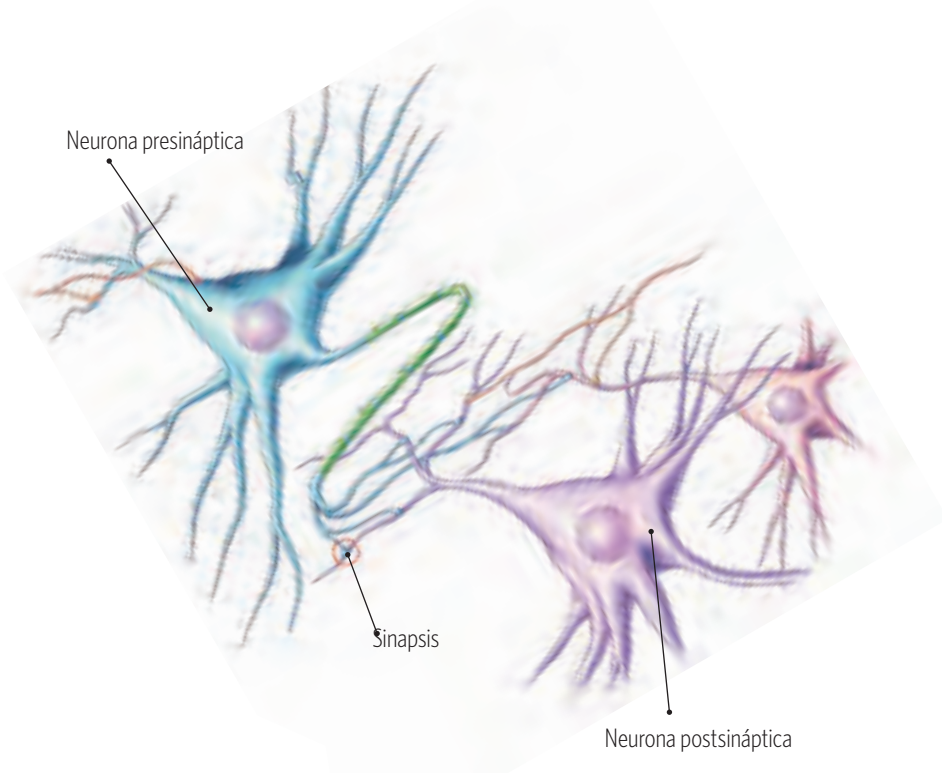
De acuerdo con este criterio, las sinapsis pueden ser eléctricas o químicas.

- **Sinapsis eléctrica:** en este tipo de sinapsis, el potencial de acción fluye desde la neurona presináptica a la postsináptica mediante el traspaso directo de los iones que generan la despolarización. Los iones se trasladan mediante canales llamados uniones en hendidura (*gap junctions*). Esta unión permite que la transmisión del impulso pueda ser bidireccional, ya que ambas membranas pueden despolarizarse y estimular la neurona contigua. Se presentan en el músculo liso visceral, en el músculo cardíaco y en el SNC, y permiten una comunicación rápida que puede contribuir a sincronizar la actividad de un grupo de neuronas.



- ▲ Las uniones en hendidura son canales intercelulares comunicantes, formados por conexones, que son túbulos de tipo proteico. (Ver página 17).

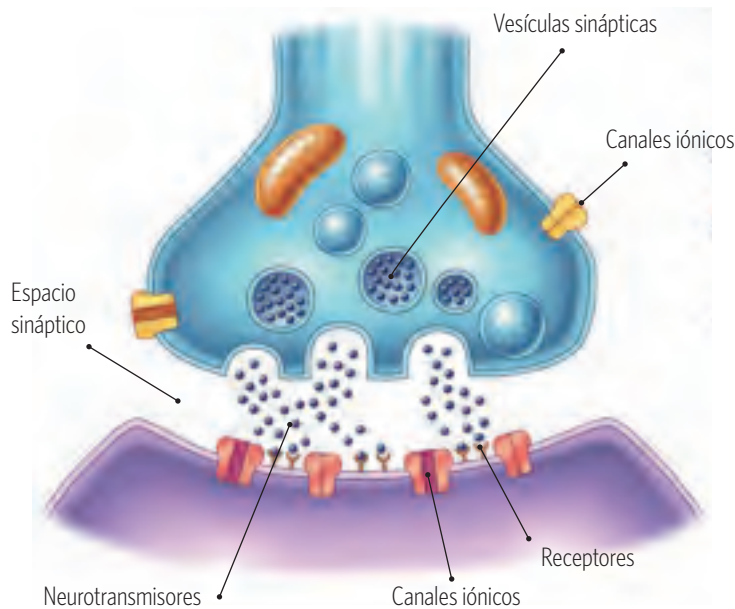
- **Sinapsis química:** permiten la transmisión de los impulsos nerviosos desde el axón de la neurona presináptica a la neurona postsináptica, una fibra muscular o a una glándula. En este tipo de sinapsis, el impulso nervioso que viaja por la célula presináptica llega hasta el terminal axónico o sináptico y provoca la liberación de **neurotransmisores**. Estas sustancias se difunden a un pequeño espacio denominado **espacio sináptico**, ubicado entre las neuronas que hacen sinapsis. Los neurotransmisores liberados se unen a receptores específicos de la membrana plasmática de la neurona postsináptica y producen un cambio de potencial eléctrico.



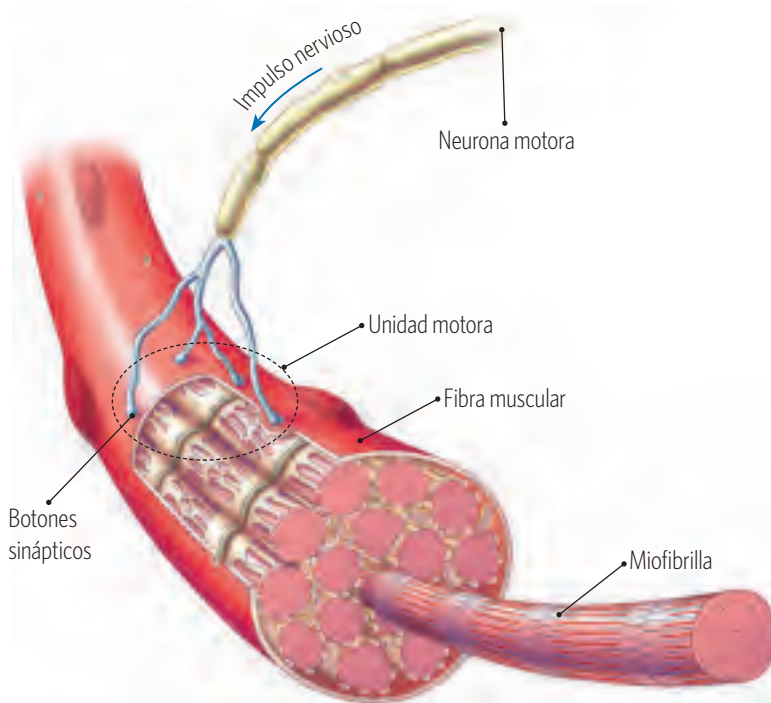
- ▲ La sinapsis axo-dendríticas entre neuronas se realiza entre los botones sinápticos de la presináptica y las dendritas de la neurona postsináptica.

## 2. ¿Qué procesos ocurren en el espacio sináptico?

Una vez que el impulso nervioso llega a los botones presinápticos se producen hechos que determinan cambios funcionales en la neurona o en la célula muscular.



▲ Sinapsis química. Los neurotransmisores son secretados por exocitosis.



▲ Unión neuromuscular.

### 2.1 En la sinapsis química

- El impulso nervioso de la neurona presináptica alcanza el botón sináptico y provoca la apertura de canales de  $\text{Ca}^{2+}$ ; estos iones ingresan a la zona terminal y desencadenan la exocitosis de neurotransmisores.
- Los neurotransmisores liberados al espacio sináptico se unen a receptores específicos que se encuentran en la membrana de la neurona postsináptica. La unión neurotransmisor-receptor produce la apertura de canales iónicos en la membrana postsináptica, generando potenciales postsinápticos que pueden tener un efecto excitador o inhibitorio.
- Luego, los neurotransmisores son recapturados por la neurona presináptica, mediante endocitosis, o son desintegrados por enzimas especializadas, lo que evita la excitación constante de la neurona postsináptica.

### 2.2 En la unión neuromuscular

Una unión neuromuscular es una sinapsis química entre uno de los terminales axónicos de una neurona motora y una fibra muscular de un músculo esquelético. El conjunto de uniones neuromusculares, establecidas entre las terminaciones axónicas de una neurona con varias células musculares, se denomina **unidad motora**. Los impulsos nerviosos conducidos por la neurona desencadenan la contracción de las fibras inervadas y, por lo tanto, el movimiento coordinado en respuesta a un estímulo.



- Cuando llega el impulso nervioso a los botones presinápticos de la neurona motora, se libera acetilcolina al espacio sináptico. Cuando este neurotransmisor se une a receptores de la membrana plasmática de la fibra muscular, se produce la apertura de los canales de  $\text{Na}^+$  y el ingreso masivo de iones  $\text{Na}^+$  a la fibra muscular. Esto genera la despolarización de la membrana de la fibra muscular o sarcolema.
- La despolarización del sarcolema induce la liberación de  $\text{Ca}^{2+}$  desde el retículo endoplásmico liso (REL). Este ion se une a las miofibrillas, permitiendo que estas se deslicen unas sobre otras contrayendo la fibra muscular.
- La degradación de la acetilcolina, mediante la enzima acetilcolinesterasa, permite que la fibra muscular se relaje. Sin acetilcolina unida al sarcolema, cesa la estimulación para la apertura de los canales de  $\text{Na}^+$ , y el  $\text{Ca}^{2+}$  es bombeado hacia el interior del REL por transporte activo.

### Inter@ctividad

- Ingresa a [www.rekursostic.cl/lbm079](http://www.rekursostic.cl/lbm079). Encontrarás una animación que facilitará tu comprensión de la unión neuromuscular y dos actividades que debes realizar en tu cuaderno.

### Minitaller

#### Interpretación y comunicación de resultados

El fisiólogo alemán Otto Loewi (1873-1961) desarrolló un experimento para explicar el proceso de sinapsis química. Dispuso una solución adecuada para mantener tejidos en dos recipientes y en cada uno colocó un corazón de rana, cuya conexión al nervio vago se mantenía intacta. Estimuló el nervio de uno de los corazones y observó que la frecuencia de sus latidos disminuía, y que al dejar de hacerlo, esta se normalizaba. Tras estimular el corazón, vació la solución que lo contenía en el recipiente del otro corazón y observó que este disminuía la frecuencia de sus latidos.

#### Lo que debes hacer

Contesta las preguntas y luego discute tus respuestas con tus compañeros.

1. ¿Cómo interpretas los resultados descritos?, ¿a qué conclusión habrá llegado Loewi a partir de ellos?
2. Diseña un gráfico que comunique cómo luciría el registro de la frecuencia cardíaca a lo largo del experimento en ambos recipientes y preséntalo a tus compañeros.

#### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. Un investigador comparó el funcionamiento de las sinapsis eléctricas con el de las sinapsis químicas y encontró que el de estas últimas es más lento, y que siempre la transmisión del impulso es unidireccional. ¿Cómo lo explicas?
2. ¿Cuál es la función general de los neurotransmisores y de qué manera actúan sobre las membranas de las células?
3. ¿Cuál es la importancia de la acetilcolinesterasa y de la recaptura de los neurotransmisores por endocitosis?

# ¿Cómo se producen los reflejos?

➡ **Debes recordar:** Componentes del sistema nervioso

## Trabaja con lo que sabes

1. Sentado en tu puesto, cuenta tus inspiraciones y latidos cardíacos durante un minuto y registra los datos en una tabla. Luego, realiza quince sentadillas y vuelve a contar durante un minuto tus inspiraciones y latidos. Intercambia tus datos con diez compañeros y grafica los resultados.
  - a. Las variaciones de ambas frecuencias ¿se deben a acciones conscientes o inconscientes de tu cuerpo?
  - b. ¿De qué sirve ajustar las frecuencias respiratorias y cardíacas al tipo de actividad física que se desarrolla?
  - c. ¿Qué componentes del tronco encefálico y del sistema nervioso autónomo participan en el control de las frecuencias respiratoria y cardíaca?

## Propósito de la lección

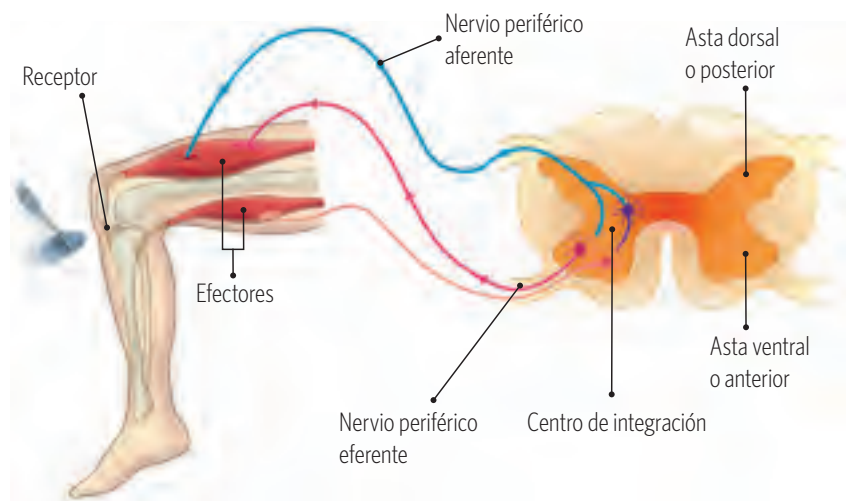
Anteriormente conociste las funciones de los componentes del sistema nervioso y la manera en que las neuronas se comunican entre sí y con los efectores. En esta lección comprenderás que todos los componentes del sistema nervioso interactúan para generar respuestas motoras simples, pero vitales para el organismo.

## 1. Reflejos y arco reflejo

Los **reflejos** son respuestas musculares rápidas e involuntarias que se desarrollan ante situaciones de riesgo. A cada reflejo le corresponde un **arco reflejo**, un circuito formado por un órgano sensitivo o receptor, una vía aferente, un centro de integración, una vía eferente y un efector, todos conectados mediante sinapsis.

### Para saber +

- La presencia o intensidad de un reflejo es una indicación de la salud del sistema nervioso. Algunos reflejos se manifiestan solo en los bebés, como el reflejo de succión o el de prensión, y desaparecen al crecer. Si esto no ocurre puede ser signo de un daño en el sistema nervioso.



- ▲ Arco reflejo del reflejo rotuliano. Si te sientas con las piernas cruzadas y te golpean suavemente la rótula, tu pierna dará una patada.

En los mamíferos, los componentes del arco reflejo son:

- Receptor:** estructura nerviosa que transforma la energía de un estímulo (química, mecánica, calórica u otra) en un impulso nervioso. Existen receptores en la piel, en los órganos de los sentidos, en las vísceras, en los músculos y tendones.
- Nervio periférico aferente:** formado por axones que conducen los impulsos nerviosos hacia el centro de integración, al que ingresan por las raíces dorsales de la médula espinal o por los nervios craneales.
- Centro de integración:** es uno de los componentes del sistema nervioso central.
- Nervio periférico eferente:** compuesto por axones que conducen los impulsos nerviosos desde el centro de integración hacia los músculos o glándulas. Salen por las raíces ventrales de la médula espinal o por los nervios craneales motores de los núcleos motores del tronco encefálico correspondientes.
- Efecto:** efectúa o ejecuta la respuesta a los estímulos. Puede ser músculo liso, cardíaco o glándula en el caso de los reflejos viscerales; o músculo estriado para las respuestas somáticas.

## 2. Control reflejo de la respiración

El control, mediante reflejos, de la frecuencia e intensidad de la respiración permite mantener las presiones de  $O_2$  y  $CO_2$  normales y el valor del pH del líquido extracelular. Analizaremos ahora algunos de los componentes de su arco reflejo:

### a. Receptores

Detectan cambios en las presiones parciales de  $O_2$  y  $CO_2$ , el grado de distensión muscular y pulmonar y la concentración de iones  $H^+$  o pH.

#### • Quimiorreceptores centrales

Se ubican en el bulbo raquídeo y son capaces de detectar cambios de pH en el líquido cefalorraquídeo. Frente a una disminución del pH (acidificación), los quimiorreceptores estimulan a las neuronas inspiratorias. Por el contrario, el alza del pH (alcalinización) produce su inhibición. Estos quimiorreceptores miden indirectamente los cambios en la  $pCO_2$ .

#### • Quimiorreceptores fuera del sistema nervioso central

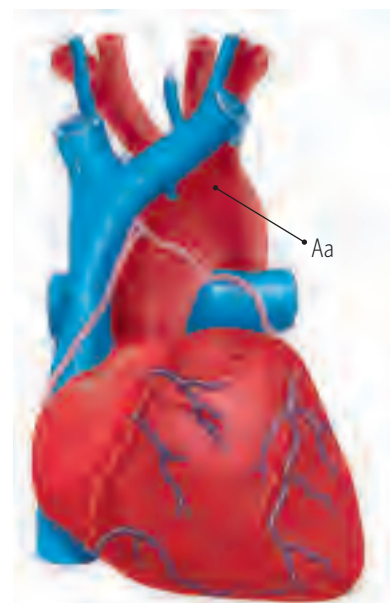
Se ubican en los senos carotídeos y en el arco aórtico. Son los únicos quimiorreceptores que miden directamente la  $pO_2$ , además de monitorear los niveles de  $pCO_2$  y de pH sanguíneos.

Otros receptores también envían información a los centros respiratorios, por ejemplo:

- **Receptores de estiramiento** de los músculos respiratorios y en el tejido pulmonar. Cuando se activan, generan un reflejo inhibitorio sobre el centro inspiratorio.
- **Receptores en la piel** que responden a estímulos de contacto, temperatura y dolor.

### Inter@ctividad

- Ingresa a [www.rekursostic.cl/lbm081](http://www.rekursostic.cl/lbm081). Encontrarás una animación del arco reflejo que permite el control químico de la respiración. Analízala y contesta las preguntas asociadas en tu cuaderno.



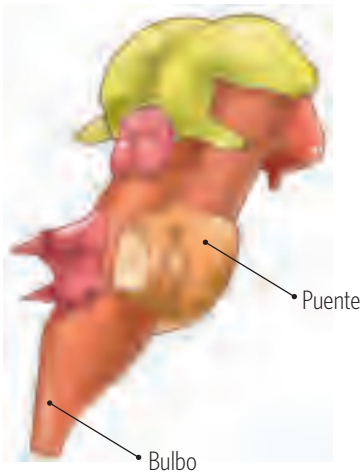
▲ Arco aórtico (Aa).

### b. Nervios periféricos aferentes

Los receptores envían su información mediante los nervios glossofaríngeo (IX par craneal) y vago (X par craneal).

### c. Centros de integración

Aunque puede ser influido por el control de la corteza cerebral, el proceso automático e involuntario de la respiración es controlado por el **centro respiratorio** compuesto por redes neuronales distribuidas en el bulbo raquídeo y la protuberancia anular.



Los centros respiratorios bulbares generan y controlan los impulsos nerviosos que determinan la frecuencia de los movimientos respiratorios. Neuronas del **centro inspiratorio** del bulbo raquídeo controlan la **frecuencia respiratoria basal**, es decir, el ritmo respiratorio en reposo. Cuando se activan, envían impulsos nerviosos al diafragma causando su contracción y, por lo tanto, la inspiración; y cuando se inactivan, se produce la espiración. Cuando se realizan actividades que requieran una mayor intensidad y frecuencia respiratoria, como el ejercicio físico, se estimulan neuronas del **centro espiratorio** del bulbo que controlan a los músculos accesorios de la respiración, como los intercostales. En la **protuberancia anular** se encuentran dos grupos de neuronas que forman el centro apnéustico y el centro neumotáxico. La activación del centro apnéustico provoca una inspiración más larga. Al contrario, las neuronas del centro neumotáxico inhiben la inspiración.

### d. Nervios periféricos eferentes

La información motora es enviada mediante el nervio frénico, que inerva al diafragma. Participa tanto en la respiración normal como en la forzada, además en los reflejos de la tos y de la defecación.

### e. Efector

Los principales músculos respiratorios son el **diafragma**, un músculo estriado con forma de bóveda que separa la cavidad abdominal de la torácica, y los **intercostales**. Su contracción, principalmente la del diafragma, causa un aumento del volumen de la caja torácica y con ello una disminución de la presión de aire en relación con la presión atmosférica. Como resultado, el aire ingresa por las vías respiratorias hasta los pulmones. La relajación de estos músculos produce el efecto contrario.



### 3. Control reflejo de la presión sanguínea

Una presión sanguínea adecuada a las diferentes condiciones fisiológicas, permite que la sangre llegue a todos los órganos. El año anterior revisaste su control endocrino, ahora veremos cómo el sistema nervioso autónomo regula la circulación por medio de un mecanismo de control muy rápido.

#### Receptores

- **Barorreceptores:** son receptores de presión ubicados en las paredes de las grandes arterias; cuando aumenta la presión, envían impulsos al SNC.
- **Quimiorreceptores:** del seno carotídeo y del arco aórtico.
- **Neuronas del centro vasomotor:** cuando la presión sanguínea desciende, neuronas del propio centro vasomotor responden y se estimulan.

#### Centros de integración

- **Centro vasomotor:** incluye neuronas del bulbo, de la protuberancia y de la formación reticular. Tiene áreas vasoconstrictoras, vasodilatadoras y sensoriales.
- **Centros superiores:** el diencéfalo, mesencéfalo y la corteza motora influyen en el centro vasomotor a través del hipotálamo, el que tiene una fuerte influencia sobre este centro.

#### Efectores

- **Músculo liso de las arteriolas:** fibras constrictoras y dilatadoras del sistema nervioso simpático descargan continuamente adrenalina en estos músculos manteniendo un tono muscular. Si aumenta la secreción de adrenalina, las arteriolas se contraen (vasoconstricción), lo que disminuye su diámetro y ocasiona un aumento de la presión sanguínea. El efecto contrario se produce cuando disminuye la secreción de adrenalina.
- **Corazón:** su estimulación simpática aumenta la frecuencia y fuerza de su latido, aumentando la presión sanguínea. Por el contrario, la estimulación parasimpática, con su descarga de acetilcolina, produce el efecto opuesto.

**Antes de seguir,** utiliza lo aprendido

1. ¿Cuál es la diferencia entre los siguientes pares de términos: reflejo-arco reflejo, receptor-efector y nervio periférico aferente-nervio periférico eferente?
2. ¿Por qué los reflejos ayudan a mantener la homeostasis? Ejemplifica.
3. Revisa la lección 2 y encuentra los centros integradores para los siguientes reflejos: tos, dilatación de la pupila, vómito, movimiento de los ojos y tiritar cuando hace frío.
4. ¿Qué importancia tiene el sistema nervioso autónomo en la ejecución de los reflejos?
5. Identifica las sinapsis en el diagrama del arco reflejo del reflejo rotuliano de la página 80.

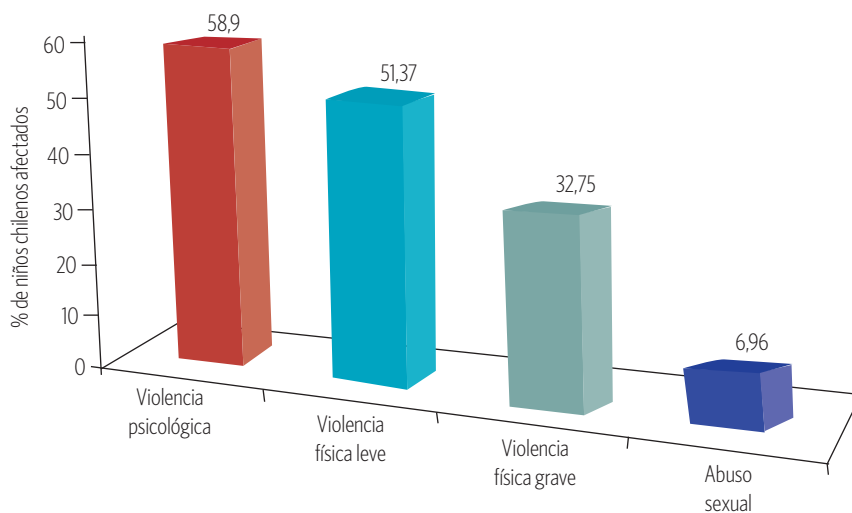


## El efecto del maltrato sobre el cerebro

La violencia intrafamiliar es cualquier tipo de abuso de poder reiterado, de parte de un miembro de la familia sobre otro; este abuso incluye maltrato físico, psicológico o de cualquier otro tipo. En Chile es reconocida como un problema público y de seguridad ciudadana, y uno de los delitos de mayor importancia social. El maltrato infantil

es una de sus manifestaciones más importantes, pues constituye una vulneración a los derechos de niños y adolescentes: cualquier acción u omisión que les produzca o les pueda producir un daño, que amenace o altere su desarrollo normal, es considerado como maltrato físico, maltrato psicológico o abuso sexual.

**Gráfico 1:** Prevalencia por tipo de violencia en niños.



Fuente: Encuesta Nacional de Victimización, Ministerio del Interior, 2008.

El 72,3 % de los niños chilenos han sufrido violencia física o psicológica alguna vez en sus vidas, por alguno de sus padres. Del siguiente gráfico se desprende que casi tres de cada cinco niños son violentados psicológicamente durante su vida, mientras que uno de cada dos es víctima de violencia física leve.

El maltrato a una edad temprana puede tener consecuencias psicológicas y neurológicas irreversibles, ya que el cerebro humano continúa desarrollándose durante la niñez, la adolescencia e incluso el período adulto. En este sentido, las experiencias traumáticas o de estrés crónico durante el desarrollo pueden afectar al menor tanto física como cognitivamente. Se ha comprobado que el maltrato infantil puede producir cambios que afectan principalmente a neurotransmisores,

hormonas neuroendocrinas y proteínas que regulan el crecimiento, la diferenciación, reparación y sobrevivencia de las neuronas, muy implicados en el desarrollo normal del cerebro.

Como consecuencia, se ha observado, entre otras, la pérdida acelerada de neuronas, retrasos en el proceso de mielinización e inhibición en la neurogénesis. En la tabla 2 se resumen algunas de las alteraciones en las zonas cerebrales que regulan las funciones ejecutivas en niños maltratados.

**Tabla 2:** Principales cambios observados en estructuras cerebrales, como consecuencia del maltrato infantil.

Estructura	Cambios observados
<b>Hipocampo:</b> vinculado al funcionamiento de la memoria y el aprendizaje.	Mujeres con historial de abusos sexuales o de maltrato infantil han mostrado un volumen hipocampal menor que mujeres sin antecedentes previos.
Amígdala: vinculada a la consolidación de la memoria a largo plazo y al aprendizaje emocional, especialmente en las respuestas al miedo.	En mujeres sometidas a abusos sexuales en la infancia se ha detectado una mayor activación de la parte izquierda de la amígdala.
Estructuras cerebelares: encargadas del control motor, del equilibrio y postura del cuerpo.	En niños maltratados se ha observado una disminución en el volumen del cerebelo.
Cuerpo caloso: conecta ambos hemisferios cerebrales permitiendo su integración funcional.	En niños maltratados y abusados sexualmente se ha observado una disminución significativa del tamaño del cuerpo caloso.
Corteza cerebral: responsable de los movimientos voluntarios y de las sensaciones, además del aprendizaje, la memoria y el lenguaje, entre otras.	Niños maltratados han mostrado un menor desarrollo del hemisferio izquierdo y también un menor volumen cerebral que niños sin antecedentes previos.

Fuente: Mesa-Gresa, P y Moya-Albiol, L. (2011). Neurobiología del maltrato infantil: el ‘ciclo de la violencia’. *Revista de Neurología*, 52(8), 489-503.

Los menores que han sufrido maltratos muestran un mayor riesgo de presentar conductas antisociales y violentas durante la adultez, y se convierten en padres maltratadores. Este fenómeno se ha denominado ‘ciclo de la violencia’. Es evidente que en la base del desarrollo de conductas agresivas confluyen distintos factores, tanto ambientales como biológicos. Por

ejemplo, se ha demostrado que la hipoactivación de la corteza frontal de niños maltratados, junto a la hiperactivación de la amígdala, producen un bajo control de impulsos, estallidos de agresividad y falta de sensibilidad personal, que predisponen a la conducta agresiva y violenta.

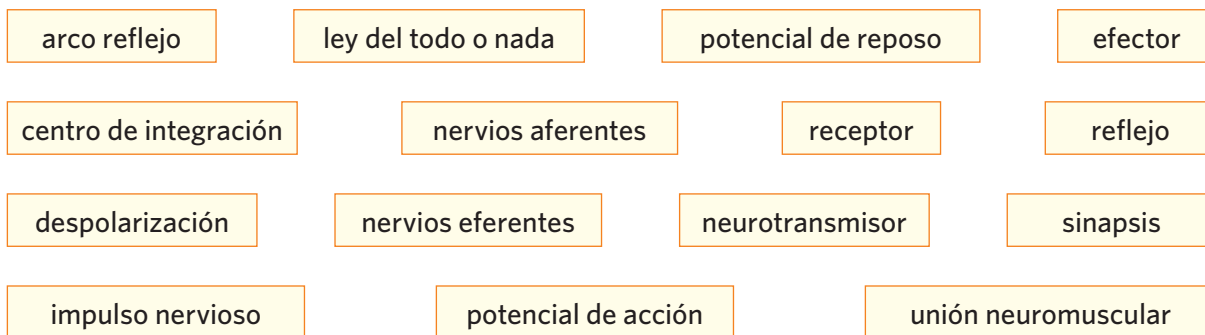
### Actividad

1. Considerando la información presentada en el gráfico, ¿qué debiera ocurrir con los niveles de violencia y maltrato infantil en la siguiente generación de chilenos? Fundamenta.
2. ¿Qué características ambientales son adecuadas para el buen desarrollo del sistema nervioso de los niños?
3. Si un adolescente fue víctima de maltrato durante su infancia, ¿cómo podrían ser sus relaciones afectivas y su rendimiento académico? Explica cada predicción.
4. Explica qué significa el “ciclo de la violencia” y propón cambios personales, familiares o sociales que ayuden a detenerlo.



### Organiza lo que sabes

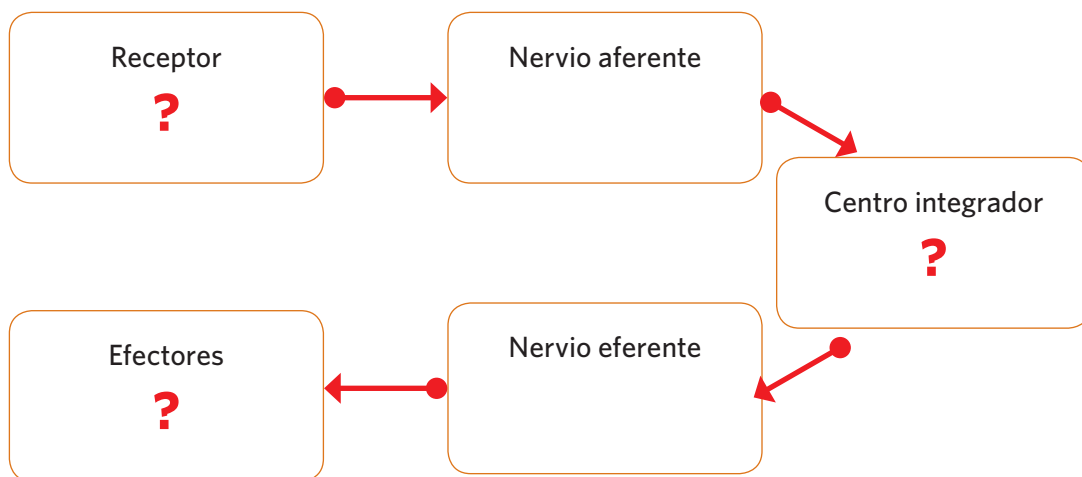
Revisa en tu cuaderno el organizador gráfico que creaste en la sección *Evalúo mi progreso* anterior, y utilízalo como base para diseñar un nuevo organizador. Incluye en él, al menos, siete de los conceptos de la siguiente lista. Esta vez, hazlo en una cartulina o papelógrafo, para que lo puedas exponer y discutir con tus compañeros.



### Evaluación de proceso

- Con respecto al funcionamiento de la membrana del axón, contesta: (6 puntos).
  - ¿Es lo mismo potencial de acción que impulso nervioso? Explica.
  - ¿Qué significa que el impulso nervioso cumpla la ley del todo o nada?
  - Indica por etapas cómo se produce la conducción del impulso nervioso.
  - ¿Qué componente de la membrana consume ATP? ¿Cuál es la función e importancia de este componente para que pueda producirse un potencial de acción?
  - ¿Qué sucedería con la conducción del impulso nervioso si una sustancia inhibe la apertura de los canales de  $\text{Na}^+$  con puerta?
  - ¿En qué lugar, dentro o fuera del axón, está más concentrado el  $\text{Na}^+$  y el  $\text{K}^+$ , cuando la neurona está polarizada y cuando está repolarizada?
- Acerca de la sinapsis química responde: (5 puntos).
  - Ordena los eventos que ocurren desde que el impulso nervioso llega hasta el botón presináptico hasta que se produce el efecto en la neurona postsináptica.
  - ¿Cuál es el principal neurotransmisor liberado en las uniones neuromusculares?, ¿qué efecto produce?, ¿qué ocurre si no es degradado o recapturado?
- Copia en tu cuaderno dos veces el siguiente modelo de arco reflejo y complétalo de acuerdo con las siguientes situaciones, en los recuadros indicados. (6 puntos).
  - Una persona que habita a nivel del mar sube al altiplano, donde es menor la concentración de  $\text{O}_2$  atmosférico. ¿Cómo se adaptará su organismo para mantener constante la presión parcial de  $\text{O}_2$  en sangre?
  - Una persona que estaba acostada se pone de pie rápidamente, lo que causa un leve descenso de la presión sanguínea debido a que una fracción del volumen de sangre queda retenido en las venas de los pies, ¿Cómo se adaptará su organismo para mantener la homeostasis de su presión sanguínea?





## Me evaluó

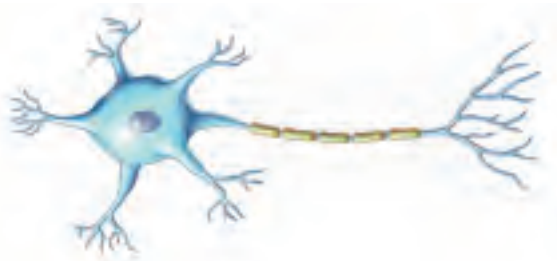
Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Aplicar el conocimiento de las cualidades de la membrana plasmática en la explicación de los fenómenos eléctricos que se producen en las neuronas.	1	____/6	<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100px;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Explicar cómo se conectan las neuronas en los diferentes tipos de sinapsis.	2	____/5	<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100px;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Describir la organización y función de un arco reflejo, aplicado en la regulación e integración de funciones sistémicas.	3	____/6	<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100px;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

### Lección 1: ¿Qué células forman el tejido nervioso?

- El tejido nervioso está formado por neuronas y células gliales. Las primeras son su unidad estructural y funcional, mientras que las segundas cumplen funciones auxiliares, como el soporte mecánico y nutrición.
- En una neurona típica se reconocen: soma o cuerpo neuronal, que tiene cualidades propias de una alta síntesis proteica; dendritas, proyecciones cortas y múltiples del soma que contienen los botones postsinápticos; axón, proyección generalmente única del soma especializada en la conducción del impulso nervioso cuyo extremo se ramifica para formar la terminal axónica, que contiene los botones presinápticos.
- Las neuronas comúnmente son clasificadas según el número de prolongaciones que emergen del soma o según su función.



### Lección 2: ¿Cómo se organiza y funciona nuestro sistema nervioso?

- El sistema nervioso (SN) controla la homeostasis y, además, capta y procesa la información ambiental, lo que permite al cuerpo actuar con armonía y eficiencia frente a cambios tanto del medio interno como del ambiente.
- Aunque funciona como una unidad, para su análisis se distinguen dos grandes divisiones: sistema nervioso central (SNC) y sistema nervioso periférico (SNP).

- El SNC es el centro integrador de respuestas; lo forman la médula espinal y el encéfalo. Está protegido por estructuras óseas, las meninges y el líquido cefalorraquídeo.

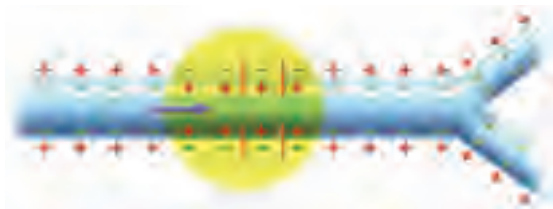


- La médula espinal es un centro elaborador de reflejos y conduce impulsos nerviosos desde y hacia el encéfalo.
- El encéfalo es el centro elaborador de respuestas reflejas, voluntarias y de procesos superiores, como el lenguaje, la coordinación motora, el aprendizaje, la atención y la memoria. Está integrado por el tronco encefálico, el cerebelo y el cerebro.
- El SNP está formado por ganglios y por nervios, ubicados fuera del SNC, pero conectados a él. Su función es transmitir información sensitiva hacia el SNC e información motora desde este hasta los músculos y glándulas. Sus divisiones son: sistema nervioso somático (SNS) y sistema nervioso autónomo (SNA).

- El SNS, formado por los nervios craneales y espinales, conecta al SNC con la musculatura estriada y con receptores distribuidos en el cuerpo.
- El SNA es independiente del control de la corteza cerebral, regulándose a sí mismo. Es responsable del movimiento de las vísceras y de la musculatura lisa, así como de la actividad de las glándulas exocrinas. Su centro de control es el hipotálamo, el que controla las divisiones simpática y parasimpática, mientras que la división entérica, encargada de controlar la motilidad intestinal, es independiente.
- La división simpática actúa frente a situaciones de alerta, mientras que la división parasimpática vuelve al organismo a la condición de reposo y menor consumo de energía.

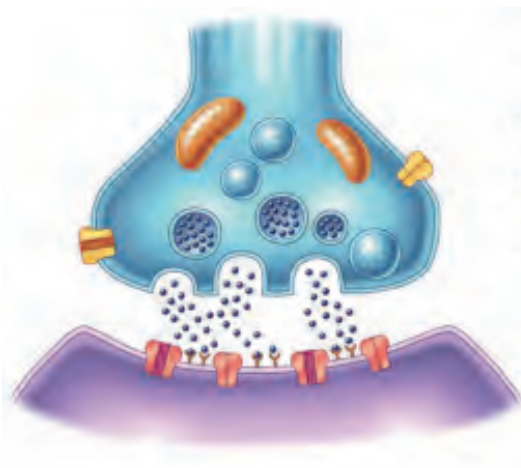
### Lección 3: ¿Por qué las neuronas pueden conducir un impulso nervioso?

- Gracias a las particularidades de la membrana del axón, es posible que la neurona se despolarice y conduzca un potencial de acción. En el proceso intervienen bombas de sodio-potasio, canales iónicos con puerta activados por voltaje para los iones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ , cuyas concentraciones y desplazamientos hacia uno u otro lado de la membrana determinan el estado de la neurona: polarizada, despolarizada o repolarizada.



### Lección 4: ¿Cómo se comunican las neuronas?

- La sinapsis es la unión que permite la comunicación de las neuronas entre sí o con los tejidos efectores, tales como músculos o glándulas. Pueden ser eléctricas o químicas, siendo la unión neuromuscular un subtipo de estas.

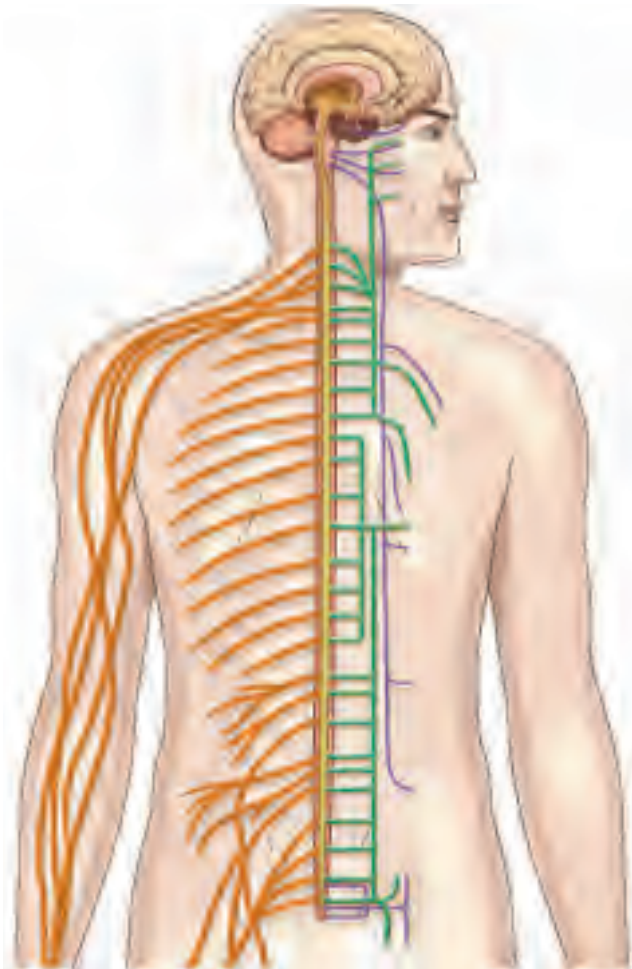


### Lección 5: ¿Cómo se producen los reflejos?

- Los reflejos son respuestas musculares rápidas e involuntarias que se desarrollan ante situaciones de riesgo. A cada reflejo le corresponde un arco reflejo, un circuito formado por un órgano sensitivo, una vía aferente, un centro de integración, una vía eferente y un efector, todos conectados mediante sinapsis.
- Gracias a respuestas reflejas, como la variación de la frecuencia respiratoria o del diámetro de las arteriolas, el organismo mantiene la homeostasis.

Utiliza lo aprendido durante esta unidad para contestar las siguientes preguntas.

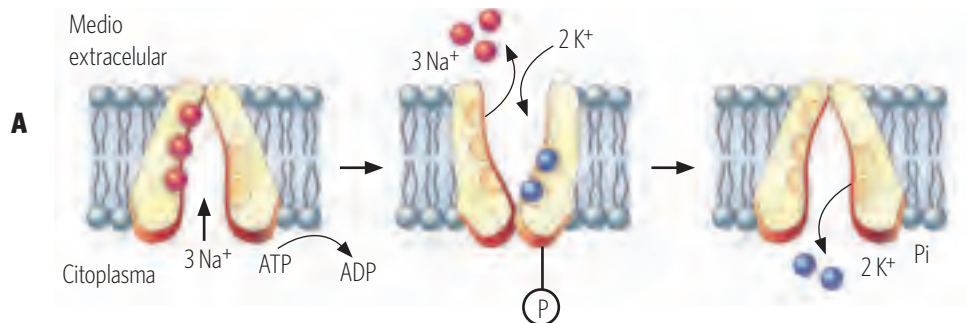
1. Indica en la imagen la ubicación de las siguientes estructuras, y relaciónalas con la división del sistema nervioso a la que pertenecen (12 puntos).
  - a. Nervios craneales
  - b. Hemisferio cerebral
  - c. Nervios espinales
  - d. Diencéfalo
  - e. Médula espinal
  - f. Tronco encefálico
  - g. Cerebelo
  - h. Nervios simpáticos y parasimpáticos

Sistema nervioso periférico	Sistema nervioso	Sistema nervioso central
		

2. Completa en tu cuaderno la siguiente tabla con, al menos, dos funciones de cada estructura o división del sistema nervioso. (16 puntos).

Estructura	Funciones	Estructura	Funciones
Corteza cerebral		Sistema nervioso somático	
Diencéfalo		Sistema nervioso entérico	
Tronco encefálico		Sistema nervioso simpático	
Médula espinal		Sistema nervioso parasimpático	

3. Completa un cuadro en tu cuaderno con las funciones de las siguientes estructuras neuronales: axón, dendritas, soma, nódulos de Ranvier y terminal axónica, y luego responde las preguntas: (8 puntos).
- ¿Existe relación entre la morfología de las neuronas y su función? Explica, considerando la clasificación de las neuronas según el número de prolongaciones que emergen del soma.
  - ¿Qué otros criterios se usan para clasificar este tipo de células?
4. ¿Por qué las glías son indispensables para el funcionamiento de las neuronas? Clasifica este tipo celular de acuerdo con un criterio de clasificación establecido por ti (4 puntos).
5. Identifica, clasifica y describe los procesos de transporte representados y su utilidad para el funcionamiento de la neurona. (6 puntos).



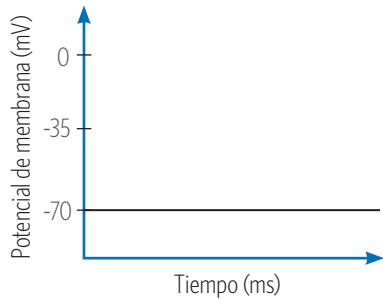
## Evaluación final de Unidad

6. Observa los siguientes gráficos y responde las preguntas planteadas a continuación: (10 puntos).

**Gráfico 1:**

---

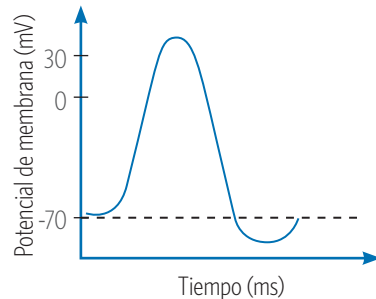
---



**Gráfico 2:**

---

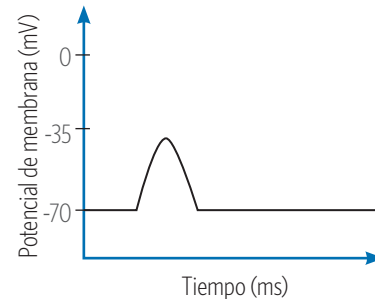
---



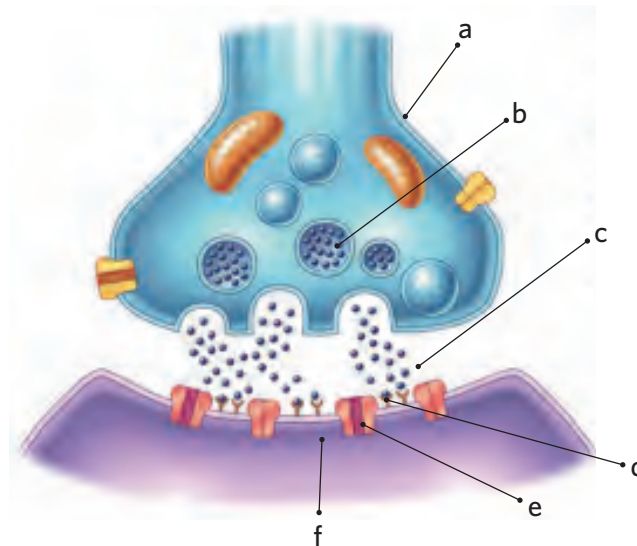
**Gráfico 3:**

---

---



- ¿Qué variables se representan en los gráficos?
  - Rotula los gráficos con los siguientes nombres: "Despolarización inicial, sin alcance del umbral", "Impulso nervioso", "Potencial de membrana en reposo", según corresponda.
  - ¿Por qué en el gráfico 3 la despolarización alcanza solo los -35 mV?
  - Señala en qué condiciones, abiertos o cerrados, es posible encontrar los canales iónicos activados por voltaje en cada uno de los gráficos.
7. A partir de la imagen, responde: (6 puntos).
- Escribe los nombres de los elementos indicados.
  - ¿Qué tipo de sinapsis se ilustra?, ¿cómo la distingues de otros tipos de sinapsis?
  - ¿Cómo es evitada la excitación constante de la neurona postsináptica?



8. En relación con el arco reflejo, responde: (12 puntos).
- ¿Cuáles son las estructuras que lo componen?
  - ¿Qué características tienen las respuestas desencadenadas por un arco reflejo?
  - ¿Qué importancia tiene este tipo de respuestas para los seres vivos?
  - Explica los trastornos que podría sufrir una persona si los receptores del seno carotídeo y del arco aórtico están alterados, de tal manera que son menos sensibles que lo normal a los estímulos a los que responden.

## Me evaluó

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos
Describir las células que constituyen el tejido nervioso.	1 y 2	16 o menos	17 a 23	24 o más
Describir la organización y función de los órganos y estructuras que componen el sistema nervioso humano.	3 y 4	7 o menos	8 a 9	10 o más
Aplicar el conocimiento de las cualidades de la membrana plasmática en la explicación de los fenómenos eléctricos que se producen en las neuronas.	5 y 6	9 o menos	10 a 13	14 o más
Explicar cómo se conectan las neuronas en los diferentes tipos de sinapsis.	7	3 o menos	4	5 o 6
Describir la organización y función de un arco reflejo, aplicado en la regulación e integración de funciones sistémicas.	8	7 o menos	8 o 9	10 o más

■ Por lograr    
 ■ Logrado parcialmente    
 ■ Logrado totalmente

Unidad

# 3

## Sensación y percepción

Imagina cuáles pueden ser las sensaciones del bebé de la fotografía al sentir las caricias en sus pies. ¿Crees que sentir cariño influirá en su desarrollo? Ahora piensa en lo que sientes cuando alguien que te quiere, te abraza. ¿Te imaginas no poder sentir?

Mediante los sentidos nuestro cerebro se relaciona con el resto del cuerpo, así como nosotros con el mundo. En esta unidad aprenderás acerca del funcionamiento e importancia de los sentidos, especialmente de la visión.

### ¿Qué piensas?

Reúnete con tres compañeros y discute las siguientes preguntas. Luego, un representante del grupo comunicará sus conclusiones ante el curso.

- ¿Crees que el ambiente en el que se cría a un niño influye en su desarrollo emocional e intelectual?, ¿por qué?
- Según tu opinión, ¿cuál es el sentido más importante?, ¿por qué?
- ¿Por qué es importante mantener actitudes de autocuidado para con nuestros órganos de los sentidos?





## Aprenderás a ...

### Lecciones

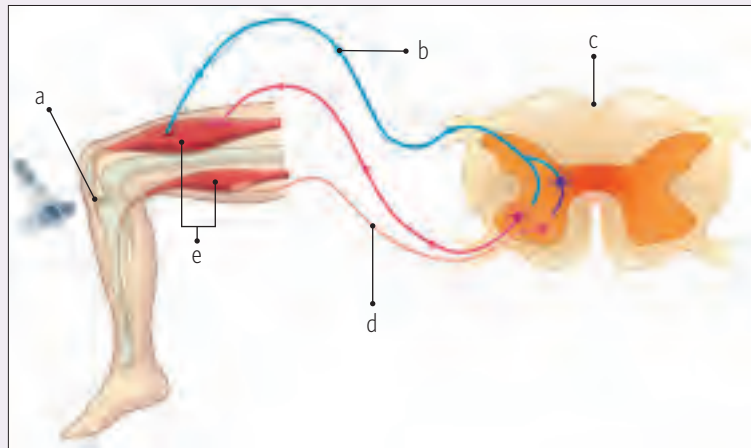
- |  |   |   |
|--|---|---|
| <b>1</b> ¿Cómo captamos la información del medio?        | — | Describir la función, tipos y cualidades de los receptores.   |
| <b>2</b> ¿Qué estructuras componen nuestros ojos?        | — | Describir los tipos de ojos y las estructuras que los componen.   |
| <b>3</b> ¿Cómo se produce la visión?                     | — | Explicar cómo la organización de las estructuras oculares, y las vías nerviosas asociadas a ellas, hacen posible la visión.   |
| <b>4</b> ¿Cómo podemos escuchar?                         | — | Describir la función y organización de las estructuras auditivas, y cómo sus receptores transforman la energía del sonido en un impulso nervioso.   |
| <b>5</b> ¿Cómo actúan las drogas en el sistema nervioso? | — | Explicar cómo las drogas actúan en la sinapsis y, como consecuencia, producen alteraciones en la actividad del sistema nervioso y, por lo tanto, en las capacidades, en la conducta y en la inserción social del individuo. |

# ¿Cómo captamos la información del medio?

► Debes recordar: **Arco reflejo - Receptores**

## Trabaja con lo que sabes

1. Identifica en la figura los cinco componentes de un arco reflejo.
2. ¿Cuál es la función e importancia del componente marcado con la letra a?, ¿qué otras estructuras con una función semejante identificas en nuestro cuerpo?



▲ Arco reflejo.

## Propósito de la lección

¿Cómo es posible que percibas un roce o un sonido o que sientas una disminución del  $O_2$  en la sangre? En esta lección aprenderás acerca de la función de los receptores sensoriales, formas de clasificarlos, cualidades y la manera en que su actividad influye en la sensación y en la percepción.

### Apunte

Sensación: información que obtenemos por medio de nuestros sentidos a partir de un estímulo externo o interno, que puede hacerse consciente o inconsciente.

Percepción: una función superior del cerebro, mediante la cual logra seleccionar, organizar e interpretar las sensaciones que recibe por medio de los sentidos.

## 1. Función de los receptores sensoriales

Los **receptores sensoriales** son estructuras especializadas en captar **estímulos** o perturbaciones del medio que son relevantes para la sobrevivencia. Los receptores son **transductores**, pues transforman la energía de los estímulos en potenciales de acción. Los impulsos nerviosos que se generan son conducidos por las vías aferentes hasta el sistema nervioso central, el cual procesa la información y genera sensaciones, percepciones y controla el movimiento y la homeostasis. Gracias a este proceso, se producen las distintas cualidades de la sensación o **modalidades sensoriales**.

## 2. Clasificación de los receptores

La complejidad de los receptores de nuestra especie va desde simples células hasta órganos. En las siguientes tablas se clasifican los receptores según distintos criterios y se presentan asociados de acuerdo con las modalidades sensoriales.

**Tabla 1:** Clasificación de los receptores según el tipo de estímulos.

<b>Termorreceptores</b>	Responden a variaciones de la temperatura.
<b>Fotorreceptores</b>	Detectan estímulos luminosos.
<b>Mecanorreceptores</b>	Responden a variaciones de presión y sonido.
<b>Nociceptores</b>	Detectan estímulos nocivos para el organismo (como fuerzas bruscas o cambios drásticos de la temperatura).
<b>Quimiorreceptores</b>	Captan estímulos químicos (como las variaciones de los gases respiratorios).

**Tabla 2:** Clasificación de los receptores según su funcionalidad.

<b>Interorreceptores</b>	Captan información del medio interno.
<b>Propiorreceptores</b>	Informan de la orientación del cuerpo en el espacio y de la posición de las extremidades.
<b>Exterorreceptores</b>	Informan sobre el ambiente externo.

**Tabla 3:** Principales modalidades sensoriales de los mamíferos.

Modalidad	Estímulo	Tipo de receptor según la:		Tejido u órgano receptor
		Naturaleza del estímulo	Funcionalidad	
Visión	Luz	Fotorreceptor	Exterorreceptor	Retina
Audición	Ondas de presión del aire	Mecanorreceptor	Exterorreceptor	Cóclea
Equilibrio	Movimiento de la cabeza	Mecanorreceptor	Propiorreceptor	Órgano vestibular
Tacto	Mecánico	Mecanorreceptor	Exterorreceptor	Piel
Presión	Mecánico	Mecanorreceptor	Exterorreceptor	Piel
Frío o calor	Térmico	Termorreceptor	Exterorreceptores e interorreceptores	Piel e hipotálamo
Dolor	Varios	Nociceptor	Exterorreceptores e interorreceptores	Piel y órganos
Gusto	Químico	Quimiorreceptor	Exterorreceptor	Lengua y faringe
Olfato	Químico	Quimiorreceptor	Exterorreceptor	Mucosa olfatoria
Presión sanguínea	Mecánico	Mecanorreceptor	Interorreceptores	Vasos sanguíneos
Estiramiento	Mecánico	Mecanorreceptor	Propiorreceptor	Huso muscular
Tensión	Mecánico	Mecanorreceptor	Propiorreceptor	Órgano tendinoso
Glucosa	Químico	Quimiorreceptor	Interorreceptor	Hipotálamo
Oxígeno arterial	Químico	Quimiorreceptor	Interorreceptor	Cuerpo carotídeo



- ▲ Cuando olemos, quimiorreceptores en la nariz se encargan de traducir el estímulo a un lenguaje que el sistema nervioso sea capaz de entender.

### 3. ¿Cómo responden los receptores?

Cuando los estímulos alcanzan un nivel de intensidad mínima, llamada **umbral de excitación**, provocan cambios en la permeabilidad de la membrana de las células del receptor, generándose un **potencial de receptor**. A partir de este pueden producirse potenciales de acción que se propagan, como impulsos nerviosos, por las vías aferentes que conectan a los receptores con regiones específicas del sistema nervioso central, donde se producirá la sensación y, eventualmente, la percepción.

Por ejemplo, sentimos el olor de las cosas porque de ellas se desprenden muchísimas moléculas, algunas de las cuales son captadas por nuestros receptores olfatorios. Si lo hacen en una cantidad suficiente para alcanzar el umbral de excitación, las células receptoras producirán un potencial de receptor e impulsos nerviosos llegarán hasta el área olfativa primaria de la corteza cerebral, en el lóbulo temporal.

#### Aquí CIENCIA

##### CIPA

Ana tiene cinco años y parece estar sana mientras juega con sus amigos, salvo que no suda como ellos y no manifiesta molestia por los fuertes golpes que recibe al caer. Ana sufre de una enfermedad llamada CIPA (insensibilidad congénita al dolor con anhidrosis) que la hace insensible al dolor, a la presión y a la temperatura, por lo que no siente calor y no suda (anhidrosis). Por lo tanto, está más propensa a sufrir lesiones (pues no conoce el dolor) infecciones y daños cerebrales, debido a su incapacidad de regular su temperatura.

#### Actividad 1 Inferir sobre...

##### Causas y consecuencias de CIPA

1. ¿Qué componentes del arco reflejo pudieran estar alterados en esta enfermedad? Explica.
2. Explica cómo los cuidados que deben tomar los padres de Ana para protegerla pueden afectar su desarrollo normal.

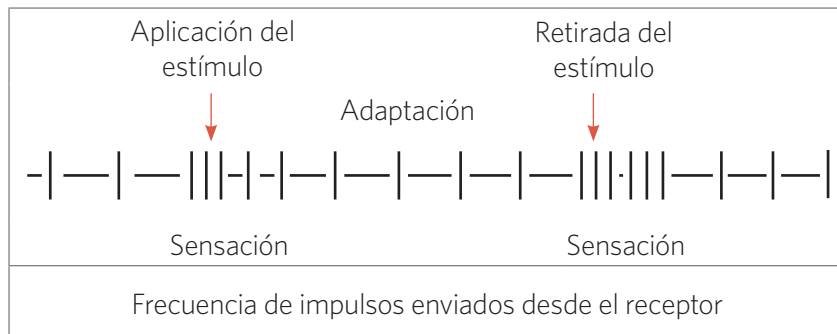
#### Inter@ktividad

- Ingresa al sitio [www.recursostic.cl/lbm098](http://www.recursostic.cl/lbm098). Analiza la información que encuentres y prepara una presentación en la que expliques cómo funcionan los receptores lumínicos de los insectos y de qué les sirven sus antenas.

## 4. Cualidades de los receptores

Algunas de las cualidades que presentan las sensaciones y percepciones, como la intensidad y la localización, se explican por cómo los receptores responden ante determinados estímulos.

- a. **Adaptación:** De manera continua, los receptores están enviando señales al sistema nervioso central, pero lo hacen en baja frecuencia. Cuando son estimulados, aumentan la frecuencia de emisión de impulsos y esta información es interpretada consecuentemente por el sistema nervioso central. La adaptación de los receptores ocurre cuando la estimulación se prolonga en el tiempo y los receptores vuelven a enviar impulsos en la frecuencia original, previa a la estimulación. Esto explica, por ejemplo, por qué al entrar al agua fría percibes la sensación de frío, pero al cabo de un tiempo dejas de percibirla. Sin embargo, no todos los receptores se adaptan; por ejemplo, no lo hacen los nociceptores y los quimiorreceptores del cuerpo carotídeo que informan acerca de la cantidad de oxígeno en la sangre.



La intensidad con la que sientes y percibes un estímulo depende de su energía y del número de receptores estimulados. Mientras más alta es la energía del estímulo, mayor será la cantidad de impulsos que llegan al sistema nervioso central y más intensa será la sensación.

- b. **Especificidad:** Cada receptor responde a un solo tipo de estímulo. Este estímulo debe tener una intensidad mínima que le permita activar al receptor, es decir, alcanzar el **umbral de activación**. Una vez alcanzado el umbral, se genera un potencial de acción que es enviado al centro integrador de respuestas.

### Para saber +

- Los receptores del tacto se caracterizan porque se adaptan muy rápido y porque tienen la cualidad de localización: son capaces de distinguir entre dos estímulos cercanos. Esta propiedad depende de la densidad de receptores presentes en un área de la piel.



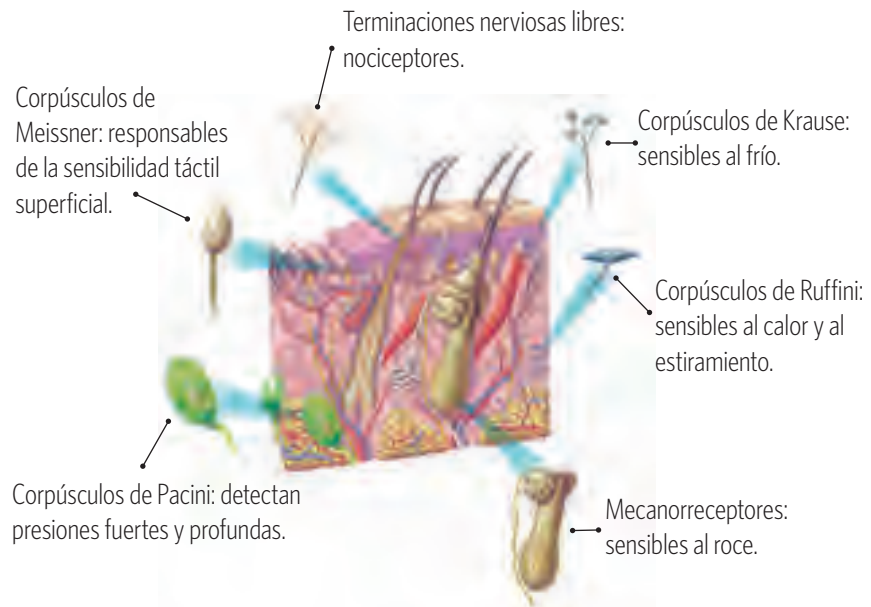
- ▲ Los nociceptores se activan por sustancias producidas cuando se dañan los tejidos o durante un proceso inflamatorio.



- ▲ El sistema Braille, basado en puntos en relieve, permite a las personas ciegas leer y escribir usando el tacto.

## Minitaller

## Obtención e interpretación de datos y planteamiento de inferencias



▲ Muchos de los estímulos que percibimos del medioambiente los recibimos mediante el sentido del tacto. Este se encuentra asentado en la piel, el órgano más extenso del cuerpo humano, el que contiene diversos tipos de receptores.

1. Junto con un compañero, realicen las siguientes actividades. Uno de ustedes será el examinador y el otro el examinado, y deben alternar los roles para que se puedan comparar las respuestas.
  - a. El examinador venda los ojos del estudiante examinado, que debe estar sentado, quieto y cómodo. Luego, toca la piel del compañero con la punta de un plumón delgado. El examinado, con otro lápiz, intenta identificar el punto exacto en el que fue estimulado.
  - b. Deben realizar la actividad anterior a lo menos ocho veces en distintas partes del cuerpo, como las manos, las yemas de los dedos, el antebrazo y la espalda.
  - c. Midan las distancias entre ambos puntos —señalados por cada integrante en cada estimulación— y anótenlas en una tabla, indicando los lugares del cuerpo donde se realizó cada estimulación.
  - d. En la siguiente actividad, el examinador toca al examinado en distintas partes del cuerpo con dos palitos de brocheta al mismo tiempo. Se comienza con los palitos juntos y se van separando de a poco en diferente medida, hasta que el examinado perciba dos puntos por separado.

- e. Repetir la actividad a lo menos cuatro veces en diferentes partes del cuerpo, como la yema de los dedos, el antebrazo y la espalda. En cada ocasión, medir la distancia a la que se perciben los dos puntos por separado.
2. Interpreten sus mediciones y respondan las siguientes preguntas:
    - a. Comparar las mediciones hechas en cada actividad y para cada sujeto. ¿Todos los receptores sensoriales de la piel se distribuyen de manera uniforme por toda la superficie del cuerpo? Explica.
    - b. ¿Por qué se produce incapacidad para localizar con exactitud un punto previamente estimulado?, ¿por qué esta precisión varía en distintas zonas del cuerpo?
    - c. Identifica los termorreceptores; ¿qué consecuencias en la sensación de la temperatura puede originar su ubicación a diferente profundidad?
    - d. ¿Que receptores fueron estimulados durante la actividad?

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. Observa la imagen y responde:
  - a. Identifica tres modalidades representadas.
  - b. Utiliza diferentes criterios para clasificar los receptores de las modalidades que identificaste.
2. Identifica y clasifica el receptor responsable de informar a tu SNC:
  - a. que tu vejiga está llena de orina.
  - b. que aumentó tu temperatura corporal.
  - c. que lo que levantaste es muy pesado.
  - d. que hay poco oxígeno en tu sangre.
  - e. que te picó una abeja.
3. ¿Cuándo las situaciones anteriores son una sensación y cuándo son una percepción? Fundamenta.
4. Explica por qué poco tiempo después de vestirte, dejas de percibir la ropa que usas.
5. ¿Por qué es importante que los nociceptores y los receptores del cuerpo carotídeo no se adapten?
6. ¿Cómo podrías explicar que al tocar un objeto sepamos simultáneamente cómo es su forma y si está frío o caliente?



# ¿Qué estructuras componen nuestros ojos?

► Debes recordar: **Fotorreceptores**

## Trabaja con lo que sabes

Observa los animales de las fotografías y contesta las preguntas.

1. ¿Qué órgano visual te parece más complejo? Fundamenta.
2. Infiere qué información ambiental detectan con sus fotorreceptores estos animales.



▲ Manchas oculares de planaria, un tipo de gusano plano que habita en el fondo acuático.



▲ Ojo compuesto de una avispa, un activo insecto volador.

## Propósito de la lección

Anteriormente aprendiste acerca de los diversos tipos de receptores, su funcionamiento y propiedades. En esta lección estudiaremos la visión, que es nuestro sentido principal, describiendo los tipos de ojos y las estructuras que los componen.

### 1. Tipos de ojos

Durante millones de años de evolución, los animales han desarrollado diferentes tipos de órganos de la visión. Los más simples, como las manchas oculares de las planarias, solo permiten detectar variaciones en la luminosidad. Los ojos de la mayoría de los invertebrados y vertebrados son mucho más complejos y pueden distinguir diferencias de tonalidad o color, luminosidad, forma, tamaño y distancia, entregando a los animales la información clave de su entorno para su sobrevivencia. Los ojos pueden ser de dos tipos: **compuestos** o **en cámara**. Cada especie los ha desarrollado con sus particularidades en respuesta a la manera en que se relaciona con su medio.



▲ Ojos compuestos de una mosca común.

- a. **El ojo compuesto:** presente en insectos, arañas y algunos crustáceos. Está formado por la unión de muchos **ommatidios**; cada uno es una unidad sensorial independiente, con sus propios lentes y células fotorreceptoras. Se obtienen así múltiples imágenes, tantas como ommatidios existen en los ojos, por lo que se denomina **visión en mosaico**.



- b. **El ojo en cámara:** está presente en los moluscos cefalópodos, como pulpos y calamares, y en los vertebrados. A diferencia del ojo compuesto, tiene un único sistema de lentes que forman una sola imagen. La luz atraviesa distintas estructuras del ojo, como la córnea y el cristalino, y es refractada o desviada hasta llegar a las células fotorreceptoras ubicadas en la retina, que es un tejido fotosensible al fondo de la cámara ocular.

## 2. Componentes del ojo humano y estructuras anexas

El ojo humano es un ojo en cámara, tiene forma esférica de aproximadamente 2,5 cm de diámetro. El líquido en su interior ayuda a conservar su forma. La pared está formada por tres capas o túnicas: esclerótica, túnica vascular y retina. Presenta varias estructuras que dirigen la luz hacia los receptores que contiene y una vía nerviosa que conduce la información captada a la corteza visual del cerebro. Conoce su organización en la página 105.

1. **Cuerpos ciliares:** formados por musculatura lisa, su función es sostener el cristalino mediante los ligamentos suspensorios. Cuando se contraen, el cristalino se torna esférico, permitiendo enfocar objetos cercanos, y cuando se relajan, el cristalino se aplanan y es posible enfocar objetos lejanos. Además, son los responsables de la producción del humor acuoso.
2. **Ligamentos suspensorios:** estructuras que nacen en los cuerpos ciliares y mantienen al cristalino en su posición.
3. **Iris:** es un músculo liso, plano, circular, pigmentado y con un agujero central llamado **pupila**. Regula la entrada de luz al globo ocular, gracias a los dos músculos que lo forman: el esfínter y el dilatador del iris. El primero está inervado por el sistema parasimpático y produce la miosis (contracción pupilar); el segundo está conectado al sistema simpático y produce la midriasis (dilatación pupilar).
4. **Córnea:** es el primer lente del ojo: su transparencia se debe al orden de sus células y a la ausencia de capilares.
5. **Cámara anterior:** cavidad del globo ocular situada entre la córnea y el iris; contiene un líquido claro y transparente denominado humor acuoso.

### Para saber +

- La visión de los animales está adecuada a las exigencias de su modo de vida. Por ejemplo, los animales que son presas, como los conejos, tienen los ojos ubicados al costado de su cabeza, lo que amplía su campo visual. En cambio, los animales cazadores, como el águila, tienen sus ojos al frente, lo que les permite una visión tridimensional y un mejor cálculo de las distancias. Además, el águila, como todas las rapaces, tiene los ojos con mejor resolución del reino animal. La imagen que forman es casi cinco veces más nítida que la que captan nuestros ojos, debido, entre otros factores, a que tienen dos foveas en cada ojo y en cada una hay cerca de 1,5 millones de conos.



▲ Águila.



- ◀ Midriasis y miosis. Mientras más dilatada esté la pupila, más luz ingresará al ojo; esto es útil cuando hay poca luz o en situaciones de estrés.

6. **Cristalino:** es un lente biconvexo, transparente y flexible, ubicado entre la cámara anterior del ojo y la cámara posterior. Su función es enfocar los rayos de luz sobre la retina.
7. **Cámara posterior:** cavidad situada entre el iris y el cristalino, que también contiene humor acuoso.
8. **Humor vítreo:** fluido gelatinoso que ayuda a mantener la forma del ojo y a la retina fija en su posición.
9. **Esclerótica:** capa más externa, fibrosa y de color blanco. Protege al ojo debido a su resistencia y se prolonga hacia adelante formando la córnea.
10. **Túnica vascular:** membrana intermedia, formada por la capa coroides, los cuerpos ciliares y el iris.
11. **Coroides:** es una capa muy vascularizada, que recubre internamente la esclerótica con un pigmento oscuro que absorbe el exceso de luz.
12. **Retina o túnica neural:** está formada por varias capas de neuronas y por las células fotorreceptoras, **conos** y **bastones**. Tiene una zona más sensible a la luz, llamada fovea, en la que hay cerca de 200 000 conos, alrededor de esta se encuentran bastones y conos.



a. Visión lejana

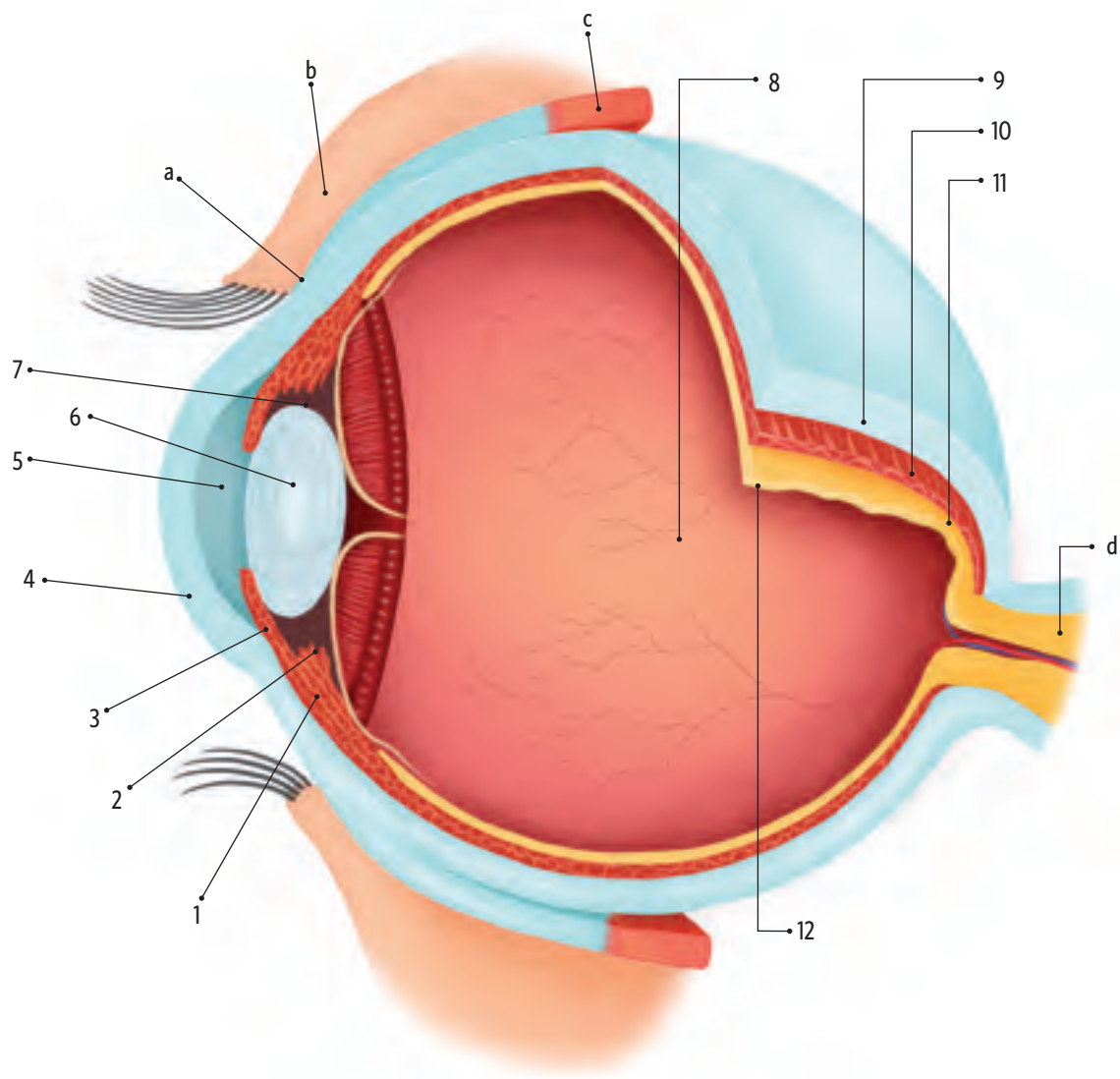


b. Visión cercana

- ▲ La acomodación del cristalino permite formar una imagen nítida de objetos ubicados a distintas distancias.

### Estructuras anexas

- a. **Conjuntiva:** es una membrana mucosa y vascularizada, que protege la parte anterior de la esclerótica, la parte blanca del ojo, y la superficie interna de los párpados. Cuando esta se inflama y enrojece se produce la **conjuntivitis**.
- b. **Párpados:** son pliegues de piel movidos por musculatura esquelética que protegen al ojo del exceso de luz y de cuerpos extraños, función en la que participan también las pestañas.
- c. **Músculos extraoculares:** son siete músculos que se unen a la esclerótica y que mueven a los ojos en distintas direcciones. Normalmente sus movimiento están coordinados y los ojos se mueven en la misma dirección. Cuando esto no sucede se produce el **estrabismo**.
- d. **Nervio óptico:** formado por los axones de las neuronas de la retina, que abandona el ojo por una zona bajo la fovea, llamada disco óptico, en la que se encuentra el punto ciego debido a la ausencia de fotorreceptores.



▲ Organización de las estructuras que componen el ojo humano.

**Antes de seguir**, utiliza lo aprendido

1. ¿Qué diferencias existen entre un ojo compuesto y un ojo en cámara?
2. ¿Es correcto decir que vemos con nuestro cerebro? Fundamenta.
3. ¿Cuáles son los componentes del ojo que ayudan a mantener su forma?
4. ¿Cuáles son los lentes del ojo?, ¿son convergentes o divergentes? Explica.
5. ¿En qué capa del ojo se encuentran los fotorreceptores y cuáles son?
6. ¿Por qué en cada uno de nuestros ojos existe un punto ciego?
7. La liebre es un animal herbívoro y tiene sus ojos ubicados de manera lateral. El halcón es carnívoro y tiene sus ojos de manera frontal. Propón una explicación para estas relaciones.

## ¿Cómo se produce la visión?

► **Debes recordar: Estructuras del ojo - Lentes**

### Trabaja con lo que sabes

1. Observa la imagen adyacente y responde:
  - a. ¿Qué estructuras del ojo atraviesa la luz desde la córnea hasta que llega a la retina?
  - b. ¿Qué estructuras del ojo actúan como lentes?
2. ¿Por qué al mirar a través de una lupa se ve la imagen aumentada?
3. ¿Por qué se emplean lentes para corregir defectos de la visión?
4. ¿En qué lóbulo cerebral se ubica la corteza visual primaria?



▲ Estructuras oculares.

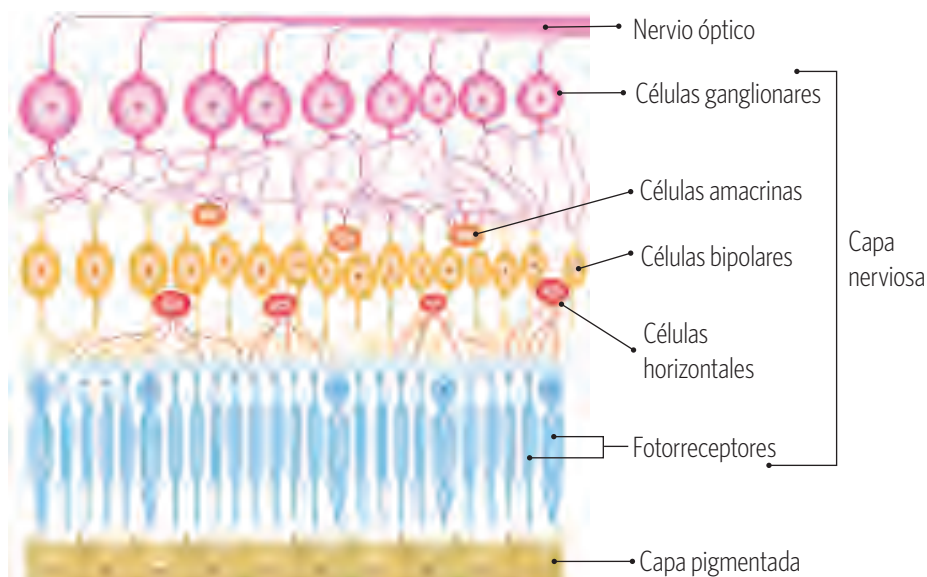
### Propósito de la lección

En la lección anterior se caracterizaron las estructuras que forman al ojo. En esta lección podrás comprender cómo su organización permite la percepción de imágenes y cómo sus defectos pueden ser la causa de patologías visuales.

## 1. Capas de la retina

La retina es el tejido fotosensible del ojo; está formada por una capa nerviosa compuesta por varias capas de neuronas y una capa pigmentada.

- **Capa pigmentada:** es un epitelio formado por células cúbicas adheridas a la coroides. Su función es nutrir a los fotorreceptores y absorber el exceso de luz.
- **Capa nerviosa:** incluye varios tipos de neuronas ordenadas en capas; la más cercana a la capa pigmentada está formada por los fotorreceptores. Sobre ella una capa de neuronas bipolares los conecta con las células ganglionares, a través de interneuronas (células amacrinas). Los axones de las neuronas ganglionares forman el nervio óptico.



▲ Capas de la retina.

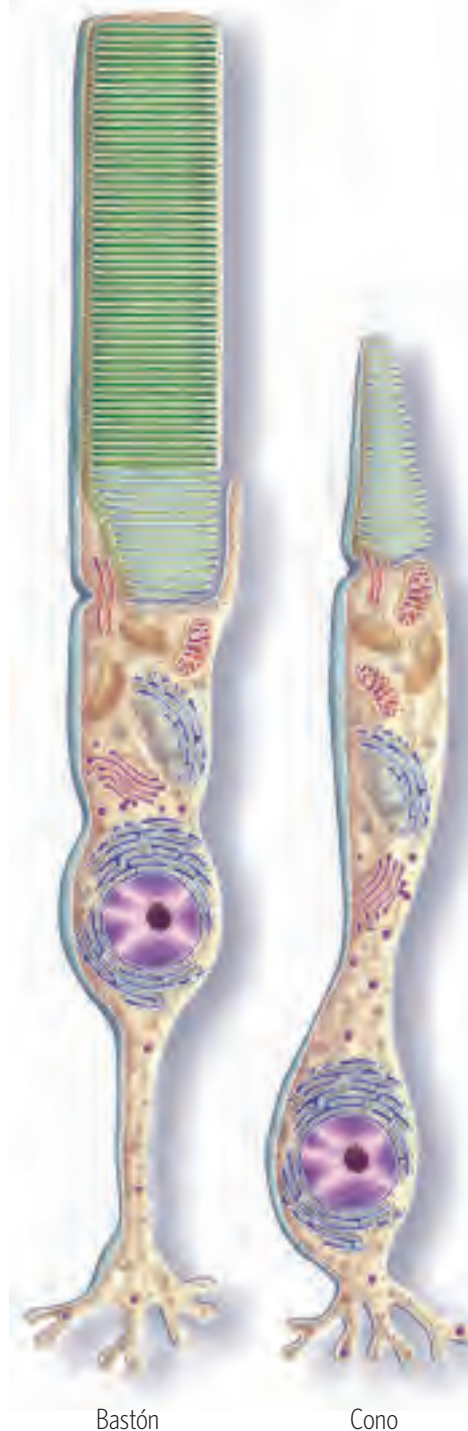
## 2. Fotorreceptores

- a. **Bastones:** en la retina de cada ojo se distribuyen alrededor de 130 millones de estas neuronas modificadas. En su membrana contienen **rodopsina**, un pigmento fotosensible, que cambia químicamente en presencia de cantidades mínimas de luz, desencadenando un potencial de receptor. Los bastones nos permiten ver en condiciones de penumbra; aunque las imágenes son menos nítidas y sin colores, son tan sensibles que pierden la capacidad de transmitir señales en condiciones de luz diurna.
- b. **Conos:** responden ante una intensidad lumínica mayor a la que lo hacen los bastones y nos permiten percibir imágenes en colores y con mayor nitidez. En los conos existe un pigmento llamado **conopsina**, sensible a longitudes de onda específicas. El ojo humano posee tres tipos de conos con diferentes clases de conopsinas que responden a distintas longitudes de onda presentes en la luz blanca. Estos tres tipos de conos se conocían como los conos "rojos", "verdes" y "azules", respectivamente, pero su máximo de sensibilidad no se corresponde exactamente con esas longitudes de onda.

En la retina de cada ojo se encuentran cerca de siete millones de conos, principalmente en una depresión llamada **fóvea**, que es el punto de mayor agudeza visual, pues allí se enfocan los rayos de luz reflejados por el objeto que miramos con atención.

### Para saber +

- La vitamina A, contenida, por ejemplo, en vegetales anaranjados y rojos, es muy importante para la síntesis de rodopsina. Su carencia produce ceguera nocturna.



Bastón

Cono

### Actividad 2 Comparar...

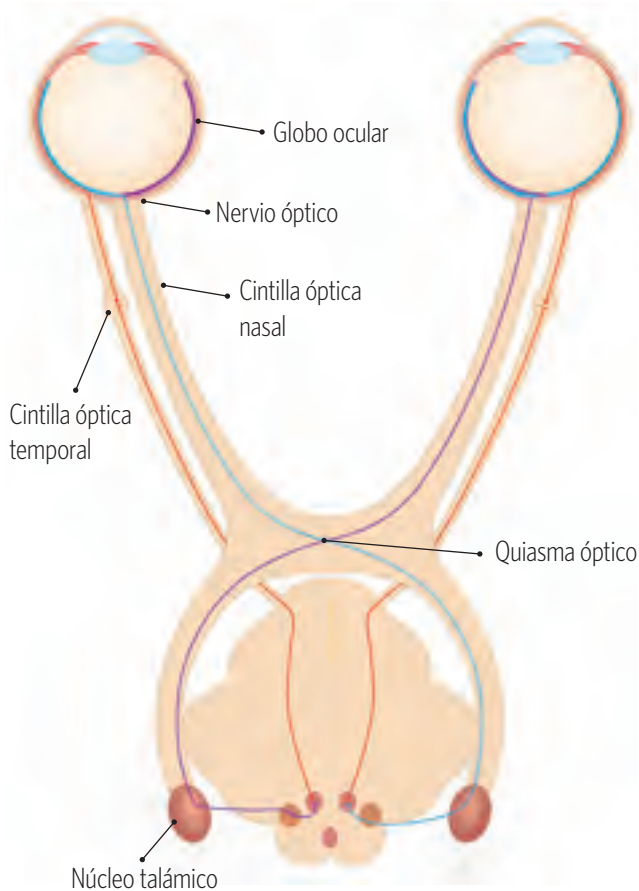
#### Fotorreceptores

1. Construye en tu cuaderno una tabla con, al menos, dos diferencias y dos semejanzas entre conos y bastones.

Fotorreceptores: existen tres tipos de conos y un tipo de bastón. ▶ Los conos necesitan alrededor de cien fotones para activarse, mientras que los bastones, solo uno.

### 3. Transmisión del impulso nervioso a la corteza cerebral

Para que en nuestro cerebro se procese una imagen, es necesario que ocurran las siguientes etapas:



- La luz es refractada por la córnea e ingresa por la pupila, el cristalino refracta nuevamente los rayos de luz y los hace converger en la retina y la luz atraviesa las distintas capas neuronales hasta llegar a la capa de fotorreceptores.
- En los receptores, la energía lumínica activa los fotorreceptores, cerrando los canales iónicos de  $\text{Na}^+$ , que durante la oscuridad permanecen abiertos. Producto de lo anterior, disminuye el ingreso de  $\text{Na}^+$ , aumentando la negatividad en la célula receptora o hiperpolarización y los fotorreceptores generan un potencial de receptor que es convertido en impulso nervioso en las neuronas bipolares.
- Los impulsos son transmitidos por el nervio óptico, el que se divide en dos cintillas ópticas, una con axones de la mitad nasal y otra con los de la mitad temporal de la retina. Los axones de la mitad temporal llegan a los núcleos talámicos del mismo lado, mientras que los de las mitades nasales se cruzan en el **quiasma óptico**, llegando a los núcleos talámicos del lado opuesto.
- Desde el tálamo, las vías nerviosas conducen los impulsos nerviosos hasta la corteza visual ubicada en el lóbulo occipital de cada hemisferio.

- ▲ **Vía visual.** Los estímulos captados por el ojo izquierdo son recibidos por la corteza occipital derecha, a partir de los impulsos nerviosos de la porción nasal de la retina del ojo izquierdo y de la zona temporal del ojo derecho.

#### Minitaller

##### Punto ciego

El nervio óptico emerge por una zona de la retina llamada disco óptico; esta es un área insensible a la luz y se denomina punto ciego. Con el texto a unos 20 cm de tus ojos, ubica tu **punto ciego** cerrando el ojo izquierdo y enfocando con el derecho la cruz de la figura. Disminuye la distancia con el libro hasta que el círculo desaparezca.



##### Lo que debes hacer

- Explica por qué el disco óptico es una zona insensible a la luz.
- Identifica en qué lugar de la retina se enfoca la cruz, cuando la ves más nítida.

## 4. Enfermedades de la visión

En un ojo normal o **emélope** los rayos de luz son enfocados sobre la retina. Pero si hay alteraciones en el diámetro del globo ocular o en alguna de sus estructuras, pueden presentarse algunas patologías.



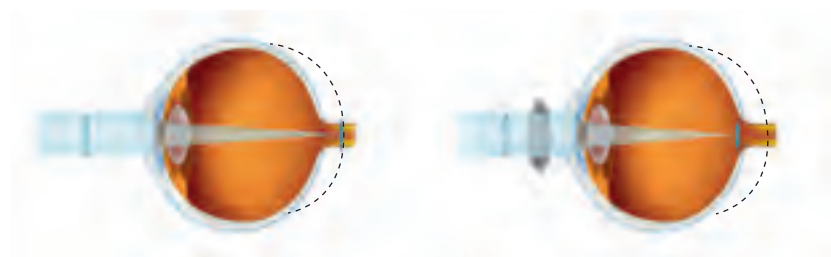
▲ Ojo emélope.

- **Miopía:** se produce cuando el ojo es más largo o bien porque el cristalino es más grueso que lo normal, aumentando su poder convergente. En ambos casos la imagen se formará delante de la retina, lo que impide verla en forma nítida y hace que las personas miopes no vean bien objetos lejanos y deban acercarse al objeto para que su imagen coincida en la retina.



▲ La miopía se corrige con un lente biconcavo o divergente.

- **Hipermetropía:** se produce cuando el ojo es más corto, por lo que la imagen se focaliza por detrás de la retina. Las personas hipermétropes no ven bien objetos cercanos y deben alejar sus ojos del objeto para que su imagen coincida en la retina.



▲ La hipermetropía se corrige con un lente biconvexo o convergente.

### Actividad 3 Investigar sobre...

#### Las enfermedades de la visión

1. Busca en diferentes fuentes de información las características de las siguientes patologías visuales: presbicia, astigmatismo, glaucoma, cataratas y daltonismo.
2. A continuación, haz una encuesta entre la mayor cantidad posible de miembros de tu familia e identifica qué patologías visuales presentan.
3. Grafica e interpreta tus resultados.
4. Compara tus resultados y conclusiones con los de tus compañeros, discútanlas y establezcan conclusiones comunes.

#### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. Considera las características de los bastones y explica por qué los conductores que viajan de noche al ver un flash de luz se encandilan y dejan de ver durante un breve momento.
2. Si una persona para poder leer el periódico debe alejarlo de su rostro, ¿qué patología visual puede tener?
3. ¿Cuál es la función de la rodopsina y de la conopsina?
4. ¿Por qué la corteza visual derecha recibe información de ambos ojos?
5. ¿Qué consecuencias puede tener para tu salud utilizar lentes que no son recetados por un médico?

## Disección de ojo

La observación científica consiste básicamente en hacer descripciones lo más objetivas posibles del objeto de estudio, sin hacer interpretaciones o dar explicaciones. La calidad de la observación mejora si se utilizan instrumentos de medición o confluyen diferentes puntos de vista. La observación es fundamental en ciencia, pues de ella surgen las preguntas de investigación, que a su vez dan origen a inferencias, hipótesis y teorías, entre otras.

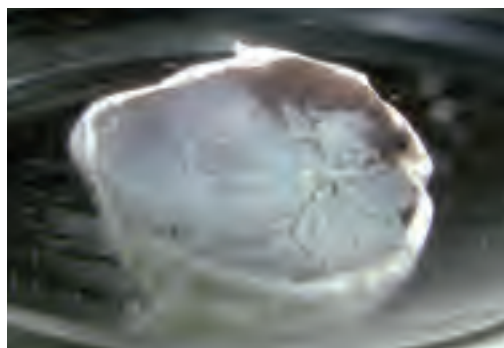
Organícense en grupos de tres a cuatro compañeros para trabajar en la disección y observación de la estructura del ojo de un vertebrado.

### Materiales

- 1 ojo de vaca
- 1 bisturí
- Tijeras finas
- Pinzas finas
- Fuente o cubeta de disección
- Guantes
- Regla
- Papel absorbente

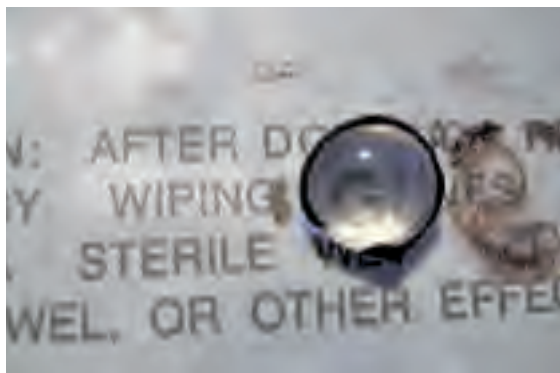
### Procedimiento

- Antes de comenzar, identifiquen las estructuras presentes en la superficie externa del ojo: la **esclerótica**, la **córnea**, el **iris** y la pupila. Con las tijeras, corten la musculatura que rodea al globo ocular, dejándolo libre de tejidos. Midan las dimensiones del ojo.
- Luego, pongan el ojo sobre la fuente de disección. Con mucho cuidado, hagan un corte en la córnea hasta que salga un líquido transparente. Este líquido transparente es el humor acuoso, compuesto principalmente por agua.
- Después, con ayuda del bisturí, puncen la esclerótica hasta que la traspasen. Una vez hecha la incisión, con la tijera corten el ojo por la mitad, dividiendo el globo ocular en una mitad anterior y otra posterior. El líquido gelatinoso que sale es el humor vítreo, sustancia que ayuda a mantener la forma del ojo y permite el paso inalterado de la luz hasta la retina. En la mitad anterior se advertirá el iris, el **crystalino** y la pupila, mientras que en la posterior, se encuentra la **retina**. Dibujen y rotulen las estructuras que observen en ambas mitades.





- d. Para observar mejor la retina, sumerjan la mitad posterior del ojo en agua. Entre la esclerótica y la retina hay una membrana vascular que cubre los dos tercios posteriores del globo ocular, la coroides, ¿cuál es su función?
- e. Observen que un extremo de la retina está adherido al fondo del globo ocular, correspondiente al punto ciego, lugar donde convergen las fibras nerviosas que dan origen al nervio óptico.
- f. De la mitad anterior, extraigan con mucho cuidado el cristalino, que es la estructura que se encuentra inmediatamente detrás del iris. Retiren los restos de humor vítreo. Con el cristalino observen las letras de unas hojas de diario, ¿cómo es la imagen que se observa? Con los dedos, presionen los bordes del cristalino, ¿qué sucede con la imagen observada?
- g. Con una pinza fina tomen el iris y estírenlo suavemente, ¿qué constitución tiene? ¿Qué tipo de tejido forma el iris? ¿Qué estructura se encuentra al centro del iris?, ¿cuál es la función de esta perforación?



Al terminar, limpien su lugar de trabajo y el material utilizado. Dejen toda la basura en una bolsa de plástico cerrada para ser eliminada. Laven cuidadosamente sus manos con agua y jabón.

### Actividades

1. Para cada una de las estructura del ojo que están escritas con negrita hagan tres o cuatro observaciones y una pregunta de investigación derivada de una o más de ellas. Organicen la información en una tabla e incorporen los dibujos realizados.
2. Para la próxima clase, preparen una presentación empleando un programa de presentación de diapositivas u otro medio, en que comuniquen sus observaciones y preguntas de investigación al curso.



### Organiza lo que sabes

En tu cuaderno, diseña un organizador gráfico usando al menos diez de los conceptos de esta lista. Este organizador representará lo que has aprendido.

- adaptación
- estímulos
- nervio óptico
- clasificación
- retina
- fotorreceptores
- ojo en cámara
- modalidad
- córnea
- hipermetropía
- potencial de receptor
- corteza visual
- miopía
- receptores
- cristalino

### Evaluación de proceso

1. Acerca de los receptores, explica: (4 puntos).
  - a. ¿Cuál es su importancia para la sobrevivencia de un organismo?
  - b. ¿Qué condición es necesaria para que produzcan un potencial de receptor?
  - c. ¿De qué depende la intensidad de nuestras sensaciones?
  - d. ¿Cuando se adaptan, el individuo deja de sentir o de percibir? Explica.
2. Completa la siguiente tabla: (7 puntos).

Modalidad	Estímulo	Tipo de receptor según la:		Tejido u órgano receptor
		Naturaleza del estímulo	Funcionalidad	
	Luz	Fotorreceptor		
Audición				Cóclea
Equilibrio		Mecanorreceptor		
Tacto			Exterorreceptor	
		Nociceptor		Piel y órganos
			Exterorreceptor	Lengua y faringe
Glucosa			Interorreceptor	

3. Dibuja en tu cuaderno un ojo compuesto y un ojo en cámara, identificando sus estructuras, y describe cómo es la imagen que forman. (6 puntos).
4. Escribe dos características de la organización o de la estructura y la función de córnea, cristalino, humor vítreo, retina, coroides y esclerótica. (10 puntos).

5. Describe cómo responden el iris, el cristalino, conos y bastones en las siguientes situaciones: (4 puntos).
  - a. En un día soleado de playa miras un barco que se aleja hacia el horizonte.
  - b. En penumbras, acercas un objeto a tus ojos para verlo mejor.
  
6. Según la ilustración de la retina: (5 puntos).
  - a. nombra, en orden, las estructuras por las que ha debido pasar la luz hasta llegar a ella.
  - b. identifica y escribe la función de la capa pigmentada, conos, bastones y neuronas ganglionares.
  
7. ¿Por qué la corteza visual del lado izquierdo recibe impulsos de la retina de ambos ojos? (2 puntos).



## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Describir la función, tipos y cualidades de los receptores.	1 y 2	_____/11	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Describir los tipos de ojos y las estructuras que los componen.	3 y 4	_____/16	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Explicar cómo la organización de las estructuras oculares, y las vías nerviosas asociadas a ellas, hacen posible la visión.	5, 6 y 7	_____/11	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

## ¿Cómo podemos escuchar?

► **Debes recordar:** Características del sonido

### Trabaja con lo que sabes

1. Consigue una regla plástica de 30 cm o más y apóyala en el borde de una mesa, dejando que sobresalga 18 cm. Presiónala firmemente con una mano y con la otra empujla hacia abajo y suéltala. Observa la vibración y escucha el sonido. Repite tres veces el paso anterior disminuyendo 3 cm cada vez.
  - a. ¿En qué situación la regla vibró con menor y con mayor frecuencia? Dibuja el aspecto de las ondas en cada caso.
  - b. ¿Qué relación puedes establecer entre la frecuencia de la vibración y la agudeza o gravedad del sonido?



### Propósito de la lección

¿Cómo es posible que reconozcas a alguien solo por su voz o que puedas disfrutar de la música? En esta lección comprenderás que es posible gracias a que los receptores en tus oídos convierten la energía mecánica de las vibraciones sonoras en impulsos nerviosos y los envían a tu cerebro.

#### Apunte

**Intensidad:** mientras mayor sea la amplitud de la oscilación, más fuerte se escuchará el sonido. Su unidad de medida es el decibel (dB).

**Frecuencia:** mientras mayor sea la frecuencia, más agudo se percibe el sonido y, a menor frecuencia, más grave. La unidad física de frecuencia es el hertz (Hz); 1 Hz equivale a una oscilación por segundo.

### 1. El sonido

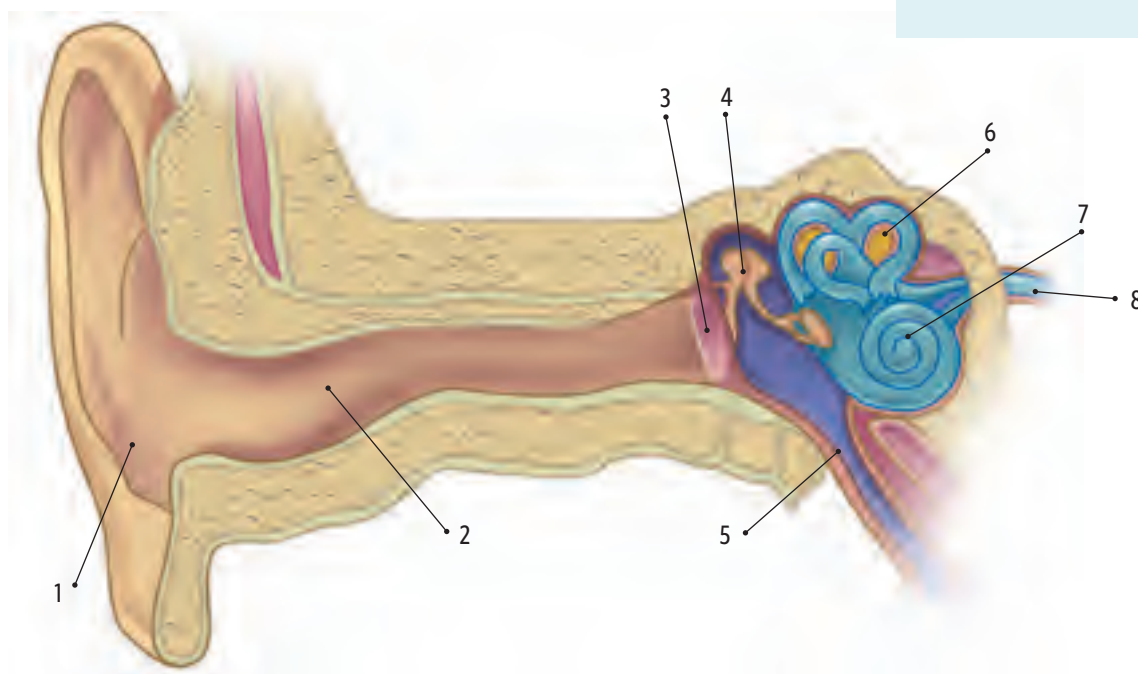
El sonido se origina por la vibración de un cuerpo. Por ejemplo, la voz se emite cuando las cuerdas vocales, unos pliegues musculares en la laringe, vibran al pasar aire entre ellas y el sonido de una guitarra se produce cuando vibran sus cuerdas. El sonido necesita de un medio material, como un sólido, el aire o el agua, para propagarse. Entre las propiedades del sonido se distingue el tono, que depende de la frecuencia de la vibración, y la intensidad, volumen o nivel de intensidad sonora (NIS), que depende de la amplitud de la oscilación y está relacionada con la **cantidad de energía** que transporta la onda sonora; de esta manera, podemos diferenciar los sonidos fuertes de los débiles.

## 2. El oído, nuestro receptor del sonido

Tal como la organización del ojo permite captar y dirigir la energía electromagnética hasta los receptores que la transforman en impulsos nerviosos y que serán interpretados en el cerebro, la organización del oído permite captar y dirigir la energía del sonido, transformarla en movimiento y, finalmente, en impulsos nerviosos que serán percibidos en el cerebro. El oído se divide en oído externo, medio e interno; la primera división capta y dirige el sonido, en el oído medio su energía se transforma en movimiento y en el oído interno se encuentran los receptores que producirán los impulsos nerviosos. En este último segmento también se encuentran los receptores que detectan cambios en la posición corporal.

### Inter@ctividad

- Ingresa a [www.recursostic.cl/lbm115](http://www.recursostic.cl/lbm115) y encontrarás una animación interactiva en la que podrás analizar cada una de las partes del oído. Encontrarás las opciones que te permitirán ver otras animaciones, una con el proceso de escuchar y otra con enfermedades que afectan al oído.



### Oído externo

- 1. Pabellón auditivo:** estructura cartilaginosa que capta el sonido y lo dirige hacia el interior del oído.
- 2. Conducto auditivo:** conduce las ondas sonoras hacia el tímpano.

### Oído medio

- 3. Tímpano:** membrana que vibra al recibir las ondas sonoras y las transmite a la cadena de huesos.
- 4. Cadena de huesos** formada por el martillo, yunque y estribo. Amplifica la onda mecánica y la dirige hacia la ventana oval.
- 5. Trompa de Eustaquio:** conducto que comunica la faringe con el oído medio, que iguala la presión entre ambos lados del tímpano.

### Oído interno

- 6. Canales semicirculares:** estructuras relacionadas con la percepción de la posición del cuerpo.
- 7. Caracol o cóclea:** conducto enrollado que contiene las células receptoras de la audición.
- 8. Nervio auditivo:** envía los impulsos nerviosos al cerebro.

**Para saber +**

- La escala de decibeles está hecha de manera que un sonido de 20 dB es 100 veces más intenso que uno de 10 dB, y uno de 30 dB es 1 000 veces más intenso que uno de 10 dB.

**Reflexiona**

**La contaminación acústica**

La contaminación acústica afecta principalmente a los habitantes de las ciudades o a quienes por su trabajo se ven expuestos a sonidos de intensidades altas, o a intensidades moderadas durante mucho tiempo. Ambas situaciones pueden dañar el sistema auditivo. ¿En qué momentos se percibe una mayor contaminación acústica en tu colegio? ¿Qué medidas tomarías para reducir la contaminación acústica en la sala de clases?

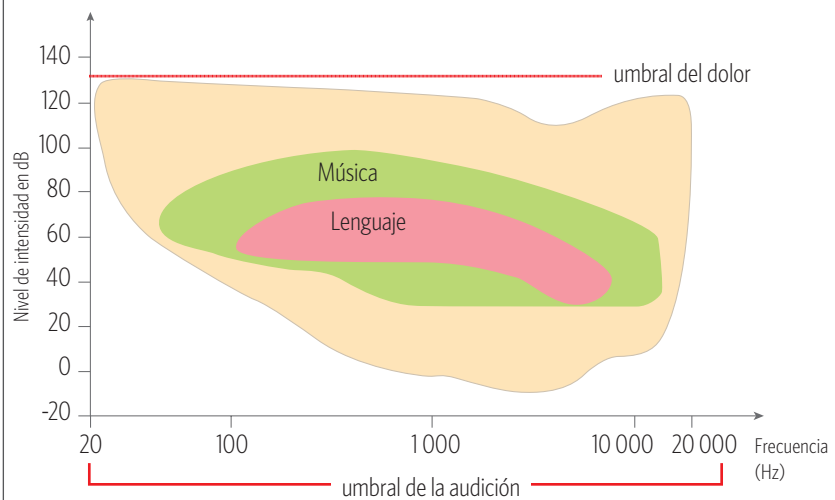
**Actividad 4** Analizar el gráfico de...

**Intensidad del sonido**

Analiza el gráfico considerando que para cada frecuencia se percibe el sonido desde cierta intensidad (umbral mínimo), hasta un umbral máximo.

1. ¿Cuáles son los límites de frecuencia audibles para el ser humano?
2. ¿Entre qué frecuencias se percibe el lenguaje humano?
3. ¿Cuál es el umbral mínimo de audición humana?
4. ¿Sobre qué nivel de intensidad los sonidos pueden provocar dolor?

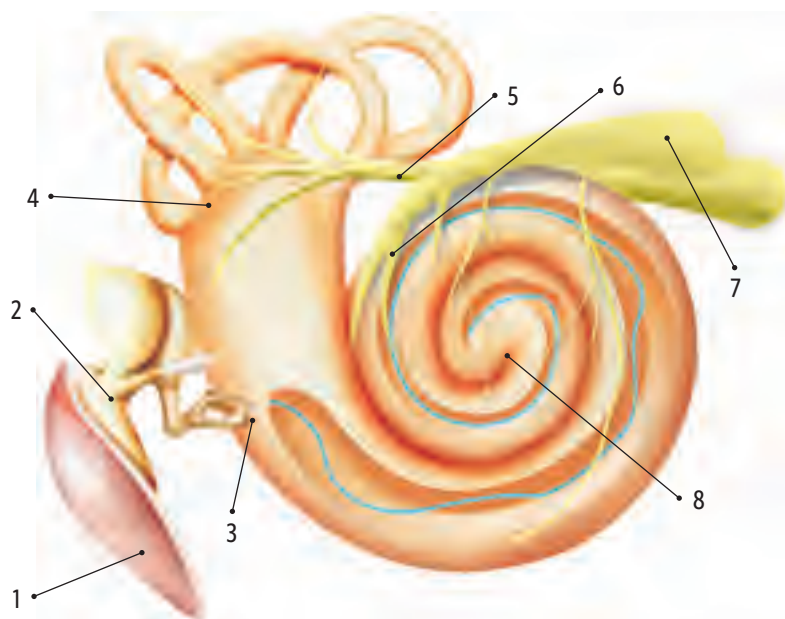
**Gráfico 1:** Curva de Wegel.



▲ Muestra los umbrales de la audición humana y los márgenes habitualmente usados por la música y el lenguaje articulado.

**2.1 ¿Cómo escuchamos?**

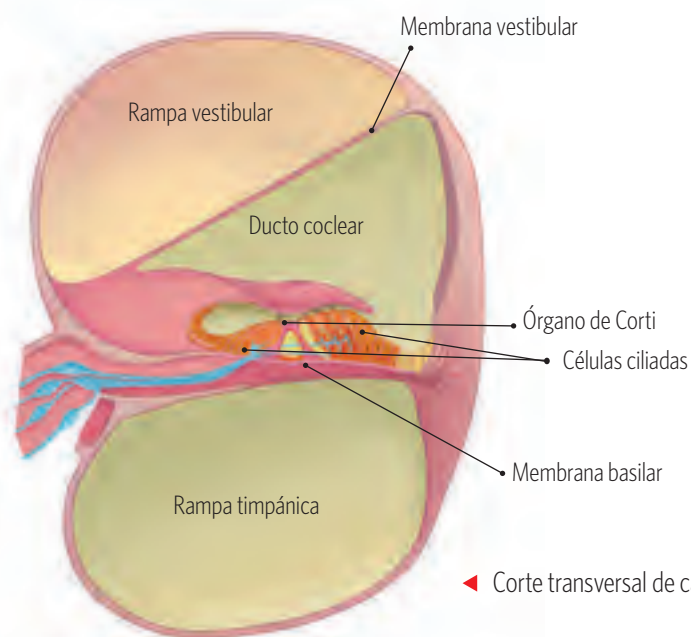
Cuando un cuerpo vibra, las ondas mecánicas viajan por el medio hasta entrar al pabellón auditivo de cada oído, avanzan por el canal auditivo y golpean el tímpano haciéndolo vibrar. En el oído medio, la vibración será transmitida desde el tímpano a la cadena de huesos que está a continuación, que amplificará la vibración y la transmitirá a la ventana oval. En el oído interno, al vibrar la membrana de la ventana oval, se moverá el líquido contenido en el caracol y desplazará las membranas internas, las que estimularán a los cilios del **órgano de Corti**, que transforma el estímulo en impulsos nerviosos que serán enviados por los nervios auditivos que salen de cada oído, a la corteza temporal del cerebro.



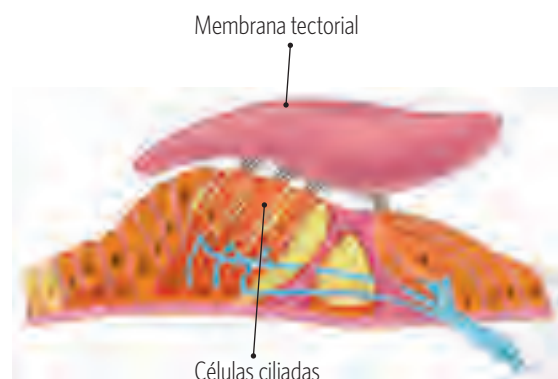
1. Tímpano
2. Cadena de huesos
3. Ventana oval
4. Aparato vestibular
5. Nervio vestibular
6. Nervio auditivo o coclear
7. Nervio vestibulococlear
8. Caracol o cóclea

◀ Oído medio e interno.

En el interior del caracol existen tres rampas separadas por membranas y cada una con líquido en su interior. Sobre la membrana basilar está el órgano de Corti, receptor del oído y formado por un grupo de 24 000 células ciliadas. Sobre ellas está la membrana tectorial. Cuando las vibraciones llegan al oído interno, la perilinfa se mueve, y sube la membrana basilar, las células ciliadas chocan con la membrana tectorial, lo que las despolariza y genera los impulsos nerviosos que viajarán hasta el cerebro por el nervio auditivo. Las células ciliadas que se ubican en la parte más angosta de la membrana basilar son estimuladas por vibraciones de alta frecuencia y se perciben como sonidos agudos, y en la parte más gruesa de la membrana basilar, las células responden a vibraciones de baja frecuencia y se perciben como sonidos graves.



◀ Corte transversal de caracol.



▲ Células ciliadas del órgano de Corti y sobre ellas la membrana tectorial.



- ▲ La exposición prolongada a ruidos intensos acelera el deterioro de la audición.



- ▲ Mantener los oídos secos ayuda a evitar la otitis.

## 2.2 Enfermedades de la audición y del equilibrio

Debido al envejecimiento o a daños en cualquiera de las estructuras que forman el oído, producidos por traumas, infecciones o por someterse a intensidades de sonido demasiado altas, se produce una disminución de la audición o hipoacusia e incluso sordera, que es la pérdida de percepción de los sonidos.

- **Presbiacusia:** a medida que envejecemos perdemos las células receptoras de frecuencias altas.
- **Tinnitus:** es el hecho de "escuchar" ruidos en los oídos cuando no hay una fuente externa. Los sonidos pueden ser suaves o fuertes y pueden sonar como un silbido o zumbido.
- **Otitis externa:** llamada también el oído del nadador, es una inflamación dolorosa del canal auditivo, causada por una infección por bacterias u hongos, los que proliferan debido a la humedad. Aunque no suele ser grave, si se complica puede observarse pus en el oído afectado y estrechamiento del conducto auditivo externo; en casos severos el paciente puede incluso volverse sordo.
- **Otitis media:** es la inflamación del oído medio causada generalmente por bacterias y virus que ascienden por la trompa de Eustaquio. Es una consecuencia común en niños aquejados de infecciones respiratorias de las vías aéreas superiores. Si es muy frecuente, puede ocasionar déficit auditivo a mediano y largo plazo.
- **Vértigo:** es una sensación de movimiento que se describe como mareo. Las personas sienten como si estuvieran girando constantemente.

### Reflexiona

#### Cuidado de la audición

Si eres de los que durante el día no se desconectan de sus audífonos y escuchan la música que les gusta a un alto volumen, debes cuidarte, pues este hábito te hace estar cada día más expuesto a la pérdida de la audición, ya sea a corto o a largo plazo. Los primeros síntomas pueden ser dolores de cabeza y zumbidos auditivos que tardan horas en desaparecer. Lamentablemente, la falla auditiva puede ser muy gradual y muchas personas no perciben los síntomas a tiempo.

Aunque los aparatos para escuchar música son cada vez más pequeños, también son más potentes y muchos emplean audífonos como elemento anexo. Es importante señalar que los riesgos se derivan no solo del uso excesivo de estos últimos y del volumen utilizado, sino además, del tipo de audífono. Aquellos que se introducen en el canal auditivo, a diferencia de los de uso exterior, aunque tienen mayor calidad de sonido, son más perjudiciales, ya que su cercanía con el sistema auditivo provoca daño en la membrana coclear e incluso puede producir deterioro completo e irreversible del oído interno y del nervio auditivo.

Escuchar un reproductor musical en su máximo volumen —sobre 130 dB— equivale a exponerse al ruido ensordecedor de una sierra, de un taladro industrial o de un martillo neumático. Debido al alto nivel de los decibeles en estos casos, el oído solo puede tolerar estos ruidos durante 30 segundos por día. El nivel sonoro recomendable es de 65 dB por un promedio de no más de 8 horas al día, considerando el ruido ambiental al que estamos expuestos en las ciudades. Para un nivel de 80 dB, el tiempo recomendado sería de una a dos horas por día, lo que equivale aproximadamente a escuchar un reproductor de música a una intensidad no mayor al 60 % de su volumen máximo.

Discute con tus compañeros la importancia del adecuado uso de los audífonos. Intercambien información acerca del número de horas al día y el volumen en que los utilizan. ¿Han experimentado los síntomas descritos?, ¿qué pueden hacer al respecto?



### 3. Sentido del equilibrio

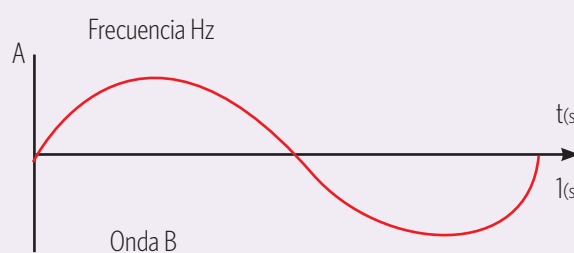
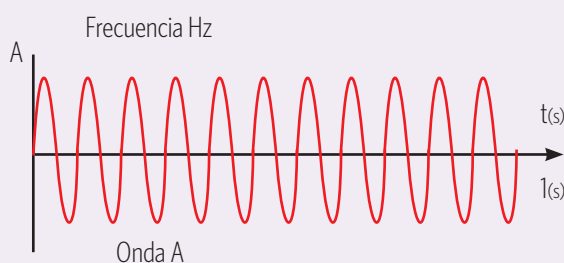
En el oído interno se encuentra el aparato vestibular, donde radica el sentido del equilibrio. Las estructuras que lo forman son tres canales semicirculares y el vestíbulo. Los canales están llenos de un líquido denominado endolinfa y se extienden desde el vestíbulo, orientados en los tres planos del espacio y formando ángulos más o menos rectos entre sí. En el interior de estos canales hay terminaciones nerviosas que detectan cualquier perturbación en el estado de reposo del líquido, registrando el cambio de posición de la cabeza y enviando mensajes a través del nervio vestibular al cerebelo, que mantiene así un control constante de la posición del cuerpo.



▲ El aparato vestibular mantiene informado al cerebro acerca de la posición de la cabeza.

**Antes de seguir,** utiliza lo aprendido

1. En relación con las representaciones de ondas que aparecen a continuación, responde:



- Si las ondas representan sonidos, ¿cuál de las dos se percibirá con un tono más grave? y ¿cuál se percibirá como un sonido más fuerte? Explica.
  - ¿En qué parte del caracol se ubican los receptores que responderán a cada onda?
- Diseña un diagrama o ilustración que represente la secuencia de eventos que nos permite escuchar.
  - Si alguien te pide recomendaciones para cuidar los oídos, ¿qué indicaciones le darías?
  - Analiza la tabla 4 y haz las actividades:

**Tabla 4:** Intensidad de algunos sonidos.

Fuente de sonido	NIS (dB)
Respiración	10
Automóvil en marcha	50
Conversación normal	60
Grito fuerte	80
Trueno	110
Umbral del dolor	130

Fuente: Archivo editorial.

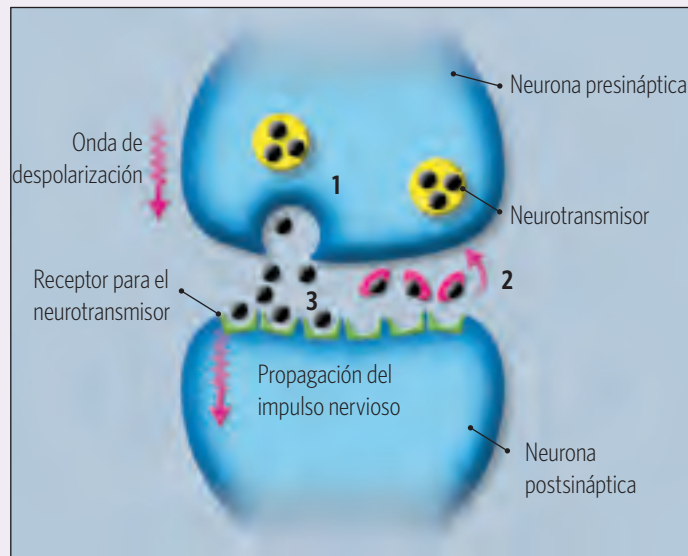
- Haz un cálculo aproximado de cuántas veces es más intenso el sonido de un trueno que el de un automóvil en marcha.
- Estima la intensidad del sonido de tu reproductor de música con volumen máximo.

# ¿Cómo actúan las drogas en el sistema nervioso?

► **Debes recordar:** Sistema nervioso central - Sinapsis química

## Trabaja con lo que sabes

1. De acuerdo con lo que aprendiste en la unidad anterior, ¿cuáles son las etapas de la sinapsis?
2. ¿Qué efecto crees tú que tendría alterar algún factor involucrado en los pasos 1, 2 o 3 del esquema?; ¿conoces alguna sustancia que tenga este efecto?
3. ¿Qué cambios en las capacidades o conductas de un individuo podrían ocasionar las alteraciones en la transmisión sináptica?



## Propósito de la lección

El funcionamiento del sistema nervioso depende de la comunicación química que se produce entre sus células. Si una sustancia extraña, como las drogas, logra ingresar al ambiente neuronal, es posible que produzca diferentes tipos de alteraciones. En esta lección aprenderás acerca de cómo las drogas afectan nuestro sistema nervioso.

### 1. ¿Qué son las drogas?

Los especialistas han definido que una sustancia química corresponde a una droga psicoactiva cuando, al ser incorporada en el organismo, modifica la conciencia, el estado de ánimo o los procesos de pensamiento del individuo. Esto, proyectado en el tiempo, provoca también alteraciones en las funciones corporales.

Las drogas son consideradas sustancias psicoactivas, ya que, independiente de su origen (naturales o artificiales), al ingresar al organismo por alguna vía (inyectada, bebida o inhalada), producen cambios específicamente a nivel del SNC.

## 1.1 Clasificación de las drogas psicoactivas

Los criterios de clasificación para los diferentes tipos de drogas son muchos. Los dos más comunes se relacionan con si su consumo está o no permitido por la ley, y con su efecto sobre el sistema nervioso central.

- Dependiendo de la legalidad o prohibición que exista para estas sustancias, las drogas se clasifican en **legales** o lícitas, si son de libre consumo según la ley del país que corresponda, y en **ilegales** o ilícitas, si están prohibidas por la ley o se venden solo con prescripción médica. El tabaco, el alcohol y la cafeína son drogas consideradas legales; en cambio, el consumo de morfina, anfetaminas, heroína, cocaína y marihuana, entre otras, está penalizado por la ley.
- Según el efecto en el SNC, las drogas se clasifican en estimulantes, depresoras y alucinógenas.
  - **Estimulantes:** sustancias que aceleran y aumentan la actividad funcional cerebral. Ejemplo de ellas son las anfetaminas, la cocaína, la cafeína, la mateína, entre otras.
  - **Depresoras:** su acción se basa en deprimir el SNC, disminuyendo de esta forma la actividad corporal y generando efectos como sueño, relajación, e incluso, coma. Algunos ejemplos son la morfina, las benzodiacepinas, el alcohol y la marihuana.
  - **Alucinógenas:** sustancias que provocan distorsiones en la percepción, delirios, alucinaciones y estados de confusión. Algunos alucinógenos son el LSD (dietilamida de ácido lisérgico), drogas sintéticas como el éxtasis y sustancias volátiles como el tolueno.



- ▲ Dependiendo de si su consumo es permitido o no por la ley, se distinguen drogas lícitas, como el alcohol y la nicotina, e ilícitas, como la marihuana.

### Conexión con

#### Historia

El alcohol es tan antiguo como la civilización humana. En las antiguas culturas de Grecia y Roma se elaboraba a partir de la fermentación de la vid. Durante el Imperio inca, las mujeres preparaban bebidas alcohólicas a partir de la fermentación del maíz, y en la Europa medieval, las bebidas alcohólicas eran utilizadas como parte de la medicina tradicional de sus pueblos.



- ▲ Vendimia en el valle de Colchagua. Tal como hace siglos, en Chile se cultiva uva para la producción de vino. Hoy la viticultura es una importante industria nacional.

140

t

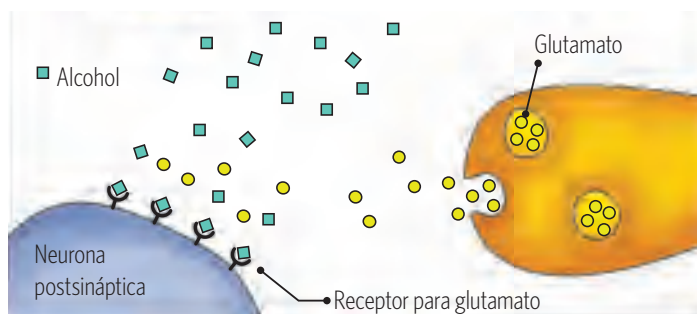
¿A qué crees que se debe que, siendo ambas dañinas, se distinga entre drogas lícitas e ilícitas? Opina en no más de 140 caracteres.

## 1.2 Efectos de las drogas en las neuronas

El consumo de sustancias químicas afecta varias porciones del cerebro, específicamente en las diferentes etapas de la sinapsis. Esto significa que se puede alterar la liberación de neurotransmisores y la transmisión de señales intracelulares entre otras funciones. Los principales lugares de acción de las sustancias psicoactivas son los receptores de membrana de las neuronas, por lo que el uso puntual o repetitivo de estas sustancias determinará el daño a corto o largo plazo que se producirá en la actividad cerebral.

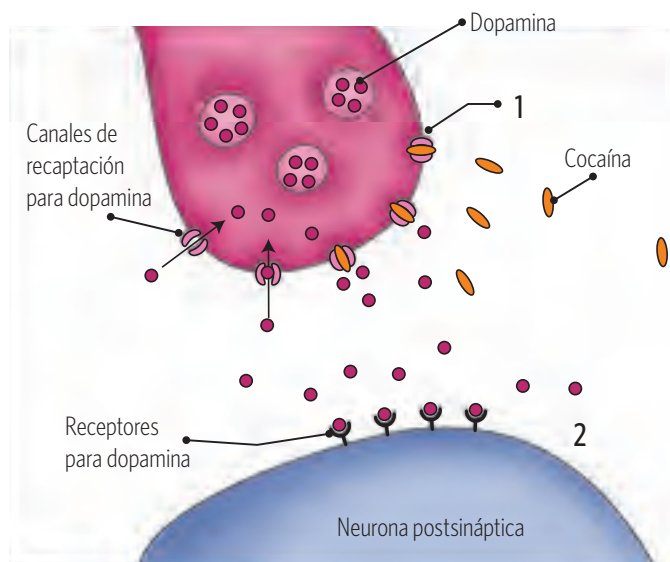
### Alcohol etílico o etanol

La sustancia activa de las bebidas alcohólicas es el alcohol etílico o etanol. Al ser de bajo peso molecular no requiere ser digerido, por lo que pasa rápidamente al torrente sanguíneo. Uno de los mecanismos de acción del etanol es inhibir el efecto excitador del neurotransmisor glutamato. Esto explica, junto con otros efectos en la interacción con otros neurotransmisores, el efecto sedante del alcohol. Esta sustancia provoca alteraciones en el área cerebral involucrada en la formación de la memoria, en la toma de decisiones y en el control de los impulsos.



### Cocaína

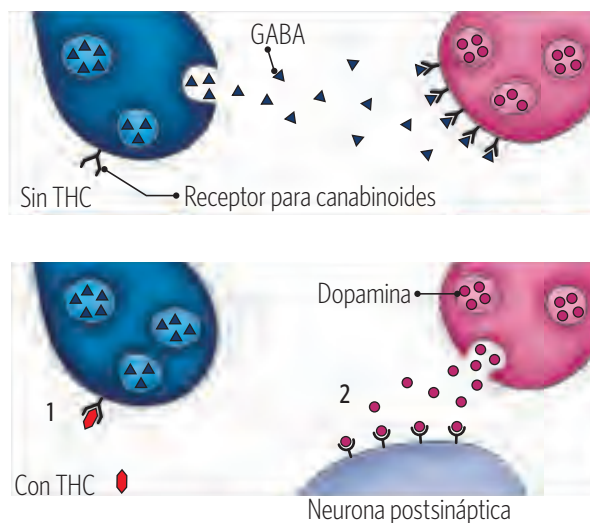
La cocaína se obtiene del procesamiento químico de las hojas del arbusto de coca (*Erythroxylon coca*) originario de Bolivia y Perú. Uno de los mecanismos con que actúa se relaciona con la inhibición de la recaptación de la dopamina luego de haber actuado. Esto significa que la cocaína bloquea los transportadores para la reabsorción (1), haciendo que la dopamina actúe una y otra vez, sobreestimulando la neurona postsináptica (2). Sus efectos más visibles son el incremento de la lucidez, la sensación de bienestar y la euforia, además de aumentar la energía y la actividad motora.



## Marihuana

La marihuana se extrae de una planta llamada *Cannabis sativa*. En ella existen compuestos llamados cannabinoides, entre los cuales el tetrahidrocanabinol (THC) es el principal químico activo. Esta sustancia puede quedar en el cuerpo durante períodos prolongados. El mecanismo de acción del THC consiste en unirse a los receptores para cannabinoides (1), bloqueando la inhibición del neurotransmisor dopamina.

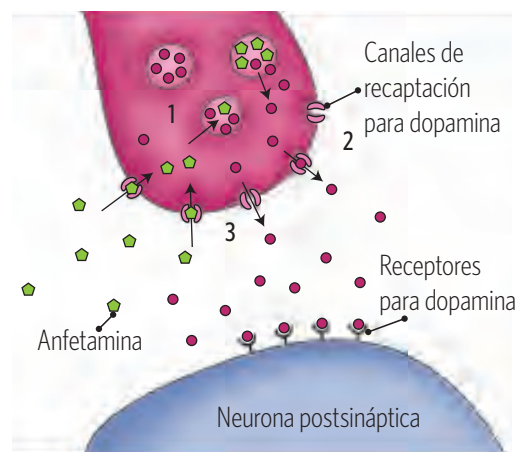
Cuando el THC llega a las neuronas, se une a los receptores para cannabinoides y potencia la liberación de la dopamina (2), debido al bloqueo de la liberación del neurotransmisor GABA. Esto origina la inhibición del impulso nervioso. La acción del THC disminuye la cognición y la memoria, además de alterar el control de las funciones motoras.



## Anfetaminas

Las amfetaminas son un grupo de drogas sintéticas, como las metanfetaminas y semi-sintéticas como la catinona. Uno de los mecanismos de acción de estas drogas es estimular la liberación de las reservas de dopamina desde las vesículas presinápticas (1), liberando a este neurotransmisor (2), además de la noradrenalina, hacia el espacio sináptico. Asimismo, inhibe la recaptación de dopamina y noradrenalina por parte de la neurona presináptica (3), aumentando la frecuencia de la transmisión del impulso nervioso.

Entre los cambios que provocan en la conducta están: aumento del estado de lucidez, mayor energía, aumento de la capacidad de concentración e inhibición del apetito.



## Nicotina

La nicotina es una sustancia que se encuentra en las plantas de tabaco; su forma de consumo más frecuente es en cigarrillos o por masticación. Cuando una persona fuma, la nicotina se absorbe principalmente a través de la inhalación y llega rápidamente al sistema nervioso. Su efecto adictivo se explica por la liberación del neurotransmisor dopamina en algunas zonas cerebrales. El estado de alerta y atención se asocia a la liberación de otros neurotransmisores, como acetilcolina y norepinefrina.

## Cafeína

La cafeína es la sustancia psicoactiva más consumida en el mundo. Se puede encontrar en los distintos tipos de café, en el té, en las bebidas de fantasía y en los chocolates. La cafeína se absorbe fácilmente a nivel gastrointestinal y es metabolizada por el hígado. Como su efecto es estimulante, origina pérdida de sueño, trastornos ansiosos como ataques de pánico o síntomas de trastorno obsesivo compulsivo.

**Actividad 5** Comparar y clasificar a...**Las drogas según sus efectos**

1. Elabora una tabla comparativa con las principales acciones de las drogas descritas y sus efectos tanto en la neurona presináptica como en la postsináptica. Además, clasifícalas según sus efectos en estimulantes, tranquilizantes o alucinógenas.
2. Averigua sobre los efectos nocivos que provocan otras drogas, como la pasta base y el tolueno.

**1.3 Efectos de las drogas en la conducta**

El abuso de drogas influye en el comportamiento de los individuos que las consumen. Producto de la administración o consumo prolongado de estas sustancias químicas aparecen estados de adicción, tolerancia y dependencia.

- **Adicción:** trastorno que involucra el uso compulsivo de una droga, a pesar de sus efectos negativos. Una característica propia de la adicción es la pérdida de control sobre la conducta de consumir drogas, independiente de ser consciente de los efectos negativos que presenta y que, irremediamente, le llevarán a pedir ayuda para dejar de usarlas.
- **Tolerancia:** es un proceso de adaptación celular, que consiste en la disminución del efecto de la droga cuando se usa constantemente, por lo que se deben administrar dosis cada vez mayores para lograr el efecto alcanzado con el primer consumo.
- **Dependencia:** tipo de adaptación celular que se traduce en que la persona necesita consumir una sustancia para desempeñarse en forma normal. Cuando se suprime la administración de la droga se produce un conjunto de signos denominado síndrome de abstinencia. Por ejemplo, temblor corporal, sudoración excesiva, convulsiones e incluso estados depresivos.

**Apunte**

Adaptación celular: estado de la célula en el que se alcanza una nueva pero alterada estabilidad, la que asegura su sobrevivencia y la respuesta a los estímulos que genera el nuevo equilibrio.

**Inter@ctividad**

- Ingresa a [www.recursostic.cl/lbm124](http://www.recursostic.cl/lbm124) y observa la descripción de los efectos cerebrales para cada tipo de droga. A continuación, elige un tipo de droga y realiza una presentación con diapositivas, usando un programa, explicando sus efectos a nivel de sinapsis y señalando su grado de dependencia física y psicológica y su nivel de tolerancia.

## 2. Estadísticas de consumo de drogas en Chile

Según estudios del Servicio Nacional para la Prevención y Rehabilitación del Consumo de Drogas y Alcohol (Senda), ex Conace, el consumo de marihuana en la población escolar que cursa entre 8º básico y IV medio (de colegios municipales, particulares subvencionados y particulares pagados de 99 comunas del país) se ha mantenido estable en la última década, mientras que la cocaína y la pasta base muestran un aumento en los últimos dos años. Estos datos son preocupantes, puesto que el inicio del consumo de drogas se está produciendo cada vez a más temprana edad.

### Actividad 6 Analizar e interpretar datos sobre el...

#### Consumo de alcohol

Analiza los datos de cada tabla, construye el gráfico correspondiente y, a partir de su información, responde las preguntas. Si es posible, utiliza una planilla de cálculo.

**Tabla 5:** Consumo excesivo de alcohol tres o más veces durante el año en población escolar.

Año	Total (%)	Hombre (%)	Mujer (%)
2007	13	15,5	10,5
2009	11,9	13,9	10

**Tabla 6:** Consumo excesivo de alcohol tres o más veces durante el año en distintos niveles de escolaridad.

Año	8º básico (%)	1º medio (%)	2º medio (%)	3º medio (%)	4º medio (%)
2007	5,1	9,3	13,2	18,4	21
2009	4,8	9,1	13,2	15,5	18,7

Fuente: Conace. (2010). 8º estudio nacional de drogas en población escolar de Chile 2009, 8º básico a 4º medio. Recuperado de [http://www.senda.gob.cl/wp-content/uploads/2011/04/2009\\_octavo\\_estudio\\_escolar.pdf](http://www.senda.gob.cl/wp-content/uploads/2011/04/2009_octavo_estudio_escolar.pdf)

- ¿Qué ocurrió con el consumo de alcohol en hombres y mujeres entre los años 2007 y 2009?
- ¿Qué relación puedes advertir entre el consumo excesivo de alcohol y el nivel que cursan los estudiantes? Explica.

### Para saber +

- Existen evidencias del aumento en el metabolismo de la cafeína cuando existe nicotina en el organismo. Esto explicaría que el nivel de cafeína en la sangre sea mayor en privación de cigarrillos y que la tolerancia al consumo excesivo de café sea mayor en personas fumadoras, en comparación con aquellas personas que no lo son.



### Reflexiona

#### Drogas y proyecto de vida

Diversos estudios en el mundo demuestran que la drogadicción es un problema que afecta a millones de personas de distintas edades, incluyendo a los niños en edad escolar.

Respecto a este tema, comenta con tus compañeros: ¿cómo el consumo de drogas puede perjudicar el logro de las metas de una persona?, ¿cómo abordarías el problema de la drogadicción con niños, para fomentar el autocuidado y la prevención?

**Inter@ctividad**

- Ingresa a [www.recursostic.cl/lbm126](http://www.recursostic.cl/lbm126) y navega en los recursos del sitio para conocer algunos datos acerca de las medidas de prevención del consumo de drogas. A continuación, realiza una presentación con diapositivas en la que expongas al menos dos medidas aplicables en el barrio, en tu colegio, en tu familia, en el trabajo y en la educación superior.

**Reflexiona****La comunicación es importante**

Día a día, las relaciones con los padres se hacen complejas debido a los cambios en la personalidad de los niños al llegar a la pubertad y durante la adolescencia. ¿Cómo crees que influye la comunicación que existe al interior de la familia en el problema de la drogadicción? ¿Cómo crees que se puede mejorar la comunicación entre padres e hijos?

**Apunte**

Autoestima: es la valoración que hacemos de nuestras capacidades, modos de sentir y de pensar, sobre la base de las sensaciones y experiencias acumuladas.

**3. Factores de riesgo y medidas de prevención**

Existen diferentes variables que influyen directamente en que una persona sea propensa o esté dispuesta a consumir drogas; no es solo el entorno o los pares consumidores los que facilitan situaciones de riesgo. Las influencias socioculturales, la predisposición genética e incluso algunos problemas de personalidad pueden llevar a una persona (ya sea niño, adolescente o adulto) a convertirse en un drogadicto.

Estudios realizados en el año 2008 por un grupo de especialistas en adicciones revelan que las conductas que llevan al riesgo de consumir drogas, ya sean lícitas o ilícitas, se relacionan con el estado familiar del adolescente, la forma en la que se relaciona con sus pares, las experiencias sexuales a temprana edad, una baja autoestima y el mal uso del tiempo libre.

Los padres siguen influyendo fuerte y decisivamente en la prevención del consumo de drogas de sus hijos e hijas, según el 8° Estudio nacional de drogas en población escolar de Chile 2009, 8° básico a IV medio, desarrollado por Conace para el año 2009. En familias de adolescentes, en las que los padres se preocupan constantemente de sus hijos, se manifiesta tres veces menos consumo de drogas que en aquellas familias en que los padres no se involucran. Por tanto, antes de recurrir a cualquier otra conducta preventiva, la comunicación entre padres e hijos, junto con muestras de afecto y confianza de todo el grupo familiar, son las medidas claves para prevenir este tipo de problema.



- ▲ El buen uso del tiempo libre y el afecto y la comunicación familiar son fundamentales para generar autoestima en los niños y prevenir el consumo de drogas en la adolescencia.



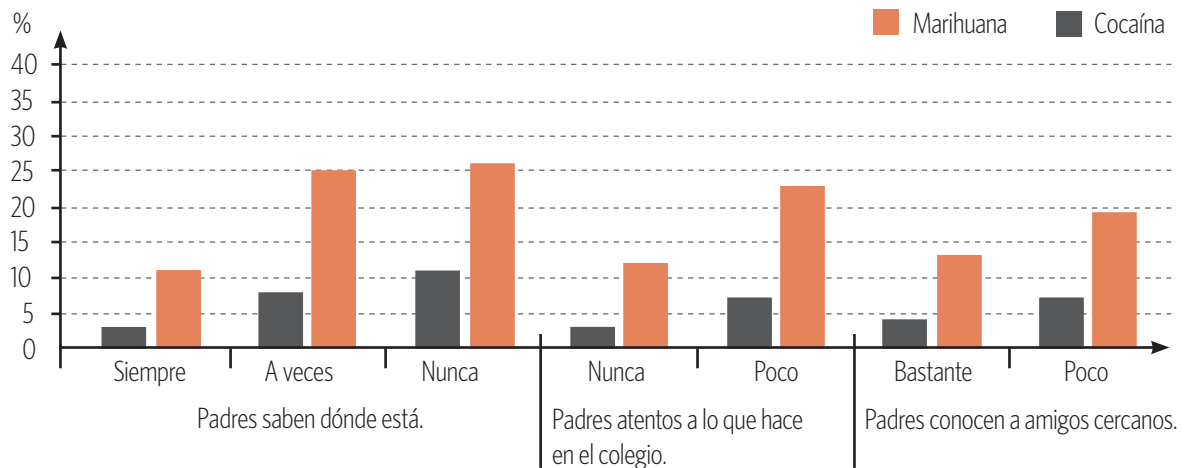
**Antes de seguir**, utiliza lo aprendido

1. ¿Cuáles son los efectos de la liberación de dopamina o de su permanencia en el espacio sináptico?
2. Identifica la droga que causa los siguientes efectos en la sinapsis y sus consecuencias en el funcionamiento del sistema nervioso.

Efecto en la sinapsis	Droga	Efectos en el sistema nervioso
Inhibe la recaptación de dopamina.		
Estimula la liberación de dopamina.		
Bloquea los inhibidores de la dopamina.		
Inhibe el efecto excitador del glutamato.		

3. Analiza los datos del siguiente gráfico y responde las preguntas asociadas.

**Gráfico 2:** Prevalencia del consumo de marihuana y cocaína según indicadores de involucramiento de los padres.



Fuente: Conace. (2010). 8º estudio nacional de drogas en población escolar de Chile 2009, 8º básico a 4º medio. Recuperado de [http://www.senda.gob.cl/wp-content/uploads/2011/04/2009\\_octavo\\_estudio\\_escolar.pdf](http://www.senda.gob.cl/wp-content/uploads/2011/04/2009_octavo_estudio_escolar.pdf)

- a. Plantea una hipótesis que permita relacionar el consumo de drogas y la relación entre padres e hijos.
- b. Según los datos, ¿cuál es la variable relacionada con la conducta de los padres que más influye en el aumento del consumo de drogas en los adolescentes?
- c. Plantea una estrategia que involucre a la escuela y a las familias en el tema de la prevención.



## Estimulación multisensorial

Los trastornos sensoriales son aquellas deficiencias relacionadas con una alteración de alguno o varios de los órganos de los sentidos. De este modo, las alteraciones sensoriales o de la percepción pueden ser visuales, auditivas, cinestésicas, gustativas, táctiles u olfatorias, y el individuo que las experimenta presenta un cambio en la cantidad o tipo de estímulos que recibe, acompañado por una disminución, exageración o trastorno de la respuesta frente a tales estímulos.

Los trastornos sensoriales están asociados a la tercera edad y a muchas patologías. Por ejemplo,

en el caso de la enfermedad de Parkinson, se presentan alteraciones visuales, disfunción olfatoria, alteraciones del gusto, hipoacusia y otros trastornos auditivos; en el caso de los niños con síndrome de Asperger se presentan desórdenes motrices y sensoriales entre un 50 % y un 85 % de las veces.

En nuestro país, según datos de la Encuesta Nacional de Salud 2009-2010, sobre un 40 % de la población chilena tiene problemas de visión, y aproximadamente una de cada tres personas presenta dificultades auditivas.

**Tabla 7:** Prevalencias de problemas de salud incluidos en la ENS 2009-2010.

Problema de salud	Criterios	Hombres (%)	Mujeres (%)	Nacional (%)
Percepción de problema de visión	Autorreporte de uso de lentes	38,6	47,1	42,9
	Autorreporte de mala visión	36	49,9	43,1
	Autorreporte de cataratas	3,6	5,3	4,5
	Autorreporte de glaucoma	2	1,7	1,9
Percepción de problemas de audición	Dificultad para oír por ambos oídos, seguir conversación y escuchar TV	6,5	5,9	6,2
	Presencia de alguno de los tres problemas	34,4	31,1	32,7

Fuente: [www.minsal.cl](http://www.minsal.cl). Encuesta Nacional de Salud. Chile 2009-2010.

Si bien existen terapias tradicionales para tratar a personas que presenten alguna alteración sensorial, en las últimas décadas han surgido nuevas alternativas que han demostrado ser efectivas. Una de ellas es la terapia "snoezelen" o estimulación multisensorial.

El objetivo principal de la estimulación multisensorial es mejorar las habilidades y condiciones de vida de las personas mediante la comprensión de los otros, del mundo y de sí mismos. Para ello, se recurre a instrumentos y estrategias que activan las capacidades más básicas del ser humano: las sensaciones, la percepción y la integración sensorial, de modo que el paciente trate áreas

básicas de percepción que no exigen requisitos previos.

La terapia surgió en Holanda, a fines de la década de 1970; los pacientes ingresaban a una habitación que contaba con efectos simples, como un ventilador que soplaba fragmentos de papel, tinta que se mezclaba con agua y se proyectaba en una pantalla, instrumentos musicales, objetos tangibles, frascos de perfume, jabones y comidas sabrosas. Los terapeutas llamaron a esta experiencia multisensorial "snoezelen", una contracción de los verbos neerlandeses "snuffelen" (para buscar o explorar) y "doezelen" (para relajarse).

Desde su aparición, las salas "snoezelen" se aplican con éxito en muchos países, aunque todavía no llegan a Chile. Se usan principalmente en centros para discapacitados, ya que han demostrado ser herramientas eficaces en pacientes con deficiencias

sensoriales, con autismo o en recuperación tras un daño cerebral severo. También, en mujeres en trabajo de parto e incluso para reducir la ansiedad en niños que van al dentista.

**Tabla 8:** Resumen de la efectividad de salas "snoezelen" en 96 pacientes de Hong Kong, entre 16 y 60 años de edad.

Función	% de pacientes donde se ve efecto marcado	% de pacientes donde se ve efecto moderado
Relajación/reducción de la ansiedad	14,6	40,6
Aumento de la motivación por aprender	4,2	26,0
Aumento de la autoestima	6,3	12,5
Mejora de la comunicación con los adultos responsables	5,2	45,8
Recreación	24,0	38,5
Aumento de la atención y la concentración	5,2	31,3
Disminución de la agresividad	10,7	10,7
Disminución de comportamiento autodañino	22,6	35,5

Fuente: Modificado desde Kwok HW, To YF, Sung HF. *The application of a multisensory Snoezelen room for people with learning disabilities-Hong Kong experience.* Hong Kong Med J. 2003 Apr;9(2):122-6.

### Actividad

1. Analiza la tabla 7 y responde: ¿cuál es el problema sensorial en el que existe una mayor diferencia entre la proporción de hombres y de mujeres afectados?, ¿cuál podría ser la causa de esa diferencia?
2. Considerando los datos de la tabla 8, ¿crees que la estimulación multisensorial podría ayudar a alguien que conozcas? Explica.
3. ¿Qué diferencias en la personalidad o en el comportamiento de dos jóvenes esperarías encontrar, si uno de ellos hubiese sido bien estimulado durante su infancia, mientras que el otro no? Fundamenta.
4. ¿Qué características crees que debe tener una sala de clases, de un jardín infantil, de un curso de educación básica y de un curso de educación media para que se potencie la estimulación multisensorial de los alumnos?



### Organiza lo que sabes

Revisa en tu cuaderno el organizador gráfico que creaste en la sección *Evalúo mi progreso* anterior, y utilízalo como base para diseñar un nuevo organizador. Incluye en él, al menos, diez de los conceptos de la siguiente lista. Esta vez, hazlo en una cartulina o papelógrafo, para que lo puedas exponer y discutir con tus compañeros.

adicción

dopamina

oído medio

efector

alucinógenas

droga

órgano de Corti

aparato vestibular

estimulantes

caracol

frecuencia

sinapsis

dependencia

tolerancia

oído externo

sonido

depresoras

oído interno

### Evaluación de proceso

1. Identifica en la ilustración las siguientes partes y componentes del oído y describe su función más representativa: cadena de huesos, canales semicirculares, caracol, oído externo, oído interno, oído medio, tímpano y trompa de Eustaquio. (8 puntos).



2. Si la frecuencia del sonido A es de 10 Hz, la del sonido B es de 20 Hz y la del sonido C es de 200 Hz, entonces: (3 puntos).
  - a. ¿Qué sonidos son percibidos? Explica.
  - b. ¿Cuál de ellos se percibe en la base del caracol? Fundamenta.
3. Sobre las células ciliadas, responde: ¿cómo se produce su potencial de receptor?, ¿de qué vía nerviosa forman parte sus axones? (2 puntos).

4. Completa la siguiente tabla: (6 puntos).

Droga	Clasificación		Acción en la sinapsis
	Legalidad	Efectos en el SNC	
Alcohol			
Marihuana			
Cocaína			

5. Acerca del consumo de drogas y sus consecuencias, responde: (6 puntos).

- ¿Qué rasgos conductuales permiten identificar a un adicto a las drogas de alguien que no lo es?
- ¿Por qué un adicto necesitará dosis mayores de droga para sentir el efecto que desea?
- ¿Qué características personales, familiares y sociales actúan como factores preventivos del consumo de drogas?
- ¿Cómo el consumo de drogas puede modificar el proyecto de vida de una persona?

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Describir la función y organización de las estructuras auditivas, y cómo sus receptores transforman la energía del sonido en un impulso nervioso.	1, 2 y 3	_____/14	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #ffc107; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
Explicar cómo las drogas actúan en la sinapsis y, como consecuencia, producen alteraciones en la actividad del sistema nervioso y, por lo tanto, en las capacidades, en la conducta y en la inserción social del individuo.	4 y 5	_____/12	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #ffc107; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

### Lección 1: ¿Cómo captamos la información del medio?

- Los receptores sensoriales son estructuras especializadas en captar estímulos. Son transductores, pues transforman la energía de los estímulos en potenciales de acción. Los impulsos nerviosos que se generan son conducidos por las vías aferentes hasta el sistema nervioso central, el cual procesa la información y genera sensaciones y percepciones, controla el movimiento y la homeostasis. Gracias a este proceso, se producen las distintas modalidades sensoriales, como tacto, visión, equilibrio y dolor.
- Los receptores se clasifican según el tipo de estímulos en termorreceptores, quimiorreceptores, fotorreceptores, mecanorreceptores y nociceptores; y según su funcionalidad en interorreceptores, exterreceptores y propiorreceptores.
- Los receptores responden cuando los estímulos alcanzan un nivel de intensidad mínima, llamada umbral de excitación, generándose un potencial de receptor.

### Lección 2: ¿Qué estructuras componen nuestros ojos?

- Existen dos tipos de ojos: compuesto y en cámara. El primero está formado por la unión de muchos omatidios y permite la visión en mosaico. El ojo en cámara, presente en mamíferos, está formado por un único sistema de lentes que forman una sola imagen.
- Entre las estructuras que forman el ojo humano se distinguen: córnea y cristalino, que permiten enfocar la luz en la retina; esclerótica y humor vítreo, que ayudan a mantener la forma del ojo; túnica vascular, en la cual sus componentes participan en la nutrición de las células de la retina, en la secreción del humor acuoso, en la

regulación del ingreso de luz y en el sostén y acomodación del cristalino; retina, que contiene los conos y bastones y las neuronas que forman el nervio óptico.

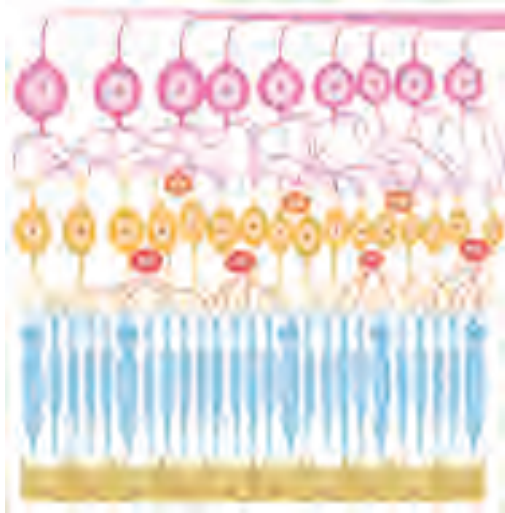
- Asociadas al ojo existen estructuras que lo protegen, como los párpados y la conjuntiva; ellos permiten su movimiento (músculos externos) y transmiten impulsos nerviosos (nervio óptico).



### Lección 3: ¿Cómo se produce la visión?

- Los fotorreceptores de la retina, conos y bastones responden a distintas intensidades de luz. Los bastones permiten la visión en penumbras y los conos permiten ver los colores y los detalles de los objetos.
- La luz activa los fotopigmentos de los fotorreceptores desencadenando un potencial de receptor. Luego, los potenciales de acción son conducidos por el nervio óptico y otras vías aferentes hasta la corteza visual primaria, ubicada en el lóbulo occipital, donde se inicia la percepción.

- Algunas alteraciones en la forma del globo ocular producen trastornos como la miopía, si este es demasiado largo, o hipermetropía, si es demasiado corto. Otras patologías se relacionan con otros componentes del ojo, como el estrabismo (con los músculos externos) y las cataratas (con el cristalino).



#### Lección 4: ¿Cómo podemos escuchar?

- El sonido se origina de las vibraciones de un cuerpo y necesita de un medio material para propagarse. Entre sus propiedades se distingue el tono y la intensidad, esta nos permite diferenciar los sonidos fuertes de los débiles y está relacionada con la cantidad de energía que transporta la onda sonora.
- El oído se divide en oído externo, medio e interno. La primera división capta y dirige el sonido; en el oído medio este se transforma en movimiento y en el oído interno se encuentra el órgano de Corti, formado por los mecanorreceptores que producirán los impulsos nerviosos que serán enviados, mediante los nervios auditivos que salen desde cada oído, a la corteza temporal.
- En el oído interno también se encuentra el aparato vestibular, donde radica el sentido del equilibrio. Las estructuras que lo forman son tres canales semicirculares y el vestíbulo.

#### Lección 5: ¿Cómo actúan las drogas en el sistema nervioso?

- Las drogas son sustancias químicas que al ser incorporadas al organismo modifican la conciencia, el estado de ánimo o los procesos de pensamiento de un individuo. Esto provoca también alteraciones en las funciones corporales. Se clasifican en legales e ilegales, o en estimulantes, depresoras y alucinógenas.
- Su efecto psicoactivo se debe a que intervienen en la sinapsis, potenciando muchas de ellas el efecto de la dopamina.
- Alteran la conducta del individuo ocasionando adicción, tolerancia y dependencia.
- Su consumo es un importante problema de salud pública, que compromete al individuo y a toda la sociedad. Por ello, son fundamentales las actitudes de autocuidado y las medidas de prevención.



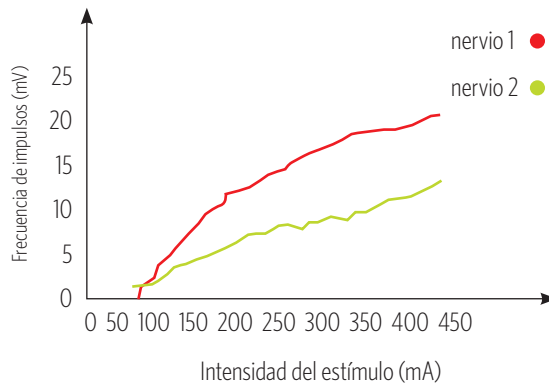
Utiliza lo aprendido durante esta unidad para contestar las siguientes preguntas.

1. Acerca de los receptores, responde: (2 puntos).
  - a. ¿Cuál es su función general?
  - b. ¿Qué significa que sean transductores?
2. Completa la siguiente tabla: (7 puntos).

Tejido u órgano receptor	Clasificación según su...		Estímulo	Modalidad
	Funcionalidad	Tipo de estímulo		
Órgano de Corti				
Retina				
Mucosa olfatoria				
Cuerpo carotídeo				
Lengua y faringe				
Hipotálamo				

3. El siguiente gráfico muestra la relación entre la intensidad de un estímulo y la frecuencia de los impulsos nerviosos originados en dos nervios diferentes de un mismo individuo. Analízalo, aplica tus conocimientos y luego responde las preguntas. (7 puntos).
  - a. Identifica en el gráfico el umbral de excitación que corresponde a los receptores que envían impulsos mediante ambos nervios. Explica tu respuesta.
  - b. ¿Se han adaptado los receptores conectados a ambos nervios? Fundamenta.
  - c. Si la frecuencia de los impulsos continuara aumentando a medida que lo hace la intensidad del estímulo, ¿qué tipo de receptores pudieran estar siendo estimulados? ¿Por qué?

**Gráfico 3:** Impulsos nerviosos de respuesta frente a estímulos.



Fuente: Ramírez, L. (2010). Evaluación de los efectos de diversas intensidades de estimulación nerviosa sobre la amplitud de la respuesta en diferentes especies. *International Journal of Morphology*, 28, 227-238. (Adaptación).



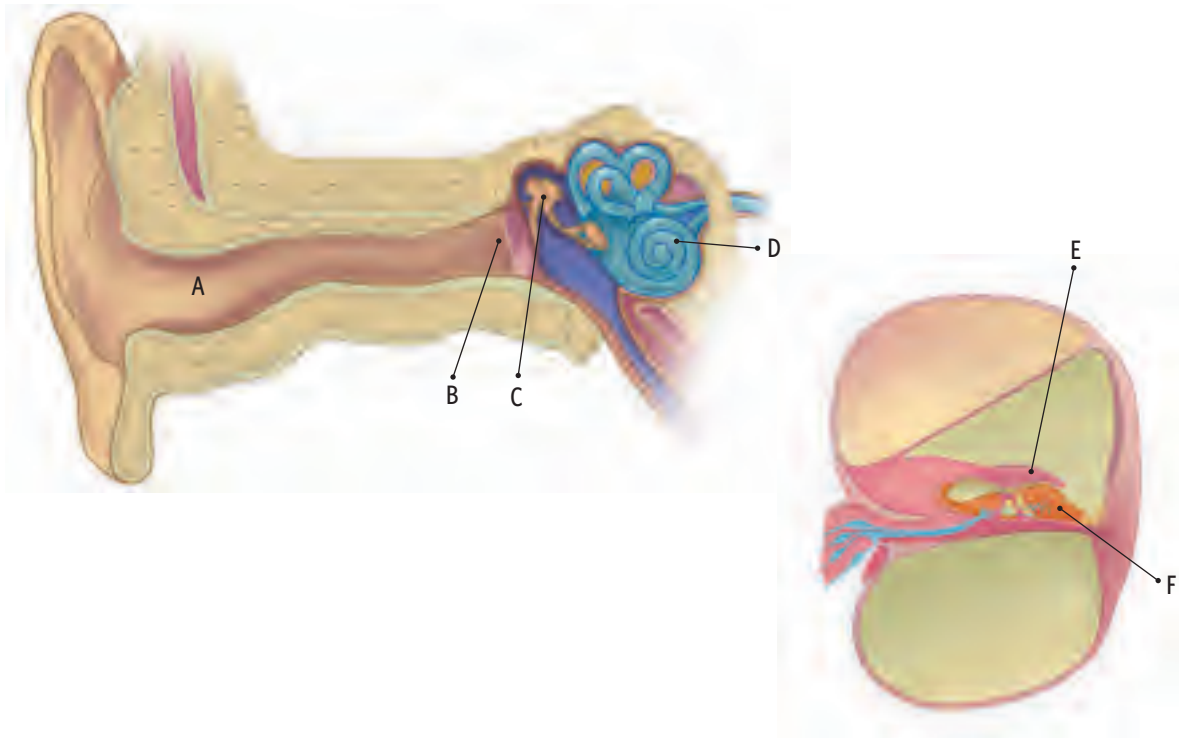
4. Identifica el tipo de ojo que corresponde a los siguientes animales y describe las características de este órgano. (3 puntos).



5. Describe al menos un aspecto estructural y la función de los siguientes componentes del ojo humano. (9 puntos).
- |               |                  |                |
|---------------|------------------|----------------|
| a. córnea     | d. humor vítreo  | g. retina      |
| b. iris       | e. cuerpo ciliar | h. esclerótica |
| c. cristalino | f. coroides      | i. fóvea       |
6. Explica cómo se ajusta el ojo humano a la visión cercana y lejana, y a la luz intensa y débil. (3 puntos).
7. Explica cómo afecta la visión cada una de las siguientes situaciones: (10 puntos).
- Daño en la corteza occipital del hemisferio izquierdo.
  - Corte total del nervio óptico derecho.
  - Debilidad del músculo ciliar.
  - Desprendimiento de la retina del ojo izquierdo.
  - Ausencia de pigmento en la coroides, producto del albinismo.
  - Mal funcionamiento de los músculos externos que se unen al ojo izquierdo.
  - Globo ocular más largo que lo normal.
  - Globo ocular más pequeño que lo normal.
  - Menos cantidad que lo normal de rodopsina.
  - Ausencia o alteración de la conopsina.
8. Acerca de la retina, responde: (3 puntos).
- Compara los conos y los bastones en los siguientes aspectos: cantidad, sensibilidad, ubicación y función.
  - ¿Cuál es la función de las células amacrinas y de las neuronas ganglionares?

## Evaluación final de Unidad

9. En tu cuaderno, explica la función de cada estructura identificada con letras. (6 puntos).



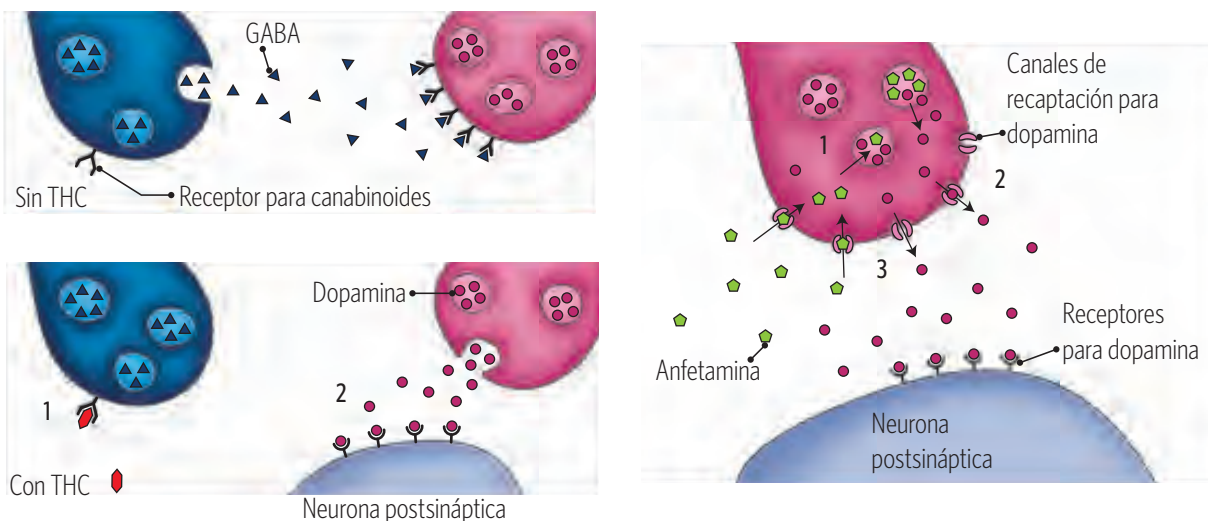
10. Describe el proceso que permite que las células ciliadas de la parte más alta del caracol logren transmitir impulsos nerviosos. (3 puntos).

11. Lee el siguiente texto y luego responde las preguntas. (7 puntos).

El sexo y las características genéticas de los individuos que consumen alcohol pueden explicar los contrastes individuales en los niveles de esta sustancia en la sangre producto del metabolismo. Los efectos del etanol difieren mucho de un individuo a otro, debido a la variación genética de las enzimas metabólicas. Esto puede contribuir al hecho de que algunas personas sean más propensas que otras a desarrollar la dependencia del alcohol.

Fuente: OMS (2005). Neurociencia del consumo y dependencia de sustancias psicoactivas, Washington DC OPS. Recuperado 20 de enero 2011 desde [http://whqlibdoc.who.int/publications/2005/9275325790\\_spa.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2005/9275325790_spa.pdf) (Adaptación).

- Si varios individuos consumen la misma cantidad de alcohol, ¿presentarán las mismas alteraciones? Fundamenta.
  - ¿Qué aspectos pueden hacer variar la dependencia de esta sustancia en los individuos que la consumen?
  - ¿Por qué el alcohol es una droga?
12. Observa las siguientes imágenes y describe los efectos en la sinapsis de las drogas representadas. (4 puntos).



## Me evaluó

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos
Describir la función, tipos y cualidades de los receptores.	1, 2 y 3	10 o menos	11 a 14	15 o más
Describir los tipos de ojos y las estructuras que los componen.	4 y 5	7 o menos	8 a 9	10 o más
Explicar cómo la organización de las estructuras oculares, y las vías nerviosas asociadas a ellas, hacen posible la visión.	6, 7 y 8	9 o menos	10 a 13	14 o más
Describir la función y organización de las estructuras auditivas, y cómo sus receptores transforman la energía del sonido en un impulso nervioso.	9 y 10	4 o menos	5 a 6	7 o más
Explicar cómo las drogas actúan en la sinapsis y, como consecuencia, producen alteraciones en la actividad del sistema nervioso y, por lo tanto, en las capacidades, en la conducta y en la inserción social del individuo.	11 y 12	6 o menos	7 a 8	9 o más

■ Por lograr    
 ■ Logrado parcialmente    
 ■ Logrado totalmente

Unidad

# 4

## Teorías evolutivas

El hallazgo de fósiles, como el de la fotografía, ha planteado al ser humano de distintas épocas la pregunta de si los organismos del planeta han sido siempre iguales o han cambiado. Y si cambian, ¿por qué ocurre?

En esta unidad comprenderás cómo se construyeron las principales teorías que explican las causas y consecuencias del cambio o evolución de las especies. Además, podrás relacionar las teorías evolutivas con el contexto cultural en el que se formularon.

### ¿Qué piensas?

Reúnete con tres compañeros y discute las siguientes preguntas. Luego, un representante del grupo comunicará sus conclusiones ante el curso.

- Organismos como el de la fotografía ya no existen en el planeta, ¿cuál puede ser la causa de su extinción?
- ¿Cómo te imaginas a nuestros ancestros y a los humanos del futuro?
- ¿Qué importancia tiene conocer cómo han evolucionado los microorganismos para el estudio de las enfermedades infecciosas?
- ¿De qué forma el contexto cultural puede influir en el desarrollo de las ideas científicas?



## Aprenderás a ...

### Lecciones

- |          |  |   |
|----------|--|---|
| <b>1</b> | ¿Cuál es el origen de la diversidad biológica?   | Comparar las principales explicaciones del fenómeno de la diversidad biológica.   |
| <b>2</b> | ¿Cómo sabemos que existe la evolución biológica? | Identificar e interpretar las evidencias que prueban que los seres vivos han cambiado en el tiempo.   |
| <b>3</b> | ¿Cómo ocurre la evolución?                       | Explicar las ideas centrales de la teoría de la evolución mediante selección natural.<br>Opinar sobre el impacto cultural que ocasionó la teoría de la evolución de Darwin y Wallace. |
| <b>4</b> | ¿Han cambiado las teorías evolutivas?            | Explicar las ideas centrales de la teoría sintética de la evolución y del equilibrio puntuado.  |

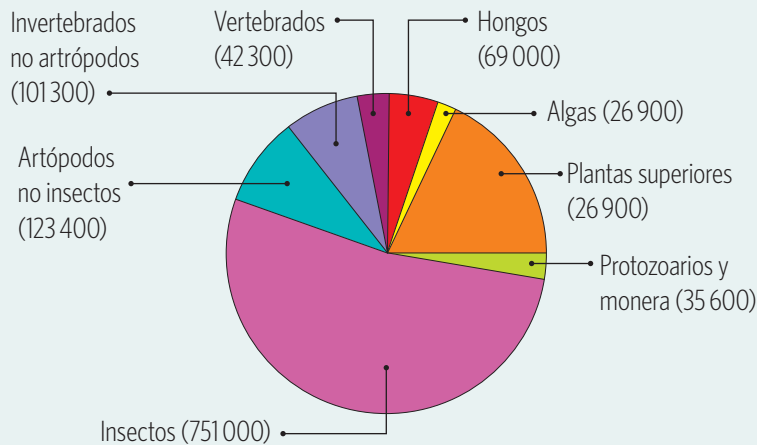
# ¿Cuál es el origen de la diversidad biológica?

► Debes recordar: **Biodiversidad - Especie**

## Trabaja con lo que sabes

Analiza el siguiente gráfico y contesta las preguntas que se plantean a continuación.

**Gráfico 1:** Cantidad de especies estimadas en el planeta.



◀ La suma aproximada de todas las especies descritas en el mundo hasta ahora es de dos millones. Sin embargo, se estima que solo se conoce el 10 % de las especies que realmente existen.

1. ¿Cuántas especies de seres vivos puedes identificar en tu entorno más cercano? Comenten en grupo y construyan en conjunto un gráfico semejante al que aparece en esta actividad.
2. ¿Crees que la biodiversidad del planeta siempre ha sido la misma?, ¿qué piensas que ocurrirá con la biodiversidad en el futuro?
3. ¿Cómo puede el ambiente influir en la cantidad y tipos de organismos que habitan en él?
4. ¿Por qué los insectos son los organismos con mayor diversidad?

## Propósito de la lección

A menudo nos olvidamos de que formamos parte de la biodiversidad del planeta. Comprendiéndola, podremos relacionarnos mejor con la naturaleza y asegurar nuestra propia sobrevivencia. En esta lección, contrastarás dos explicaciones sobre el origen de la biodiversidad y las relacionarás con su contexto cultural.

### 1. ¿Cuál es la causa de la diversidad de los seres vivos?

#### Apunte

Especie biológica: grupo de individuos que pueden cruzarse entre sí y dejar descendencia fértil.

La **biodiversidad** o **diversidad biológica** es toda la variación biológica desde el nivel de los genes individuales hasta los ecosistemas. En esta unidad, nos referiremos a ella como la variedad de seres vivos que habitan el planeta. ¿Cuál es el origen de la biodiversidad? Quienes creen en el **fijismo**, sostienen que los organismos no han cambiado desde su creación; es decir, que la biodiversidad siempre ha sido la misma, mientras que quienes apoyan el **evolucionismo** piensan que los organismos se han transformado a lo largo del tiempo.

## 1.1 Ideas claves para entender el fijismo

- Basan sus ideas en el *Creacionismo*, una interpretación de la Biblia que considera a las especies como creaciones inmutables de Dios.
- Sus defensores calculaban que la Tierra tenía una antigüedad de 6000 años.
- Aunque surgieron durante la Edad Media, las ideas fijistas tomaron fuerza en el siglo XVIII debido a la defensa que hizo de ellas el prestigioso naturalista sueco Carl von Linneo.
- El descubrimiento de **fósiles** fue un contratiempo para los defensores del fijismo, ya que se trataba de restos de seres vivos que ya no existían. ¿Cómo explicar estos hallazgos? En 1812 el naturalista francés Georges Cuvier defendió la **teoría catastrofista**. Según él, las características de la Tierra permanecen constantes y solo se modifican debido a catástrofes ambientales esporádicas, las que ocasionan la desaparición de algunas especies. Luego seguía un nuevo evento de creación.

## 1.2 Ideas claves para entender el evolucionismo

- Basan sus ideas en la interpretación científica de los fenómenos naturales.
- Basándose en estudios geológicos, numerosos naturalistas del siglo XIX estimaron que la edad de la Tierra era de varios cientos e incluso millones de años.
- El **uniformismo**, propuesto por el geólogo escocés James Hutton en 1785, se opone al catastrofismo. Establece que la Tierra cambia constante y gradualmente a causa de los mismos factores ambientales que modelan su superficie hoy, como el agua y el viento, y no por catástrofes ocasionales.
- En 1830 el geólogo francés Charles Lyell, aportó pruebas a favor del uniformismo, y el catastrofismo fue abandonado.

Pese a las numerosas evidencias en contra del fijismo, hacia fines del siglo XIX muchos científicos aún creían en su validez. Hoy, las ideas fijistas no son aceptadas por la ciencia. Para los científicos, **la evolución de las especies es un hecho comprobado**, y han formulado distintas teorías que buscan explicar este complejo proceso.

### Conexión con

#### Historia

Durante la Edad Media, en Europa se consolida y expande el catolicismo, por lo que toda la cultura se centra en Dios. En el siglo XV se inicia la Edad Moderna y con sus ideas humanistas, el arte y las ciencias se vuelven antropocéntricos. Al comenzar el Renacimiento, el pensamiento científico se vuelca al *racionalismo*, iniciándose un camino que la ciencia nunca más abandonaría: buscar las explicaciones a los fenómenos en las causas naturales.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. ¿Cuáles son las ideas centrales del fijismo y del evolucionismo?
2. Según la ciencia moderna, ¿a qué se debe la biodiversidad?
3. ¿Qué entiendes por evolución de los seres vivos?
4. A partir de lo estudiado en esta lección, ¿estás de acuerdo con que el pensamiento científico está influido por el contexto cultural en el que se desarrolla? Argumenta.

# ¿Cómo sabemos que existe la evolución biológica?

► Debes recordar: **Fósil - Fosilización**

## Trabaja con lo que sabes

Observa las siguientes fotografías y contesta las preguntas que se plantean a continuación.



▲ Fósil de *Ammonites*, organismos marinos existentes desde hace aproximadamente 400 millones de años hasta su extinción hace 65 millones de años.



◀ Fósil de *Gliptodonte*, se estima que vivieron hace cinco millones de años hasta hace 8 000 años, en lo que hoy es el Altiplano andino y la Patagonia. Se trata de un pariente de los armadillos actuales.

1. Describe cómo pudo haber ocurrido el proceso de formación de los fósiles de las imágenes.
2. ¿Podrías nombrar organismos actuales que sean semejantes a los presentados en las imágenes?
3. ¿Qué fenómenos pudieron haber causado la extinción de los ammonites y de los gliptodontes?

## Propósito de la lección

Cuando se hace una afirmación en ciencias, es fundamental contar con evidencias que la respalden. Mientras mayor sea la calidad de las pruebas y la rigurosidad de su interpretación, más válida es la afirmación. En esta lección, conocerás las principales evidencias que prueban que la evolución es un hecho.

### 1. ¿Cuáles son las evidencias de la evolución de los organismos?

#### Apunte

**Población biológica:** conjunto de individuos de la misma especie que habitan, al mismo tiempo, un área geográfica determinada.

De manera muy simplificada, podemos entender la evolución como la transformación de las características de las poblaciones de seres vivos a lo largo del tiempo. Debido a que nuestra vida es muy corta, si se compara con la extensión de los tiempos geológicos, es difícil observar directamente la evolución del planeta y de sus organismos pues, en su mayoría, estos cambios suceden en miles o millones de años. Por lo tanto, como si fueran detectives, los biólogos reconstruyen la historia evolutiva del planeta y de sus especies a partir de la interpretación de distintos fenómenos naturales, que son sus evidencias. En las páginas siguientes se resumen las principales evidencias de la evolución.



## 1.1 Pruebas paleontológicas

Los paleontólogos se dedican al estudio de los fósiles, que son restos de seres que vivieron hace más de diez mil años y que han quedado preservados en rocas sedimentarias, ámbar o hielo. El registro fósil incluye cualquier indicio o resto que permita inferir la presencia de seres vivos, como estructuras óseas, caparazones, conchas, huellas de pisadas, marcas que dejan las hojas de las plantas, huevos y excrementos. La paleontología ha permitido inferir los cambios de la biodiversidad a lo largo del tiempo.



▲ Componente del registro fósil. La imagen muestra huevos de dinosaurio fosilizados.

## 1.2 Pruebas biogeográficas

¿Por qué ciertas especies están en un lugar, pero no en otro? Esta es una pregunta clave de la **biogeografía**, ciencia que estudia la distribución geográfica y la diversidad de las especies. El naturalista inglés Charles Darwin, durante los cinco años que duró su viaje alrededor del mundo, registró datos acerca de la distribución de los organismos. Sobre esa base, concluyó que aquellos organismos que habitan juntos en una determinada área evolucionan de una manera similar, pero cuando ciertas poblaciones quedan aisladas, tienden a evolucionar hacia formas diferentes, pudiendo iniciarse un proceso de formación de nuevas especies que se denominó **especiación**.

### Inter@ctividad

- Ingresa a [www.recurstic.cl/lbm143a](http://www.recurstic.cl/lbm143a), allí encontrarás un link del Ministerio del Medio Ambiente. Identifica tres especies endémicas de tu región. ¿Por qué se las considera especies endémicas?  
¿Qué adaptaciones tienen estas especies al ambiente en el que viven?  
Prepara una breve presentación.
- Explica por qué se dice que las aves provienen de los reptiles, e identifica el proceso por el cual se formaron los fósiles mostrados en las imágenes de la sección *Trabaja con lo que sabes*, ingresa a [www.recurstic.cl/lbm143b](http://www.recurstic.cl/lbm143b) y [/lbm143c](http://www.recurstic.cl/lbm143c)

### Apunte

Inferir: dar una explicación sobre un fenómeno natural no accesible por los sentidos.

### Reflexiona

**¿Por qué el registro fósil es un patrimonio natural importante no solo para los científicos?**

En Chile, existen numerosos depósitos de fósiles y es común que excursionistas extraigan piezas de ellos usando técnicas inadecuadas, sin saber el daño irreparable que producen al patrimonio natural. No solo por la pérdida de un fósil, sino porque además se destruye el contexto en que se encontraban, aspecto clave para su estudio. Según la Ley N° 17288, solo el Consejo de Monumentos Nacionales puede autorizar la extracción de fósiles, sin embargo, su capacidad de fiscalización es limitada. ¿Cuál debiera ser tu actitud al encontrar un fósil?

### 1.3 Pruebas anatómicas

Las evidencias anatómicas de la evolución se basan en el estudio comparado de las estructuras corporales de diferentes especies. En la siguiente tabla, se presentan tres tipos de análisis anatómicos.

#### Órganos homólogos

Tienen la misma estructura interna, aunque su forma y función sean diferentes. Se trata de estructuras heredadas de un **ancestro común**, cuya posterior adaptación a distintas formas de vida generó diferencias entre las especies, lo que se conoce como **divergencia evolutiva**.



▲ Huesos de las extremidades anteriores de mamíferos y aves.

#### Caracteres análogos

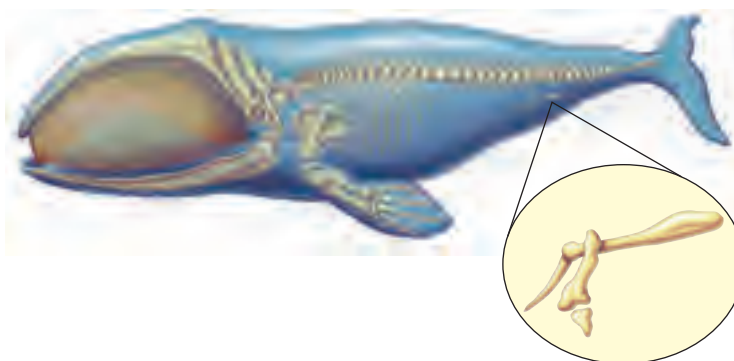
Son caracteres similares en función, presentes en especies que no comparten un ancestro reciente, pero que se relacionan con el ambiente de modo similar. Esto hace que evolucionen desarrollando adaptaciones, como estructuras y formas corporales semejantes. A este fenómeno se le llama **convergencia evolutiva**.



▲ La forma hidrodinámica de los delfines, un mamífero, y de los tiburones, un pez, es una adaptación de estos dos tipos de depredadores a su forma de vida, en la que necesitan ser veloces para alcanzar a sus presas.

#### Órganos vestigiales

Son aquellos que están atrofiados y no tienen función específica. La explicación evolutiva dice que derivan de otros órganos que sí eran útiles en especies predecesoras. Por ejemplo, en nuestra especie se consideran como vestigiales las muelas del juicio, el coxis y el apéndice.



▲ Los delfines y algunas ballenas presentan huesos que corresponden a extremidades posteriores atrofiadas, un indicio de que sus ancestros eran terrestres.

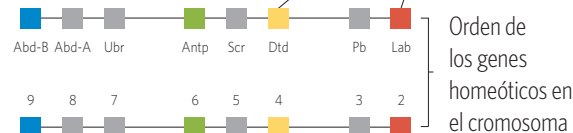
## 1.4 Pruebas embriológicas

En el siglo XIX, el biólogo alemán Ernst Haeckel, basándose en sus estudios acerca del desarrollo embrionario, concluyó que los organismos muestran ordenadamente las transformaciones que han ido acumulando en el proceso de evolución de su linaje. Esto significaría que, por ejemplo, durante el desarrollo embrionario humano aparecerían formas semejantes a las de un pez o de un ave. Esta evidencia se descartó cuando se demostró que los linajes no evolucionan linealmente, sino de manera ramificada.

En la década de 1980 surgió la **Evo-Devo** (del inglés *Evolution and Development*, que significa evolución y desarrollo), disciplina que aporta evidencias a la evolución desde la embriología. La más importante es el descubrimiento de los **genes Hox** u **homeóticos**, encargados de regular el desarrollo embrionario. Estos genes son prácticamente los mismos en todos los animales con simetría bilateral, como los insectos y los mamíferos.

Si cambian los genes Hox o la regulación de su expresión, se pueden originar modificaciones anatómicas consideradas **novedades evolutivas**, es decir, estructuras que aparecen en un linaje evolutivo, cuya forma y función son diferentes a las que cumple la estructura homóloga en el ancestro común; por ejemplo, las plumas de las aves que derivan de las escamas de los reptiles.

Mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*)



Embrión de ratón

▲ Expresión de los genes Hox. Los genes Hox, que son responsables de la formación de los segmentos corporales de la mosca (cabeza, tórax y abdomen), son los mismos que regulan la formación de varias estructuras de vertebrados.

### Actividad 1 Plantear inferencias e hipótesis sobre...

#### Evidencias de la evolución

Con lo aprendido hasta ahora, contesta las siguientes preguntas. Luego, discútelas con un compañero.

- Tanto la especiación como la adaptación son procesos evolutivos, ¿cuál es la diferencia entre ellos?
- Al observar la disposición de los huevos de dinosaurio, ¿es posible que los dinosaurios adultos hayan cuidado de esos huevos? Fundamenta.
- Explica, usando ejemplos, si nuestra especie está mejor adaptada a vivir en ambientes fríos o cálidos.
- Explica los conceptos de convergencia y divergencia evolutiva. Utiliza ejemplos diferentes a los ya señalados.
- ¿Por qué se descartó la idea de Haeckel?
- Si experimentalmente, en las etapas tempranas del desarrollo de un ratón, se elimina el gen Hox encargado de la formación de los ojos y se le reemplaza por el gen Hox correspondiente de una mosca, ¿qué sucederá con el desarrollo de los ojos del ratón?

#### Apunte

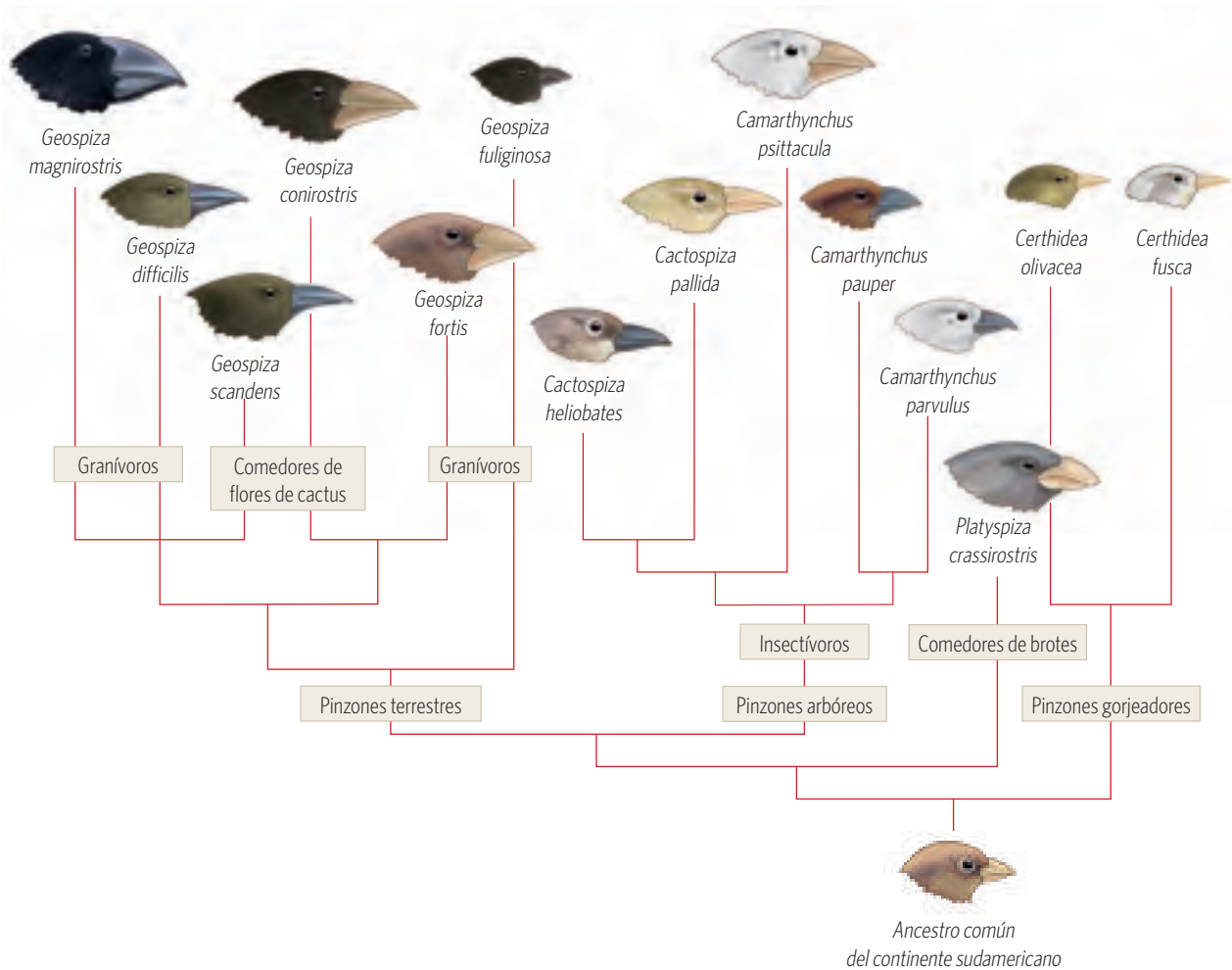
Adaptación: rasgo anatómico, fisiológico o conductual que mejora las opciones de sobrevivencia y de reproducción de un organismo.

Linaje evolutivo: es una serie de especies que descienden de un ancestro común.

Simetría bilateral: se presenta cuando al dividir imaginariamente un cuerpo en dos mitades, izquierda y derecha, estas son prácticamente iguales.

### 1.5 Pruebas bioquímicas

¿Sabías que se puede analizar el ADN para identificar el parentesco entre personas? Pues también se utiliza para descubrir las relaciones filogenéticas entre especies. Cuanto más semejanzas tengan el ADN o las proteínas de dos especies, más próximo será su parentesco evolutivo. La información obtenida del análisis y comparación del genoma y del proteoma se puede representar en un **árbol filogenético**, como el que se muestra a continuación.



**Apunte**

Filogenia: historia evolutiva de un grupo de organismos desde su origen.

Genoma: es el conjunto de genes de un organismo.

Proteoma: es el conjunto de proteínas que se expresan en un momento dado por el genoma.

▲ Árbol filogenético de los catorce pinzones de Darwin. En las islas Galápagos, Darwin concluyó que la forma del pico de las poblaciones de pinzones de las diferentes islas era una adaptación al tipo de alimentación y que todas las especies derivaban de un ancestro continental que emigró a las islas.

Las teorías evolutivas modernas toman en cuenta el hecho de que el ADN se transmite de generación en generación, acumulando cambios o mutaciones. Esto convierte al ADN en un excelente material para hacer estudios filogenéticos, al igual que las proteínas que se sintetizan gracias a la información genética que este contiene. El estudio comparativo del material genético y de las proteínas de distintas especies ha sido muy útil para confirmar o corregir los árboles filogenéticos que se habían construido antes, sin considerar estas evidencias.

**Aquí CIENCIA**

**¿El Neanderthal en nosotros?**

El desarrollo de tecnologías moleculares ha progresado mucho en los últimos años, permitiendo incluso recuperar material genético de especies extintas. Recientemente, se logró analizar el genoma completo de Neanderthal, linaje emparentado con la actual especie humana. Esto ha permitido estimar que en el genoma de cada uno de nosotros existe entre un 1 % y un 4 % de genes de Neanderthal, excepto en los habitantes de África subsahariana, que no lo contienen.

Fuente: [www.bbc.co.uk/mundociencia\\_tecnologia/2010/05/100506\\_neandertales\\_estudio\\_lr.shtml](http://www.bbc.co.uk/mundociencia_tecnologia/2010/05/100506_neandertales_estudio_lr.shtml)



▲ Neanderthal reconstruido en el museo Neanderthal-Düsseldorf.

**Actividad 2** Criticar y proponer hipótesis sobre...

**Pruebas bioquímicas y evolución humana**

1. ¿Cuál es la mejor explicación para el hecho de que nuestra especie contenga genes del Neanderthal? Fundamenta.
  - a. Nuestra especie desciende directamente del Neanderthal.
  - b. En algún momento de su historia, ambas especies combinaron sus genes mediante la reproducción.
2. ¿Por qué los habitantes de África subsahariana no contienen ADN del Neanderthal?

**Antes de seguir**, utiliza lo aprendido

1. En tu cuaderno, clasifica los siguientes hechos según el tipo de evidencia al que corresponde e interprétalos desde la perspectiva evolucionista.

Tipo de evidencia	Hecho	Interpretación
	En el desierto de Atacama se han hallado fósiles de ictiosaurio, un reptil marino, de una antigüedad de 160 millones de años, así como de especies de ballenas, de una antigüedad de siete millones de años.	
	La comparación de la secuencia de aminoácidos del citocromo c, proteína mitocondrial, da como resultado que solo hay un aminoácido diferente entre el chimpancé y el ser humano, mientras que hay doce aminoácidos diferentes entre el citocromo c del caballo y del humano.	

2. Reúnete con tres compañeros para discutir y concluir acerca de las siguientes preguntas:
  - a. Tras el estudio de esta lección, ¿piensan que las evidencias mostradas son suficientes para confirmar que la evolución es un hecho? Expliquen.
  - b. Escriban un ranquin con las tres mejores evidencias que, a su juicio, comprueban la existencia de la evolución. Fundamenten su elección.

## Uso de un modelo para estudiar la selección natural

Algunos procesos biológicos pueden ser estudiados mediante **simulaciones** y **modelos**. Una ventaja de los modelos es que permiten trabajar de forma práctica con conceptos abstractos, así como describir, explicar y predecir resultados. Las desventajas son los supuestos que deben asumirse para poder utilizarlos. En general, se presuponen ciertas situaciones para que el modelo sea más simple que la realidad. A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos pueden ser comparados con lo que ocurre en la naturaleza.

A continuación, te proponemos que junto con tres o cuatro compañeros construyas un modelo para simular el proceso de selección natural.

### Materiales

Cuatro cartulinas (verde, roja, azul y amarilla), una regla, una tijera, una perforadora, un cronómetro o reloj con segundero y cuatro bolsas.

### Procedimiento

1. Recorten, de cada cartulina, un cuadrado de 30 cm de lado y guárdenlo.
2. Con el resto de la cartulina y utilizando una perforadora, hagan 50 círculos de cada color y guárdenlos en bolsas separadas.
3. Tomen 30 círculos verdes y 30 rojos y póngalos, con el color hacia arriba, sobre el cuadrado verde; intentando que queden bien mezclados pero no superpuestos.
4. Agreguen a las bolsas (donde quedaron 20 círculos verdes y 20 rojos), 5 círculos azules en cada una y 5 amarillos en cada una, y después agítenlas para mezclar los colores. (Guarden las bolsas con el resto de azules y amarillos, las usarán después).

 X 30

 X 30



▲ Paso 3.



▲ Bolsa de círculos verdes.



▲ Bolsa de círculos rojos.



▲ Bolsa de círculos azules.



▲ Bolsa de círculos amarillos.

5. Ahora, simularán la captura de los círculos. Cuando esté todo listo, uno de ustedes, "el predador", se sentará frente al cuadrado verde y tomará durante 30 segundos todos los círculos que pueda, de a uno (no vale de a muchos ni arrastrarlos).

6. Pasado el tiempo señalado, asegúrense de que “el predador” se aleje y no vea lo que sigue. Cuenten los círculos que capturó de cada color y calculen cuántos quedaron.
7. Ahora, simularán que los que quedaron se reproducen. Para ello, dividan en dos la cantidad de círculos de cada color que hay sobre la cartulina verde, y agreguen ese número de círculos (igual a la mitad de cada color, si es necesario aproximen la cifra). Saquen los círculos sin mirar desde la bolsa respectiva de círculos rojos o verdes. Si al sacar círculos de las bolsitas de rojos o verdes, salen amarillos o azules, esto es parte del juego.
8. Una vez hecho esto, completen la tabla en la columna “generación uno”. Háganlo escribiendo la cantidad de círculos de cada color y su porcentaje correspondiente. Sigán el modelo de la columna “generación cero”.
9. Repitan los pasos 5 a 7 dos veces más. Importante: si quedan círculos azules y/o amarillos, estos también se reproducirán y para ello deberán utilizar las bolsas respectivas con los círculos de colores.

Color	Generación							
	Cero		Uno		Dos		Tres	
	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%	Cantidad	%
Rojo	30	50						
Verde	30	50						
Amarillo								
Azul								
<b>Total</b>	60	100		100		100		100

### Interpretación de datos y conclusiones

- a. ¿Qué representan los círculos y los fondos de diferentes colores?
- b. Construyan un gráfico que muestre la variación del porcentaje de círculos de cada color en las distintas generaciones, ¿qué conclusiones sacan? ¿Qué supuestos usaron?
- c. Repitan todos los pasos desde el principio, pero usando primero el fondo rojo y luego el amarillo. Comparen los resultados y conclusiones con el procedimiento anterior.



### Organiza lo que sabes

En tu cuaderno, diseña un organizador gráfico usando al menos diez de los conceptos de esta lista. Este organizador representará lo que has aprendido.

adaptación

divergencia evolutiva

evolución

genes Hox

evolucionismo

diversidad biológica

ADN

novedades evolutivas

biogeografía

especiación

fijismo

teoría catastrofista

convergencia evolutiva

especie biológica

fósil

uniformismo

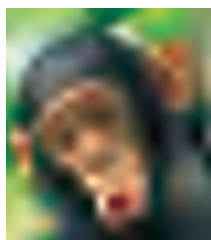
### Evaluación de proceso

1. Contrasta las explicaciones fijista y evolucionista al responder las siguientes preguntas: (10 puntos).
  - a. ¿Cuál es la explicación fijista y evolucionista para el fenómeno de la biodiversidad?
  - b. ¿En qué se basan las evidencias que sustentan las ideas fijistas y evolucionistas?
  - c. Ponte en el lugar de cada científico para contestar las preguntas de la tabla.

Pregunta	¿Qué hubiera contestado?...
¿Cómo eran las especies que habitaron tu región hace miles de años?	<b>C. Linneo:</b>
¿Por qué hay fósiles de moluscos marinos en la cordillera de los Andes?	<b>G. Cuvier:</b>
¿Cómo se formaron las montañas, valles y otras características del relieve de Chile?	<b>J. Hutton:</b>
¿Por qué en Chile existen tantas especies diferentes?	<b>C. Darwin:</b>

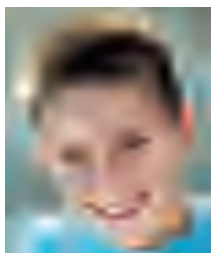


2. Identifica e interpreta las evidencias el proceso evolutivo en las preguntas. (5 puntos).
- Observa las imágenes e indica: ¿qué disciplinas científicas dan una interpretación evolutiva a la huella de dinosaurio y a las secuencias de ADN?
  - Escribe dos interpretaciones a partir del análisis de la huella de dinosaurio y de las secuencias de ADN.



**Chimpancé**

CGTGCACTGTGACAAGCTG  
CACGTGGATCCTGAGAAC



**Ser humano**

GCTGCACTGTGACAAGCTG  
CACGTGGATCCTGAGAAC

▲ Secuencias de ADN.



▲ Huella de dinosaurio.

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Comparar las principales explicaciones del fenómeno de la diversidad biológica.	1	_____/10	<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100px;"> <div style="width: 25%; height: 15px; background-color: #f44336;"></div> <div style="width: 25%; height: 15px; background-color: #ffc107;"></div> <div style="width: 25%; height: 15px; background-color: #4caf50;"></div> <div style="width: 25%; height: 15px; background-color: #4caf50;"></div> </div>
Identificar e interpretar las evidencias que prueban que los seres vivos han cambiado en el tiempo.	2	_____/5	<div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100px;"> <div style="width: 25%; height: 15px; background-color: #f44336;"></div> <div style="width: 25%; height: 15px; background-color: #ffc107;"></div> <div style="width: 25%; height: 15px; background-color: #4caf50;"></div> <div style="width: 25%; height: 15px; background-color: #4caf50;"></div> </div>

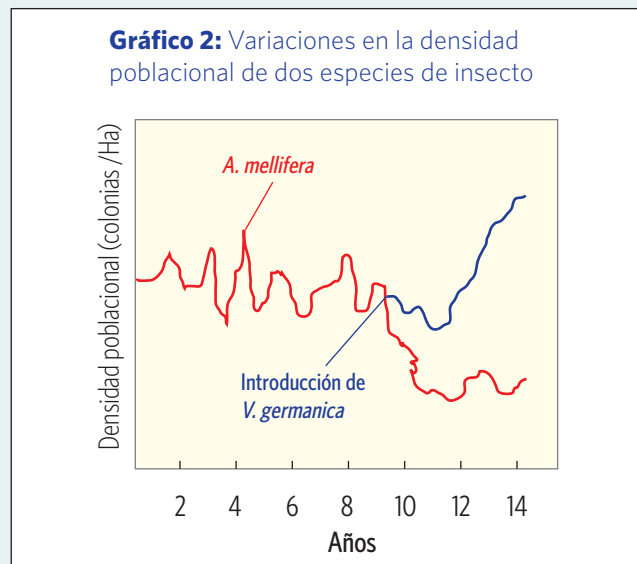
- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

## ¿Cómo ocurre la evolución?

➔ **Debes recordar:** Factores que afectan los atributos de una población - Competencia y depredación

### Trabaja con lo que sabes

1. Supongamos que se registraron durante 14 años las variaciones de la cantidad de colonias por hectárea de la población de abejas (*Apis mellifera*) antes y después de la introducción de la avispa chaqueta amarilla (*Vespa germanica*) en un ecosistema. Analiza el gráfico y contesta las preguntas.
  - a. Un estudiante piensa que la variación de la densidad de ambas poblaciones se debe a la competencia entre las dos especies, y otro considera que es consecuencia de una relación de depredación. ¿Te parecen coherentes ambas hipótesis?, ¿por qué?
  - b. Propón un diseño experimental que permita poner a prueba ambas hipótesis.
  - c. ¿Qué criterios usas para identificar lo propuesto por ambos estudiantes como una hipótesis, y no como una teoría o una inferencia?



### Propósito de la lección

En la lección anterior conociste las evidencias científicas que demuestran que la evolución existe. En esta lección, conocerás los antecedentes y las ideas centrales de una teoría que intenta explicarla. Quizás sea una de las ideas científicas más importantes, por su impacto en la ciencia y en la cultura en general.

## 1. Antecedentes de la teoría de la evolución mediante selección natural de Darwin y Wallace

La ciencia de la Edad Contemporánea, en la que surge la teoría de la selección natural, es fruto de la Revolución científica ocurrida en la Edad Moderna. En este último período histórico nace el método científico, que establece que solo por medio de la experiencia, la observación y el razonamiento se puede conocer la naturaleza.

En este contexto, las evidencias acumuladas convencieron a buena parte de los científicos de que la evolución es un hecho y que es la causa de la diversidad de especies que habitan el planeta. Pero ¿cómo funciona la evolución? Esta es la gran pregunta que buscan responder las teorías de Darwin.

### Apunte

**Hipótesis:** es una idea que puede ser comprobada.

**Teoría científica:** es una explicación de un fenómeno natural más amplio, en comparación con lo que hace una inferencia. Es predictiva y se construye a partir de la verificación de hipótesis.

## 1.1 Ideas previas

Varias de las ideas de Darwin y Wallace ya habían sido propuestas por otros pensadores, cuyos planteamientos se resumen a continuación.

- **Emmanuel Kant** (1724-1804). Filósofo alemán que propuso que los organismos debían tener un ancestro común.
- **Pierre Louis Moreau** (1698-1759). Filósofo y científico francés que postuló que la evolución ocurre por selección natural.
- **Erasmus Darwin** (1731-1802). Médico inglés que explicó la importancia que tiene para la evolución la competencia entre los organismos y el hecho de que solo algunos de ellos logren reproducirse.
- **Thomas Malthus** (1766-1834). Economista inglés que supuso que la población humana crece más rápido que la producción de alimentos. Aunque sus ideas no se basaban en datos, influyeron en que Darwin pensara que en las poblaciones de seres vivos la lucha por la sobrevivencia es constante.
- **Jean B. Lamarck** (1744-1829). Naturalista francés que formuló la primera teoría sobre la evolución, conocida como **transformismo** o **lamarckismo**, según la cual una especie origina a otra. Esta teoría le da un papel preponderante al ambiente y su relación con los organismos. Explica que los organismos tienen un impulso interno hacia la perfección que los lleva a adaptarse a las condiciones ambientales, gracias a la **herencia de caracteres adquiridos**. Es decir, durante su vida, los organismos van modificando sus rasgos por el uso o el desuso de sus órganos, características que luego heredan a su descendencia, como el perezoso de la imagen.

Los conocimientos posteriores sobre genética llevaron a descartar la teoría de Lamarck, ya que los caracteres adquiridos no se transmiten a la descendencia, sino que solo se heredan aquellos caracteres cuya información reside en los genes.

De manera similar a la teoría de la evolución, las ideas científicas se construyen usando el conocimiento acumulado por la cultura. Uno de los méritos de Darwin fue analizar, seleccionar, organizar y aplicar estos antecedentes en una teoría que pudiera explicar cómo sucede la evolución de los organismos.

### Actividad 3 Aplicar el...

#### Lamarckismo o transformismo

Si una persona se entrena durante años y desarrolla una masa muscular atlética, ¿qué tipo de característica sería esta: adquirida o heredada? Según el lamarckismo, si posteriormente esta persona tiene hijos, ¿les heredaría esta característica a sus descendientes? Explica.



- ▲ Una explicación lamarckiana. Los brazos de los perezosos son muy largos, debido a que estos animales permanecen gran parte del tiempo colgados de las ramas.

### Inter@ctividad

- Identifica los principios del lamarckismo en el famoso ejemplo de las jirafas. Ingresa a [www.recursostic.cl/lbm153](http://www.recursostic.cl/lbm153).

### Conexión con

#### Historia

Darwin nació en Inglaterra, en 1809. En esa época, su país era una potencia colonialista, se estaba desarrollando la Primera Revolución Industrial y se impuso en todo Occidente el capitalismo como sistema económico.

## Inter@ctividad

- Ingresa a [www.recursostic.cl/lbm154](http://www.recursostic.cl/lbm154) y conoce aspectos del paso de Darwin por nuestro país. Luego, haz un listado con las principales observaciones que realizó.

## 1.2 El viaje de Darwin

Al iniciar su viaje alrededor del mundo, a bordo del HMS Beagle, Darwin era partidario del creacionismo. Sin embargo, al finalizar esta travesía comenzó a pensar en la posibilidad de que las especies evolucionaran. ¿Por qué cambió de opinión? Se sabe que durante su viaje, Darwin leyó el libro *Principios de geología* de Charles Lyell, el defensor del uniformismo que ya conociste en la primera lección. Al parecer, esto influyó en que Darwin pensara en la idea de sucesión y cambio gradual a lo largo del tiempo. A continuación, se resumen algunas de las observaciones de Darwin y sus interpretaciones.

Observaciones	Interpretación
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En América recolectó numerosos fósiles de mamíferos de especies extintas, pero semejantes a especies actuales. Por ejemplo, los gliptodontes (lección 2) se asemejan a los actuales armadillos.</li> <li>• Observó que hay especies que son exclusivas de ciertas regiones, como los hipopótamos en África.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si las especies no son suficientemente aptas para afrontar cambios ambientales y la competencia con otras especies, no permanecerán.</li> <li>• La distribución de la diversidad de organismos en las diferentes regiones del planeta se explica por cómo se transforman gradualmente los linajes evolutivos en cada región.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En las islas que visitó, encontró menos especies endémicas, o exclusivas del lugar, que en el continente cercano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La mayor parte de las especies de las islas habrían migrado desde el continente; por lo tanto, no habían sido creadas en estos sitios.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• En las islas Galápagos, encontró diferentes especies de pinzones, cada una con una forma de pico diferente, pero parecidas a una especie que vivía en el continente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La forma del pico está adaptada al tipo de alimentación.</li> <li>• Una especie de pinzón continental migró a las islas y se transformó en el ancestro común de las especies de pinzones. Ahí operó un proceso evolutivo que llevó a las poblaciones a adaptarse al tipo de alimento que había en cada isla.</li> </ul>

Terminada la expedición, Darwin trabajó durante años organizando todos los datos que había recogido durante el viaje y comenzó a elaborar su teoría, en un contexto cultural en el que accedió a las ideas económicas y sociales de Malthus y contó con los importantes aportes de Lamarck.

## 2. Teoría de la evolución mediante selección natural

Darwin observó que los granjeros practicaban un procedimiento llamado **selección artificial** para obtener plantas y animales con las características que ellos deseaban. La selección artificial consiste en elegir a los individuos reproductores por poseer alguna característica interesante, y que la cría hereda. Repitiendo el proceso por varias generaciones, es posible obtener diferentes razas o variedades de animales o vegetales. A Darwin se le ocurrió que en la naturaleza podía suceder un proceso similar, pero en este caso la selección la realizaría el **ambiente**, razón por la cual lo llamó **selección natural**.

En 1858, Darwin recibió una carta del naturalista británico Alfred Wallace en la que expresaba sus ideas sobre la evolución de las especies y la selección natural. Con esto confirmó sus propias ideas, pero además entendió que su trabajo corría riesgo de no ser considerado original. Esto lo impulsó a terminar el libro *El origen de las especies*, en el que explicaba la teoría de la evolución mediante selección natural.

### 2.1 Ideas centrales de la teoría de la evolución mediante selección natural

Las ideas centrales de esta teoría son:

- **Evolucionismo.** Las cualidades del mundo no son fijas. Las especies cambian permanentemente, algunas se extinguen y otras se originan.
- **Gradualismo.** Los cambios evolutivos ocurren poco a poco y continuamente, y no de manera repentina.
- **Origen común.** A partir de una especie se pueden producir distintos linajes evolutivos por un proceso continuo de ramificación, que gráficamente se asemeja a un árbol.
- **Selección natural.** Aunque consideraban que era posible la evolución por la herencia de caracteres adquiridos, Darwin y Wallace afirmaron que la causa principal de la evolución es la selección natural. Para que esta funcione, deben darse cuatro condiciones en una población: **variabilidad**, **presión de selección**, **reproducción diferencial** y **herencia**. En la página siguiente se ilustra con un ejemplo cómo actúa la selección natural.



- ▲ Un ejemplo de variabilidad es la coloración de las alas de la "chinita" (*Harmonia axyridis*).

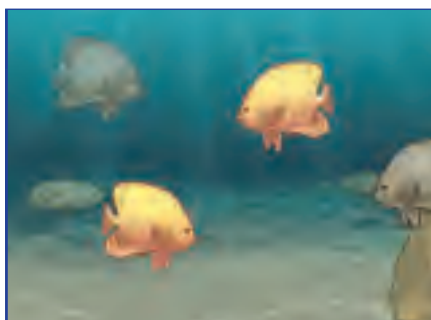
#### Para saber +

- Como producto de la selección artificial, se obtienen variedades de cultivos con mayor rendimiento de granos y animales que producen más leche y carne.



- ▲ C. Darwin, a la izquierda, y A. Wallace, con investigaciones independientes, llegaron a las mismas conclusiones sobre las causas de la evolución.

## 2.2 Ejemplo del efecto de la selección natural en una población de peces



### Variabilidad

No todos los individuos de una población son iguales. Hay diversidad de rasgos morfológicos, fisiológicos y de comportamiento en una población, ocasionada por procesos azarosos. Por ejemplo, en esta población de peces existen individuos claros y otros oscuros.



### Presión de selección y reproducción diferencial

Algunos individuos se reproducen más que otros, como resultado de factores ambientales que se oponen a la sobrevivencia y a la reproducción de los individuos con todo su potencial. Presiones de selección son la disponibilidad de recursos, la presencia de depredadores y las enfermedades. En el ejemplo, el depredador come una mayor cantidad de peces claros, por lo tanto, estos viven menos y dejan menos descendencia que los peces oscuros.



### Herencia

Las leyes de la herencia hacen que las crías se parezcan a sus padres. De esta forma, los rasgos favorables se heredan. En este caso, a partir de los peces oscuros, es más probable que nazcan más peces oscuros. ¿Y cuál es el resultado de la evolución de la población? La característica ventajosa, que en nuestro ejemplo es el color oscuro, permite a los peces de esta tonalidad dejar más descendencia y este rasgo se vuelve más frecuente en la población. Si este proceso continúa sin cambios, finalmente todos los peces serán oscuros.

### Actividad 4 Predecir e inferir sobre la...

#### Importancia de la variabilidad

Lee la siguiente información y luego responde las preguntas que se plantean.

En 1849, los cultivos de papas en Irlanda, el principal alimento de la población, fueron destruidos por un hongo, y como resultado, miles de personas murieron de hambre y millones emigraron. ¿Por qué todas las papas fueron afectadas? Se debió a que en Irlanda se cultivaba solo una variedad de papas y estas eran reproducidas asexualmente, por lo que todas las plantas eran idénticas genéticamente. Así, cuando el hongo infectó a algunos cultivos, pudo propagarse fácilmente por los de todo el país.

- En Chile hay más de cien tipos de papas, ¿qué podría ocurrir si los agricultores decidieran producir solo una variedad?
- ¿Por qué América tiene una mayor diversidad de papas que Europa?

## 2.3 Preguntas frecuentes acerca de la evolución mediante selección natural

A continuación se incluyen las respuestas a algunas de las preguntas frecuentes sobre la manera en que funciona la evolución, según la teoría de la evolución mediante selección natural.

### 1 ¿La selección natural ocurre al azar?

La selección natural no es aleatoria. Por ejemplo, las condiciones de un ambiente desértico excluirán a aquellos animales que no tengan rasgos adaptativos que les permitan resistir la deshidratación y el calor. Los organismos que sobreviven tienen más descendencia y esto no es azaroso.



### 3 ¿Solo los individuos más fuertes son exitosos?

Los organismos exitosos son los que logran una mayor **eficacia biológica**, es decir, que dejan más descendencia que otros individuos. Esto depende de su capacidad para sobrevivir, encontrar pareja y reproducirse. No necesariamente ser el más fuerte, el más grande o el más rápido es sinónimo de éxito.



### 4 ¿Los organismos evolucionan para ser perfectos?

No hay organismos perfectos. La selección natural permite que los organismos suficientemente aptos puedan sobrevivir y dejar descendencia.



### 2 ¿Quién selecciona a los organismos que sobreviven?

No es que exista "alguien" que ejerza una fuerza de selección. Lo que existe es un conjunto de factores ambientales que son responsables de la **eliminación no aleatoria** o no azarosa de algunos individuos de la población. Los depredadores, como la mantis, son un importante factor ambiental de selección.



### 5 ¿Por qué las especies en peligro de extinción no se adaptan para sobrevivir?

Los organismos no evolucionan a voluntad para satisfacer una necesidad. Si una especie no tiene la variabilidad para desarrollar un carácter necesario para sobrevivir, puede extinguirse.



## Minitaller

**Obtención e interpretación de datos y planteamiento de hipótesis**

Algunas características fenotípicas tienen pocos estados posibles (**característica fenotípica discreta**), como por ejemplo, la coloración de las alas de las chinitas, pues solo aparecen algunos colores, o el sexo, que presenta dos posibilidades: hembra o macho. En cambio, otras características, como la masa corporal, pueden variar dentro de un rango de valores (**características fenotípicas continuas**).

Lo que debes hacer:

1. Reunidos en grupo, hagan una lista de características fenotípicas humanas y clasifíquenlas en discretas o continuas. Luego, elijan una característica de cada categoría y cuantifiquen sus variedades presentes en el curso, que será su modelo de población biológica. Registren los datos en tablas y gráfíquenlos en su cuaderno.
2. Interpreten ambos gráficos y respondan las siguientes preguntas en su cuaderno.
  - a. Si tomaran una muestra al azar de la población, ¿cuáles serían los rasgos fenotípicos más y menos probables que tendrían los individuos de esa muestra?
  - b. ¿Qué factores pueden ocasionar una variación en las proporciones de las características fenotípicas en la siguiente generación?
  - c. Si solo los individuos de los extremos del gráfico de la característica fenotípica continua dejaran descendencia, ¿cómo serían las siguientes generaciones?

140



Opina acerca de la importancia de la teoría de la evolución de Darwin, en no más de 140 caracteres.

**2.4 Impacto científico de la teoría de la evolución de Darwin**

Como has visto, la teoría de la evolución de Darwin y Wallace es producto de un contexto histórico y cultural, pero también influye en él. Conozcamos algunos efectos de esta teoría en la sociedad y en las ciencias biológicas.

- Algunos científicos y pensadores interpretaron las ideas darwinianas para justificar sus prejuicios contra las minorías, las mujeres, los desamparados o contra ciertas razas, a las que consideraban inferiores, indicando que sus individuos eran menos aptos. La aplicación que hicieron de estas ideas en programas sociales, económicos y políticos es el llamado **darwinismo social**. Hoy, la ciencia lo ha desacreditado completamente.
- La teoría de Darwin y Wallace da una base sólida para teorías evolutivas más completas.
- La biología da un paso más para convertirse en una ciencia moderna, al abandonar las explicaciones supernaturales y sustituirlas por aquellas basadas en la naturaleza. Por ejemplo, se abandonan ideas como el impulso interno hacia la perfección, propuesta por Lamarck.
- Se consigue una teoría que unifica la biología, pues todos los fenómenos biológicos pueden ser comprendidos y explicados empleando la teoría de la evolución.



## 2.5 Aplicaciones de la teoría de la evolución de Darwin

### Medicina

Gracias a la comprensión de la evolución de los agentes patógenos (resistencia a los antibióticos), se ha logrado el desarrollo de nuevos medicamentos, vacunas y tratamientos que permiten un mejor control de enfermedades.



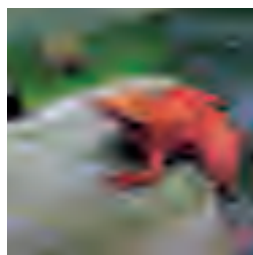
### Producción de alimentos

Al comprender el cuidado que se debe tener al preservar la variabilidad de las especies de plantas y animales y al seleccionar artificialmente sus características. Por ejemplo, la coliflor, el brócoli y el repollo surgieron por selección artificial a partir de la planta de mostaza silvestre.



### Conservación

Conocer la historia evolutiva de una especie y su relación con el ambiente puede ayudar a mejorar las políticas de conservación de las especies amenazadas, como la ranita de Darwin.



Gentileza de Juan Carlos Pacheco A.

**Antes de seguir**, utiliza lo aprendido

1. Compara la teoría de Lamarck con la de Darwin y Wallace, contestando sí o no a las siguientes preguntas:

Pregunta	Teoría lamarckista o transformista	Teoría de la evolución mediante selección natural
¿El ambiente influye en la evolución?		
¿Una especie puede formar otra?		
¿Los organismos evolucionan hacia la perfección?		
¿Utiliza explicaciones supernaturales?		

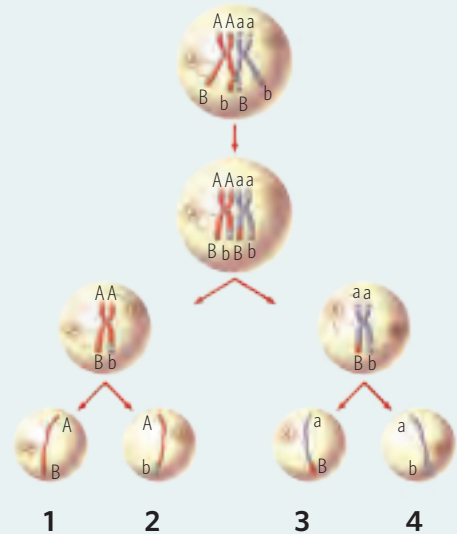
2. Vuelve a revisar la sección *Trabaja con lo que sabes* y contesta, aplicando la teoría de Darwin y Wallace, la siguiente pregunta: ¿por qué la introducción de nuevas especies a un ecosistema, como la avispa chaqueta amarilla, puede ser perjudicial para las especies nativas?
3. Predice dos posibles destinos evolutivos de la población de peces, usada como modelo de selección natural en la página 156, si llega un nuevo depredador que come más peces oscuros que peces claros. Explica tus predicciones, considerando las condiciones necesarias para que opere la selección natural.
4. ¿Cuáles son los impactos y aplicaciones de la teoría de la evolución de Darwin y Wallace que te parecen más importantes?, ¿por qué?

# ¿Han cambiado las teorías evolutivas?

➔ **Debes recordar: Leyes de Mendel - Meiosis y variabilidad**

## Trabaja con lo que sabes

- La imagen muestra el comportamiento de un par de cromosomas homólogos y de dos pares de genes alelos, con dominancia completa, durante la meiosis de una célula germinal de una planta. Los genes llevan información para los siguientes rasgos: **A**: hojas redondeadas, **a**: hojas alargadas, **B**: flores amarillas y **b**: flores rojas.
  - ¿Cuál es el fenotipo de la planta de la generación parental?
  - ¿Cuál sería el fenotipo de la planta si se fecundaran los siguientes gametos: 1 y 2; 2 y 4 y 3 y 4?
- Durante la meiosis I ocurre la asociación independiente de los cromosomas homólogos. ¿Con qué principio mendeliano se vincula este proceso?
- Explica la manera en que el entrecruzamiento y la asociación independiente contribuyen a aumentar la variabilidad.



## Propósito de la lección

En muchas ocasiones el desarrollo de la ciencia permite el surgimiento de nuevas ideas a partir de otras ya demostradas. De esta forma, la teoría de la evolución de Darwin y Wallace es la idea común para otras teorías evolutivas. En esta lección conocerás dos de ellas.

### 1. Teoría sintética de la evolución

Los descubrimientos hechos en diferentes áreas de la biología fueron sintetizados entre los años 1930 y 1940 en una sola teoría basada en las ideas de Darwin y Wallace, de allí su nombre de **teoría sintética**. A continuación se enuncian sus ideas principales.

- **Rechaza el lamarckismo.** La teoría sintética no acepta la teoría de los caracteres adquiridos.
- **La variabilidad genética se debe a dos procesos: la mutación y la recombinación.** En los individuos con reproducción asexual, la única fuente de variabilidad son las mutaciones. En individuos con reproducción sexual, interviene además, el proceso de recombinación génica.
- **La selección natural actúa sobre la variabilidad genética.** Cada individuo en una población es portador de distintos alelos responsables de su fenotipo. La selección natural actúa sobre estas variedades de genes.

- **Evoluciona la población, no los individuos.** Una población contiene un conjunto y variedad de alelos, presentes en cierta frecuencia o proporción. Al variar esta última ocurre la evolución.
- **La selección natural conduce a cambios en el conjunto de alelos de una población.** Los alelos que den a los individuos que los portan un fenotipo ventajoso incrementarán su frecuencia en la población.
- **La evolución se produce de manera gradual.** La evolución es el resultado de pequeños cambios en las frecuencias de diferentes alelos de una población. El proceso para que aparezca una nueva especie es muy largo.

		
<p>Entre los antecesores de las jirafas, que eran animales con las patas y el cuello cortos, las mutaciones originadas al azar producirían individuos con las patas y el cuello más largos.</p>	<p>Ante condiciones cambiantes del medio, como una sequía prolongada, el alimento escasea. La mutación se muestra beneficiosa y los individuos que la poseen y sus descendientes tendrán ventajas frente al resto.</p>	<p>La selección natural facilita la supervivencia de los individuos que poseen la ventaja adaptativa. Se reproducirán más, y con el tiempo la mutación aumentará su frecuencia en la población.</p>

## 2. Teoría del equilibrio puntuado

En 1972, los paleontólogos estadounidenses Niles Eldredge y Stephen J. Gould propusieron la teoría del equilibrio puntuado, que es una alternativa al gradualismo neodarwinista. Ellos observaron que en el registro fósil predominan casos en los que de pronto aparecen en gran cantidad especies nuevas, que se mantienen prácticamente sin cambios durante mucho tiempo y súbitamente desaparecen del registro fósil. Según esta teoría, los cambios evolutivos que llevan a la especiación son graduales, pero su ritmo no es constante como postula la teoría sintética, sino que pueden suceder bruscamente. También propone que pueden formarse muchos linajes evolutivos a partir de una especie ancestral, ya que la especiación no sigue una sola línea evolutiva, como afirma la teoría sintética.

**Antes de seguir,** utiliza lo aprendido

1. El registro fósil muestra que en el planeta han ocurrido cinco extinciones masivas, tras las cuales hubo un rápido aumento de la biodiversidad. ¿Qué teoría evolutiva explica mejor este hecho? Fundamenta.
2. Últimamente se ha detectado un incremento de insectos parásitos resistentes a los insecticidas. Propón dos hipótesis basadas en la teoría sintética que explique este fenómeno.



## Selección natural y salud

La medicina evolutiva es un enfoque distinto y complementario al de la medicina tradicional, que surge a inicios de la década de 1990. En ella se aplican los principios de la biología evolutiva a los problemas médicos, lo que permite encontrar nuevas explicaciones y soluciones. Entre las líneas de trabajo de la medicina evolutiva, está comprender la acción de la selección natural (SN) sobre el ser humano y por qué esta hizo vulnerable nuestro cuerpo a las enfermedades.

En primer lugar, se considera que el genoma y fenotipos de nuestra especie responden al estilo de vida de cazador-recolector que desarrollaron los homínidos (y nuestra especie entre ellos) durante el período Paleolítico, que se extendió desde

2,5 millones de años atrás hasta hace 10 000 años. Como el actual estilo de vida es muy diferente, es comprensible que se produzca una disociación entre nuestros genes y nuestra forma de vida, con el consiguiente desarrollo de enfermedades, como la hipertensión, la obesidad y la diabetes. Por ejemplo, nuestro cuerpo no está diseñado para estar sentado todo el día ni para alimentarse con comida chatarra.

Investigadores han comparado una supuesta dieta de los cazadores recolectores del Paleolítico con la de un individuo de una sociedad moderna industrializada, considerando las recomendaciones diarias dadas por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Los datos se presentan en la siguiente tabla.

**Tabla 1:** Dieta paleolítica comparada con la dieta actual.

	Dieta paleolítica	Dieta actual	Dieta USDA
<b>Energía total (%)</b>			
Proteínas	34	12	17
Carbohidratos	45	46	53
Grasas	21	42	30
<b>Colesterol (mg)</b>	559	600	210
<b>Fibras (g)</b>	46	20	31
<b>Sodio (mg)</b>	666	4600	1450
<b>Calcio (mg)</b>	1624	740	1400
<b>Vitamina C (mg)</b>	405	88	190



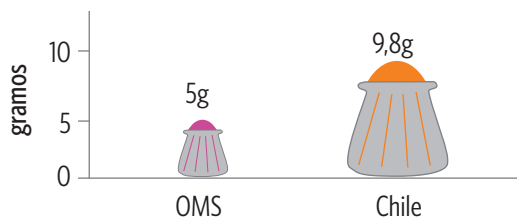
Fuente: Doval, H. (2005). La selección genética programó nuestra alimentación ¿deberíamos volver a la alimentación del hombre paleolítico? *Revista argentina de cardiología*, V. 73, (3).

Se sabe que el alto consumo de colesterol, de grasas saturadas y de sodio son factores de riesgo para las enfermedades cardiovasculares. Se sospecha que los humanos del Paleolítico sufrían menos de este tipo de enfermedades que los de las sociedades industrializadas de hoy. Aunque su consumo diario de colesterol podría haber sido similar al nuestro, la carne de los animales salvajes y las semillas que habrían consumido

eran ricas en ácidos grasos poliinsaturados, esto junto a la alta ingesta de fibra y vitamina C disminuirían el efecto nocivo del colesterol. Además, habrían mantenido un bajo consumo de sodio y una actividad física regular. A partir de estas investigaciones, se intenta explicar el alza de enfermedades cardiovasculares en las sociedades modernas y elaborar posibles soluciones nutricionales y conductuales.

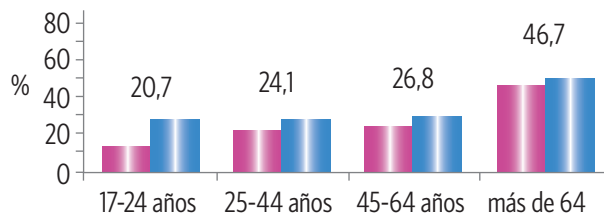
A continuación se presentan algunas estadísticas de nuestro país, obtenidas de la Encuesta Nacional de Salud Chile 2009-2010, asociadas a interpretaciones propias de la medicina evolutiva.

**Gráfico 3:** Consumo de sal en gramos.



La selección natural (SN) nos ha generado un gusto por los alimentos salados, dado que en el Paleolítico nos era difícil obtenerlos.

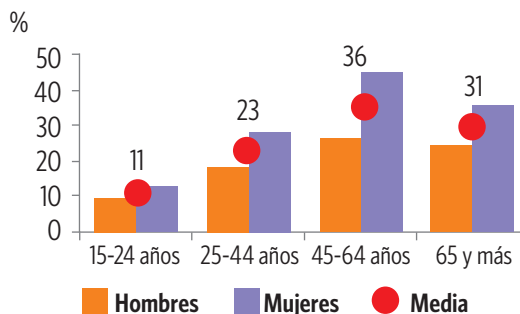
**Gráfico 4:** Sedentarismo en la población.



Nuestros ancestros gastaban muchas calorías caminando en busca de alimento, por lo que era adaptativo ahorrar energía.

En el Paleolítico, la SN determinó nuestros sistemas reguladores del apetito preparándonos para las frecuentes hambrunas, por lo que quienes tenían mayor apetito y capacidad para acumular grasas sobrevivían más. Hoy, estos mismos sistemas reguladores del apetito provocan que volvamos a tener sobrepeso tras una dieta hipocalórica, ya que interpretan el periodo de dieta como si fuera una hambruna y, en consecuencia, producen un hambre voraz.

**Gráfico 5:** Prevalencia de obesidad.



### Actividad

- ¿Qué es la medicina evolutiva y cuál es su propósito?
- Desde un punto de vista evolutivo, propón al menos una explicación para cada una de las siguientes observaciones:
  - Los humanos hoy tenemos mayor cantidad de caries que nuestros ancestros.
  - Los huesos de humanos del Paleolítico eran mucho más fuertes y robustos que los de humanos modernos.
  - Las mujeres chilenas, de distintos grupos etarios, tienen una mayor tendencia que los hombres a ser obesas.
- Dadas nuestras tendencias naturales al sedentarismo y a engordar, haz un listado de los hábitos que deberías mantener para prevenir la obesidad y las enfermedades cardiovasculares.

### Fuente

- Spotorno O, A. (2005). Medicina evolucionaria una ciencia básica emergente. *Revista médica de Chile*, V 133(2). Recuperado de [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-98872005000200013](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-98872005000200013).



### Organiza lo que sabes

Revisa en tu cuaderno el organizador gráfico que creaste al responder la Síntesis y *evaluación de proceso* anterior y utilízalo como base para diseñar un nuevo organizador. Incluye en él, al menos, nueve de los conceptos de la siguiente lista. Esta vez, hazlo en una cartulina o papelógrafo para que lo puedas exponer y discutir con tus compañeros.

alelos

lamarckismo

recombinación

teoría sintética

darwinismo social

medicinas

evolución

equilibrio puntuado

mutación

selección natural

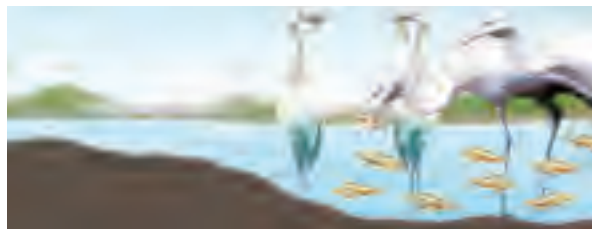
gradualismo

población

variabilidad

### Evaluación de proceso

1. La siguiente secuencia de imágenes, representa el cambio en la longitud de las patas de una población de garzas a lo largo del tiempo. Explica este fenómeno empleando las ideas centrales de la teoría de la evolución mediante selección natural. (4 puntos).



2. Reflexiona acerca de la relevancia de la teoría de la evolución de Darwin y Wallace al contestar las siguientes preguntas. (4 puntos).
  - a. ¿De qué manera la teoría de la evolución de Darwin y Wallace ha influido en el desarrollo científico y en la visión que tiene el ser humano de sí mismo?
  - b. ¿Piensas que es importante estudiar la evolución de las especies? ¿Por qué?

3. Considerando las ideas principales de la teoría sintética, explica la importancia que tienen para la evolución los siguientes procesos: (4 puntos).
  - a. entrecruzamiento o *crossing-over*
  - b. mutaciones
  - c. asociación independiente de los cromosomas homólogos
  - d. cambio de la frecuencia o proporción de alelos en una población
  
4. Parte de las objeciones que se le hicieron a Darwin estaban referidas a que el registro fósil no avalaba su teoría. Al respecto, contesta: (3 puntos).
  - a. ¿Qué característica tiene el registro fósil que no coincide con lo propuesto por Darwin? ¿Cuál fue su explicación?
  - b. ¿Qué interpretación dan S. J. Gould y N. Eldredge, en su teoría del equilibrio puntuado, a esta misma característica del registro fósil?

### Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Explicar las ideas centrales de la teoría de la evolución mediante selección natural.	1	_____/4	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Opinar acerca del impacto cultural que ocasionó la teoría de la evolución de Darwin y Wallace.	2	_____/4	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Explicar las ideas centrales de la teoría sintética de la evolución y del equilibrio puntuado.	3 y 4	_____/7	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

## Lección 1: ¿Cuál es el origen de la diversidad biológica?

- La biodiversidad o diversidad biológica es toda la variación biológica desde el nivel de los genes individuales hasta los ecosistemas. Su origen ha sido explicado por el fijismo y el evolucionismo.
- El fijismo es una idea no científica, que se basa en el creacionismo, para indicar que las especies no han cambiado desde que fueron creadas por Dios.
- El evolucionismo, basado en la interpretación científica de los fenómenos naturales, concluye que la biodiversidad se debe a que las especies cambian a lo largo del tiempo.
- La evolución de las especies es un hecho comprobado y se han formulado distintas teorías para explicarla.

## Lección 2: ¿Cómo sabemos que existe la evolución biológica?

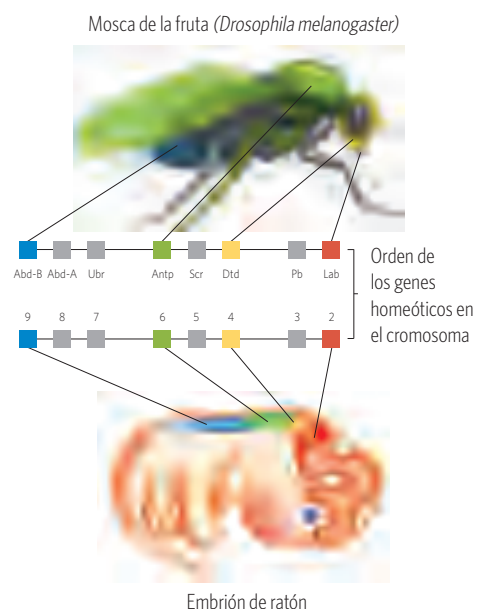
- Diversas disciplinas han aportado evidencias que demuestran que la evolución es un hecho.
- La paleontología, mediante el estudio de fósiles, ha demostrado que la biodiversidad del planeta ha cambiado a lo largo del tiempo geológico.



- Estudios anatómicos comparativos de órganos con una estructura semejante, pero con funciones diferentes, demuestran que las especies han divergido a partir de un ancestro común.



- Investigaciones que relacionan el desarrollo embrionario con la evolución demuestran que los genes que regulan el desarrollo en esta etapa están altamente conservados en animales con simetría bilateral.

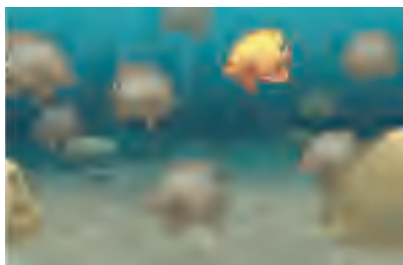


- La biogeografía vincula la distribución de las especies con la evolución. Según esta ciencia, las especies evolucionan de modo semejante cuando habitan un área determinada, mientras que cuando las poblaciones quedan aisladas, tiende a iniciarse un proceso de especiación.
- Mediante análisis moleculares comparativos del ADN y proteínas de distintas especies, se han descubierto sus relaciones filogenéticas.



### Lección 3: ¿Cómo ocurre la evolución?

- La teoría de la evolución mediante selección natural, propuesta por C. Darwin y A. Wallace, es una explicación fundamental del proceso evolutivo. Tiene como antecedentes la teoría transformista de J. B. Lamarck, las ideas económicas de T. Malthus, la idea del gradualismo confirmada por C. Lyell y las ideas de ancestro común y de selección natural propuestas por E. Kant y por P. Moreau, respectivamente.
- La idea central de la teoría de la evolución mediante selección natural es que las especies cambian lenta y gradualmente a lo largo del tiempo, debido a la selección natural. Este es un proceso basado en la existencia de factores ambientales que son responsables de la eliminación no azarosa de algunos individuos de la población.



- Para que opere la selección natural en una población deben darse cuatro condiciones: variabilidad, presión de selección, reproducción diferencial y herencia.

### Lección 4: ¿Han cambiado las teorías evolutivas?

- Desde la publicación de la teoría de la evolución de Darwin y Wallace, se han sumado nuevos conocimientos que han dado lugar a nuevas y más completas explicaciones de cómo ocurre el proceso evolutivo. Las más importantes son la teoría sintética de la evolución y la teoría del equilibrio puntuado.
- La teoría sintética de la evolución se basa en las ideas de Darwin y Wallace e incorpora el aporte de nuevas disciplinas, rechazando el lamarckismo. Sus ideas principales son las siguientes: la variabilidad genética se debe a los procesos de mutación y de recombinación; la selección natural actúa sobre la variabilidad genética y conduce a cambios graduales en el conjunto de alelos de una población, que es la unidad evolutiva.



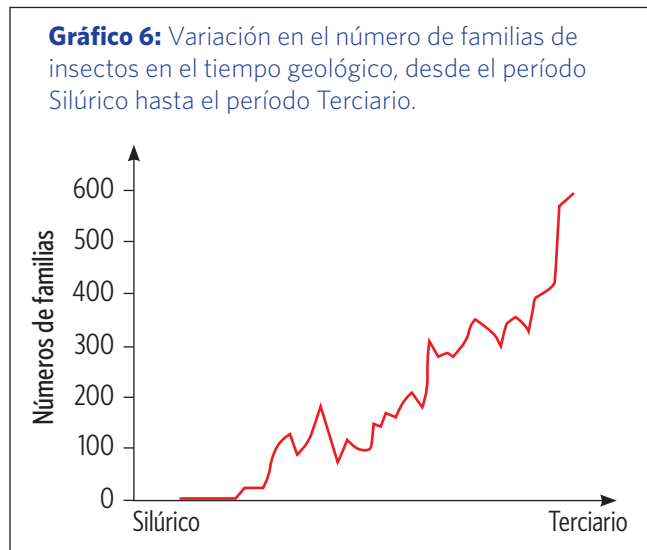
- La teoría del equilibrio puntuado, a diferencia de lo que indica la teoría sintética, propone que los cambios no son siempre graduales, sino que pueden suceder de manera abrupta. Esto explicaría por qué el registro fósil es incompleto.

Utiliza lo aprendido durante esta unidad para contestar las siguientes preguntas.

1. Completa la tabla indicando cuáles de las siguientes ideas constituyen una teoría científica (respondiendo sí o no) y explica tu respuesta. (6 puntos).

Idea	Sí/No	Explicación
Fijismo		
Creacionismo		
Teoría transformista o lamarckismo		
Teoría de la evolución mediante selección natural		
Teoría sintética de la evolución		
Teoría del equilibrio puntuado		

2. Analiza el siguiente gráfico y responde las preguntas. (3 puntos).



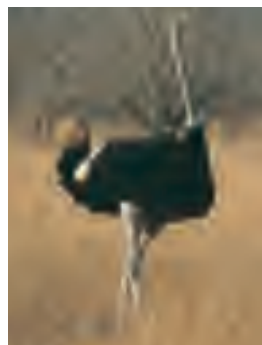
Fuente: Futuyuma, D. *Evolution*. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. 2005.

- a. ¿Qué ha ocurrido con la cantidad de familias de insectos a lo largo del tiempo geológico?
  - b. La información que presenta el gráfico, ¿apoya las ideas fijistas o las teorías evolutivas? Fundamenta y discute con un compañero.
3. Se comparó el ADN de tres especies de primates: el ser humano, el gorila y el chimpancé. Se encontró que existía un mayor número de diferencias entre el gorila y el humano, que entre el humano y el chimpancé. Con estos datos, ¿qué conclusión puedes sacar respecto de la filogenia de nuestra especie? (2 puntos).

4. El ñandú sudamericano y el avestruz africano son dos tipos de aves no voladoras. Suponiendo que tienen un ancestro común, ¿cómo explicarías su distribución actual? (2 puntos).



▲ Ñandú.



▲ Avestruz.

5. En la siguiente tabla, identifica cada par de estructuras con una letra **A**, si corresponden a estructuras análogas; con una **H** si son homólogas, con una **C** si se trata de una convergencia evolutiva y con una **D** si se trata de una divergencia evolutiva. (2 puntos).

Estructura 1	Estructura 2	A/H	C/D
Ojos compuestos de los insectos	Ojos en cámara de los mamíferos		
Patas delanteras de los caballos	Brazos humanos		
Escamas de los reptiles	Plumas de las aves		
Alas de los murciélagos	Alas de los zancudos		

6. Observa las imágenes de fósiles y responde las siguientes preguntas: (5 puntos).

A



B



- ¿A qué tipo de fósil corresponde cada una?
- Si el fósil de la imagen A tiene una antigüedad de 120 millones de años, ¿qué conclusiones puedes obtener respecto de la evolución de los insectos y las condiciones del ambiente?
- Observa la imagen B, ¿qué características del ser vivo se podrían inferir a partir del análisis de la huella fosilizada?

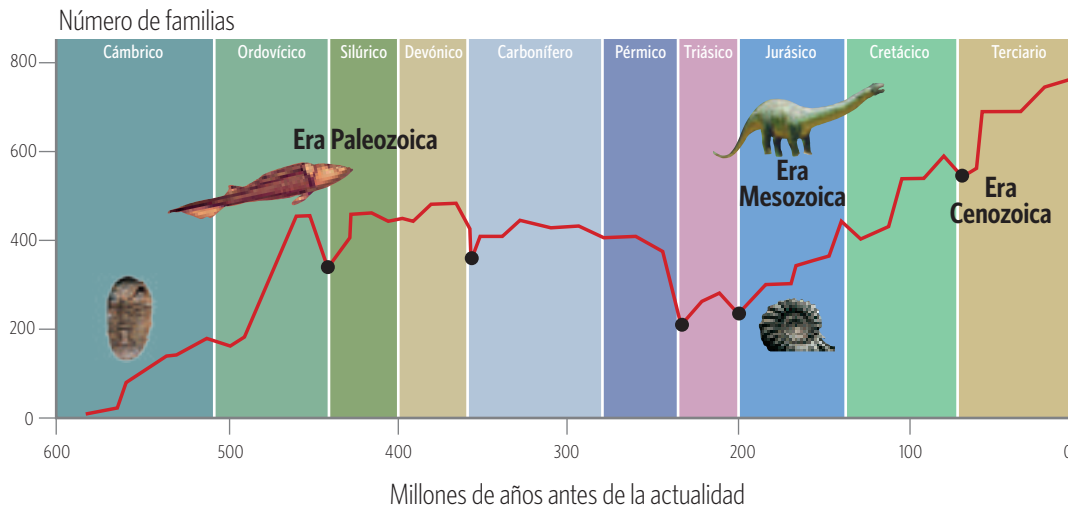
## Evaluación final de Unidad

7. Junto con un compañero, escriban un diálogo breve en el que los personajes representen posturas opuestas en torno a la importancia que han tenido las teorías evolutivas en el desarrollo cultural y en la comprensión de la biología. (4 puntos).
8. En el siguiente esquema se observan tres etapas en el proceso de selección natural en una población de escarabajos. Obsérvalo y responde las preguntas en tu cuaderno. (7 puntos).



- a. Escribe la secuencia de números que indique el orden en que suceden las tres etapas del proceso.
  - b. Explica la situación observada aplicando los principios de variabilidad, reproducción diferencial, presión de selección y herencia.
  - c. "La selección natural puede disminuir la variabilidad de las poblaciones": ¿es correcta la frase? Explica de acuerdo con el ejemplo del esquema.
  - d. En este caso, ¿cuál es la adaptación?, ¿podría esta adaptación cambiar en el futuro? Explica.
9. Una revista médica ha anunciado la aparición de una bacteria que causa una grave enfermedad. Hasta ahora, esta enfermedad era tratada con el antibiótico amoxicilina. Pero la nueva bacteria es resistente a este fármaco y, por lo tanto, es necesario buscar un nuevo tratamiento. (4 puntos).
    - a. ¿Cómo interpretaría Darwin esta adaptación?
    - b. ¿Y cómo lo interpretaría un biólogo basado en la teoría sintética?
  10. Analiza el siguiente gráfico y contesta las preguntas: (6 puntos).

**Gráfico 7:** Variación de la biodiversidad y las cinco extinciones masivas.



- a. Tras las extinciones, ¿qué sucede con la cantidad de especies?
  - b. ¿La variación en la cantidad de especies ocurre, a escala geológica, rápida o lentamente?
  - c. ¿La interpretación de este gráfico apoya la idea del cambio lento y gradual de las especies propuesto por el neodarwinismo o los planteamientos de la teoría del equilibrio puntuado? Fundamenta.
  - d. ¿Cuál de los siguientes fenómenos puede ser la causa más probable del rápido aumento de la biodiversidad tras las extinciones masivas, el entrecruzamiento, la asociación independiente o las mutaciones? Fundamenta.
11. Lee las siguientes inferencias y luego responde las preguntas: (4 puntos).
- Los guepardos, por su hábito de cazar de día, tuvieron que desarrollar su musculatura **para** correr más rápido y poder capturar a su presa.
  - Las plantas desarrollaron flores de colores **para** atraer a los insectos y conseguir que estos las polinicen.
- a. ¿Te parecen correctas estas explicaciones?, ¿están bien enunciadas? Fundamenta.
  - b. Explica las mismas observaciones desde un contexto evolutivo neodarwinista.

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos
Comparar las principales explicaciones del fenómeno de la diversidad biológica.	1 y 2	4 o menos	5 a 7	8 o más
Identificar e interpretar las evidencias que prueban que los seres vivos han cambiado en el tiempo.	3, 4, 5 y 6	5 o menos	6 a 9	10 o más
Opinar acerca del impacto cultural que ocasionó la teoría de la evolución de Darwin y Wallace.	7	1	2	3 o más
Explicar las ideas centrales de la teoría de la evolución mediante selección natural.	8	3 o menos	4 a 5	6 o más
Explicar las ideas centrales de la teoría sintética de la evolución y del equilibrio puntuado.	9, 10 y 11	7 o menos	8 a 11	12 o más

■ Por lograr    
 ■ Logrado parcialmente    
 ■ Logrado totalmente

Unidad

# 5

## Causas de la evolución y de la especiación

¿Por qué crees que el pavo real macho de la fotografía despliega su gran y vistoso abanico de plumas ante una hembra?, ¿qué información le está transmitiendo?

Esta especie es originaria de la India y su depredador natural es el tigre. ¿Te parece una buena estrategia de supervivencia desplegar un abanico de plumas tan colorido?

En esta unidad aprenderás cómo las especies evolucionan en relación a las presiones ambientales y que el resultado, muchas veces, depende del azar.

### ¿Qué piensas?

Reúnete con tres compañeros y discute las siguientes preguntas. Luego, un representante del grupo comunicará sus conclusiones ante el curso.

- ¿Por qué la selección natural hizo a las hembras de pavo real de colores menos vistosos?
- ¿Cuáles crees que son las principales presiones ambientales que debe superar un ser vivo para sobrevivir?
- ¿Por qué es tan importante que los organismos de una población se reproduzcan?
- ¿Por qué no todos los individuos de una población logran reproducirse y dejar descendencia?



## Aprenderás a ...

### Lecciones

**1** ¿Cuál es el origen de la variabilidad?

Explicar la importancia de las mutaciones y de la recombinación genética para la generación de variabilidad en una población y para el proceso evolutivo.

**2** ¿Cómo influye el azar en la evolución de una población?

Describir la influencia de fenómenos poblacionales azarosos, como la deriva génica, en la evolución.

**3** ¿Cuáles son las consecuencias de la selección natural?

Distinguir las variantes de la selección natural y sus efectos sobre la evolución de las poblaciones.

**4** ¿Cómo se forman las nuevas especies?

Describir el efecto que tienen en la formación de especies los procesos de divergencia genética de las poblaciones y del aislamiento de estas.

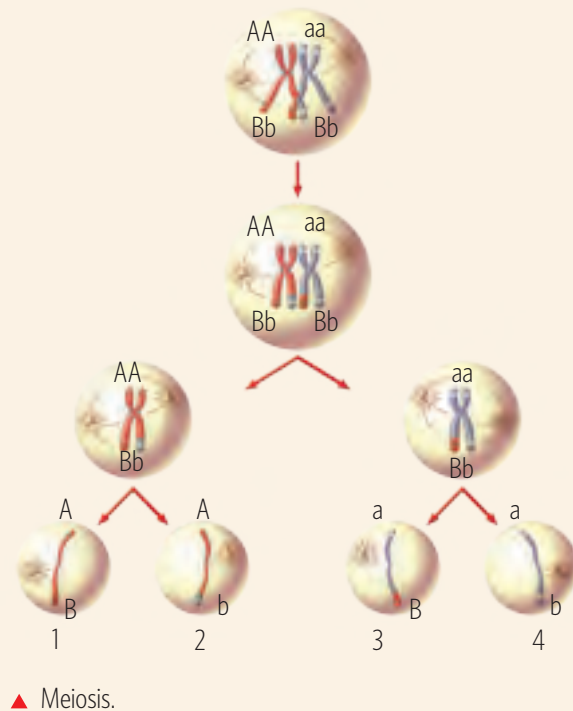
# ¿Cuál es el origen de la variabilidad?

Debes recordar: **Fenotipo - Genotipo - Meiosis**

## Trabaja con lo que sabes

La imagen representa la meiosis en las células de una planta y los genes que aparecen representados llevan información para las siguientes características: A: flor roja; a: flor blanca; B: hojas con borde liso, y b: hojas con borde aserrado.

1. ¿De qué color son las flores y cómo es el borde de las hojas del organismo parental?
2. ¿Qué efectos tuvo el entrecruzamiento o *crossing over* en el orden de los genes? Explica brevemente.
3. ¿Cuál sería el aspecto de la planta producida si ocurriera fecundación entre los siguientes gametos: 1 y 2, 2 y 4, 3 y 4?
4. ¿Estás de acuerdo en afirmar que el entrecruzamiento aumenta la variabilidad? Fundamenta.
5. Explica la manera en que la permutación cromosómica o segregación independiente de los cromosomas contribuye al aumento de la variabilidad.



## Propósito de la lección

En la unidad anterior comprendiste que los procesos evolutivos funcionan sobre la base de la variabilidad presente en las poblaciones. En esta lección aprenderás cuáles son las causas detrás de dicha variabilidad y, por lo tanto, del fenómeno de la evolución de las especies.

### 1. Evolución en las poblaciones

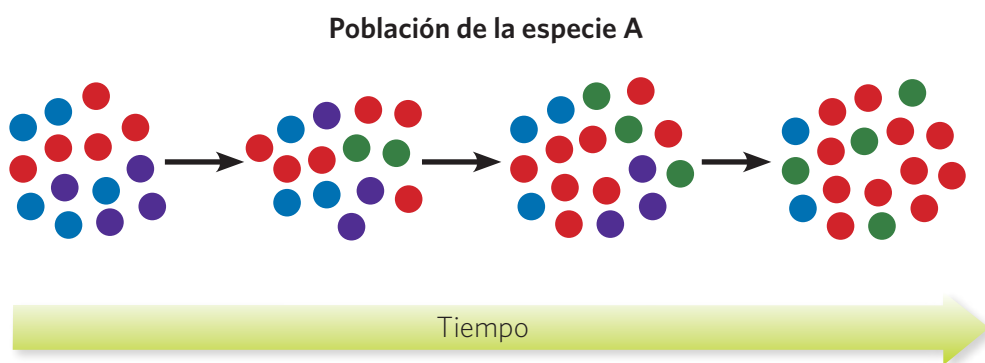
Como aprendiste en la unidad anterior, la **evolución** es el proceso de transformación de los seres vivos a lo largo de las generaciones. Estos cambios se deben a modificaciones genéticas que, en conjunto con el efecto del ambiente, expresan variaciones fenotípicas en los organismos, heredables a su descendencia. Por ello, la evolución implica cambios en las proporciones genotípicas de las poblaciones, generación tras generación.



El **proceso evolutivo** no ocurre en un organismo individual, sino que en las **poblaciones** o en las especies a lo largo de las generaciones. Los cambios pueden ser mínimas modificaciones imperceptibles a la vista o también de gran magnitud con respecto a los antepasados.

Es importante considerar que las poblaciones varían en el transcurso del tiempo y que si comparas los organismos de una población actual con los de la de su origen, podrías encontrar diferencias, sin que ello signifique que correspondan a distintas especies. Esto quiere decir que puede haber evolución sin que surjan nuevas especies.

El siguiente esquema ilustra que en la población de la especie A han aparecido organismos con nuevas variantes fenotípicas (representadas por el color verde del segundo conjunto de individuos) y también constatamos que las proporciones genotípicas (suponiendo que cada variante fenotípica o color corresponde a un genotipo diferente) van cambiando con el tiempo.



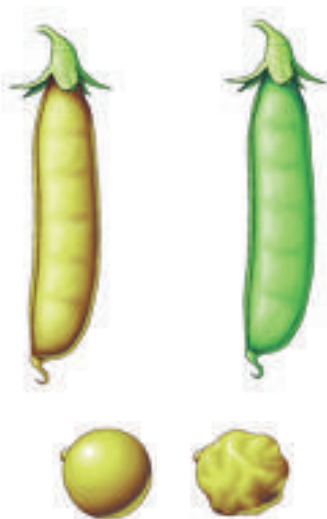
De este modo, y a partir de la integración de los principios de Mendel y la teoría de la evolución de Darwin, emergió una nueva disciplina en la biología: la **genética de poblaciones**. Esta ciencia se preocupa de los procesos evolutivos que ocurren en las poblaciones desde el punto de vista de la herencia y la variación genética, y basa su estudio en la **variabilidad genética**.



◀ En cada grano de choclo o maíz existe un embrión; la diferencia de color es un ejemplo de variabilidad.

**Apunte**

Genes alelos: son las variantes o las formas alternativas de un gen, son segmentos de ADN que determinan la síntesis de un mismo producto, principalmente una proteína, y que difieren en la secuencia del ADN. Esta diferencia se expresa en el organismo como una variante fenotípica.



- ▲ La especie de arveja con la que trabajó Mendel presenta dos variedades para cada rasgo fenotípico estudiado, y a cada una de estas variedades le corresponde un gen alelo.

**2. Variabilidad genética**

Si miras a tus compañeros verás que, aunque todos pertenecemos a la misma especie, tenemos rasgos fenotípicos, tanto físicos como conductuales o bioquímicos, que nos distinguen. El fenotipo de un individuo está influido por su genotipo. Por lo tanto, los distintos fenotipos presentes en una población se explican por la existencia de diferentes variedades de genes en ella; es decir, por su variabilidad genética. El origen de la variabilidad genética de una población está en las **mutaciones** y, en las especies con reproducción sexual, también en los procesos de **recombinación génica** que ocurren durante la meiosis.

**2.1 Mutaciones**

Cuando Darwin formuló su teoría evolutiva, por desconocimiento de la existencia de los trabajos de Mendel y de los genes, no entregó fundamentos acerca del origen de la variabilidad de rasgos sobre la cual opera la selección natural. Gracias a los aportes de la genética, hoy sabemos que la variabilidad se produce principalmente debido a mutaciones; o sea, alteraciones del material genético de los miembros de una especie. Las mutaciones promueven el surgimiento de nuevos genes alelos en una población, con lo cual las frecuencias génicas se modifican y se forman nuevos fenotipos.

De acuerdo con el tipo de cambio provocado, pueden surgir alelos con efectos negativos para el organismo portador, que incluso lleguen a provocar su muerte. También, pueden generarse alelos con efectos beneficiosos para el individuo, que favorezcan su sobrevivencia y aumenten, por acción de la selección natural, la frecuencia de este nuevo alelo en la población a medida que transcurren las generaciones. Por último, las mutaciones, asimismo, pueden generar efectos neutros, es decir, que no resulten ni beneficiosos ni perjudiciales para el individuo que los posea.

Las mutaciones pueden ser **espontáneas**, cuando ocurren como consecuencia de las dinámicas inherentes a la célula, como la replicación del ADN; o **inducidas**, cuando se producen por la acción de factores externos, llamados **agentes mutágenos**, como radiaciones o sustancias químicas.

Si la mutación se manifiesta solo en las células somáticas, no es heredable, a diferencia de las mutaciones ocurridas en los gametos, que pueden transmitirse a la siguiente generación. Estas últimas tendrán consecuencias evolutivas si modifican el fenotipo de los organismos y/o las proporciones genotípicas en las poblaciones.

**Actividad 1** Comprender y aplicar el...

**Proceso de mutación**

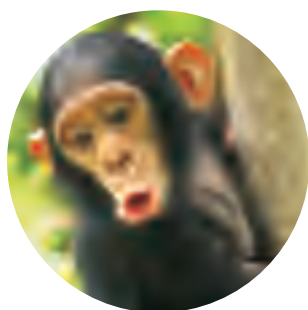
La característica “tamaño de la planta”, estudiada por Mendel, depende de un gen que posee dos variantes: uno de los alelos produce una enzima necesaria para la síntesis de giberelina, una de las hormonas vegetales responsable de la elongación del tallo; y el otro alelo presenta una diferencia en la secuencia de ADN, cuyo producto es una enzima no funcional; en este caso, la producción de giberelina es escasa, por lo que la planta disminuye su crecimiento.

1. Observa el esquema que representa la ubicación y secuencia de los alelos del gen en el par de cromosomas homólogos, para un genotipo heterocigoto. Luego, dibuja en tu cuaderno las combinaciones para los genotipos homocigoto dominante y homocigoto recesivo.
2. A partir del análisis de la información, ¿cuál será el fenotipo resultante en cada caso?
3. ¿Cómo podría aparecer una nueva variedad de alelo para este rasgo?, ¿cuál podría ser su fenotipo asociado?

Genotipo	Cromosomas homólogos	Secuencia de alelos
Heterocigoto		<p>Secuencia del alelo A</p> <p>A T G A T A C G A G T T</p> <p>↓ Cambio de un nucleótido</p> <p>A T G A G A C G A G T T</p> <p>Secuencia del alelo a</p>

**Para saber +**

- La comparación entre genomas de diversas especies ha permitido advertir importantes cambios en el cariotipo, ocasionados por mutaciones, en el número de cromosomas y en el tamaño de estos. Por ejemplo, el cromosoma número 2 humano es producto de la fusión de dos cromosomas ancestrales, que corresponden a los cromosomas 12 y 13 presentes en los chimpancés y otros primates actuales.



**Inter@ctividad**

- Analiza la animación del proceso de entrecruzamiento, ingresando a [www.rekursostic.cl/lbm178](http://www.rekursostic.cl/lbm178). Luego, representa la combinación genotípica de los cigotos posibles si se fecundan entre sí los gametos posibles, producidos con y sin entrecruzamiento.

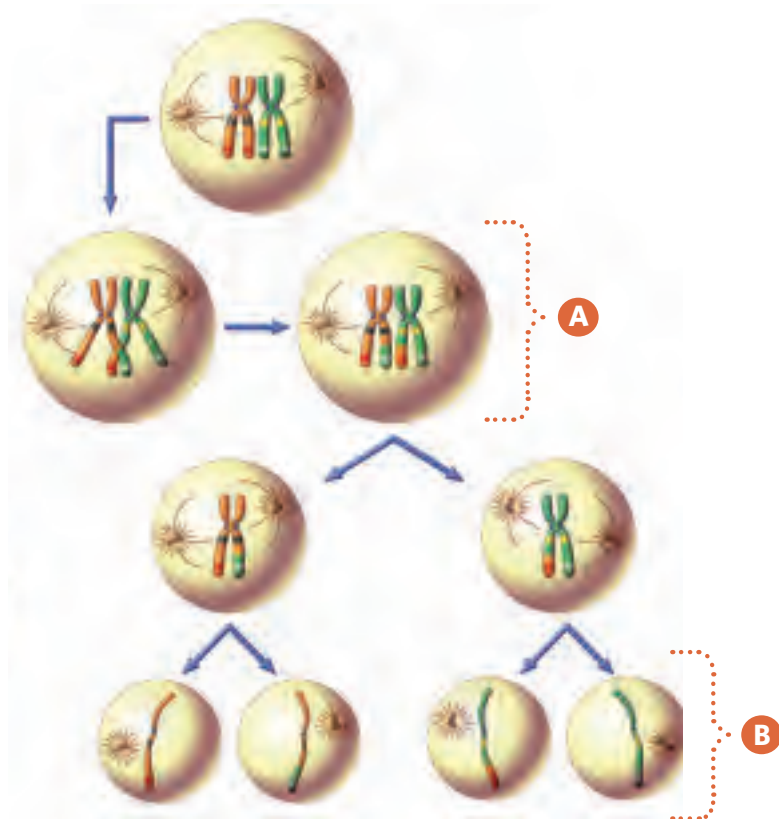
**2.2 Recombinación génica**

En los organismos con reproducción sexual, los genes procedentes de cada uno de los progenitores se recombinan antes de ser transmitidos a la siguiente generación por medio de dos procesos que tienen lugar durante la meiosis: el **entrecruzamiento**, o *crossing-over*, y la **permutación cromosómica**, o segregación independiente de los cromosomas homólogos.

- **El entrecruzamiento:** el intercambio de segmentos entre los cromosomas homólogos, durante la profase de la meiosis I, es una importante fuente de variabilidad genética: gracias a ella es inmensamente improbable que un mismo individuo produzca dos gametos iguales, lo que conlleva a que su descendencia sea genéticamente diversa.

**A** Durante la profase I del proceso meiótico, los cromosomas homólogos se agrupan en pares para llevar a cabo el entrecruzamiento.

**B** Debido al entrecruzamiento, las cuatro cromátidas contenidas en un par de cromosomas homólogos presentan información genética diferente.

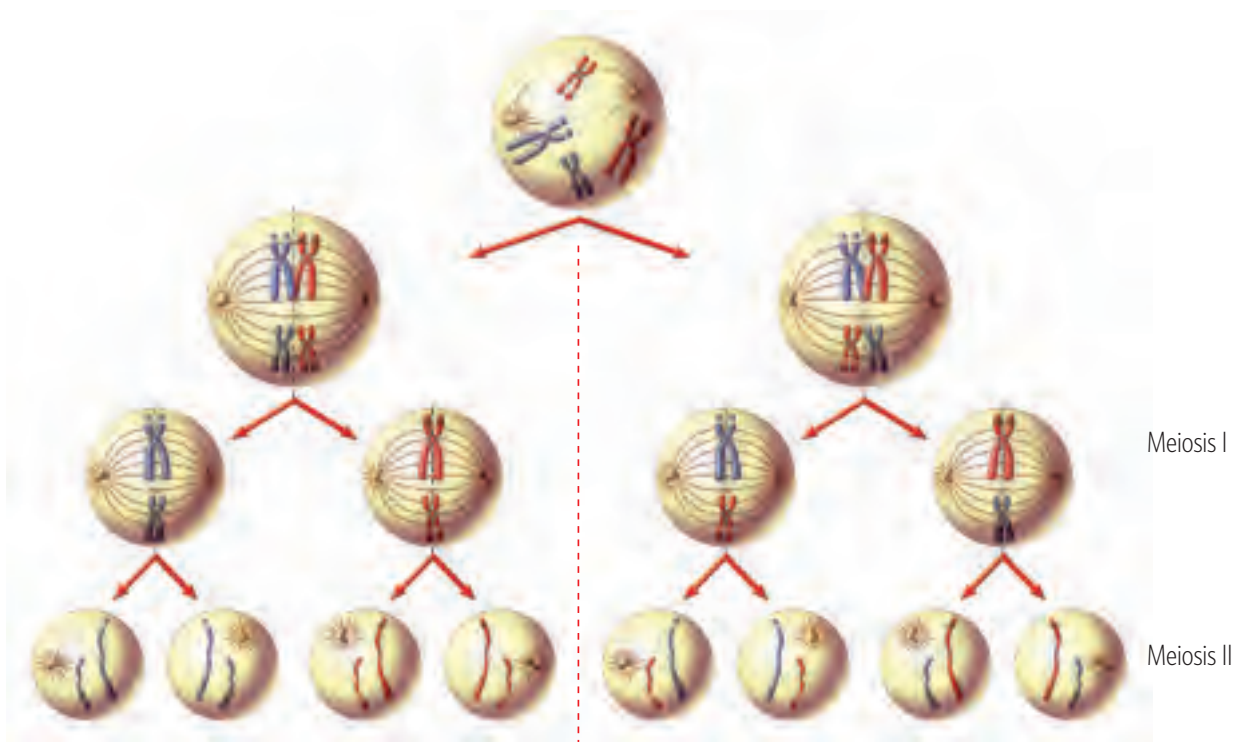


**Conexión con**

**Matemática**

Considerando solo la permutación en la meiosis I, se pueden generar  $2^n$  combinaciones cromosómicas, siendo  $n$  el número haploide de la especie. En nuestra especie, cuyo  $n$  es 23, se pueden formar 8 388 608 células genéticamente diferentes.

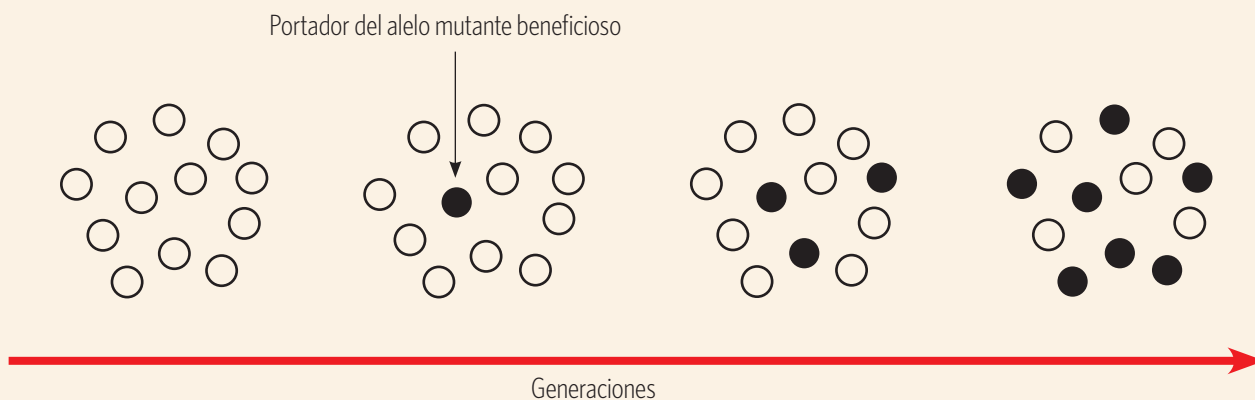
- **La permutación cromosómica:** consiste en la distribución al azar de los cromosomas homólogos materno y paterno entre las células hijas durante la metafase de la meiosis I. Según la posición de los cromosomas homólogos en el ecuador de la célula, y su posterior migración hacia los polos, durante la anafase I, se pueden obtener distintas combinaciones entre cromosomas paternos y maternos. Así, el que uno de los gametos contenga un cromosoma paterno o el cromosoma homólogo que derivó de la madre, depende únicamente del azar.



▲ Dos posibilidades de ordenamiento y distribución de los pares de cromosomas durante la permutación. El resultado son cuatro gametos genéticamente diferentes.

**Antes de seguir, utiliza lo aprendido**

1. ¿Cómo explicarías que hace millones de años la diversidad de especies existentes era mucho menor a la que se puede observar en la actualidad?
2. ¿Por qué son importantes las mutaciones y la recombinación genética para la evolución de las especies?
3. ¿Por qué el entrecruzamiento y la permutación generan variaciones genéticas?
4. Si en una población, como la representada por círculos, surge por mutación un nuevo alelo que entrega una característica ventajosa al organismo que lo posea, este alelo aumentará su frecuencia en la población y generará la evolución de la misma. ¿Qué ocurriría si el alelo mutante provoca la aparición de alguna enfermedad? ¿Se consideraría entonces que la población evoluciona?, ¿por qué?

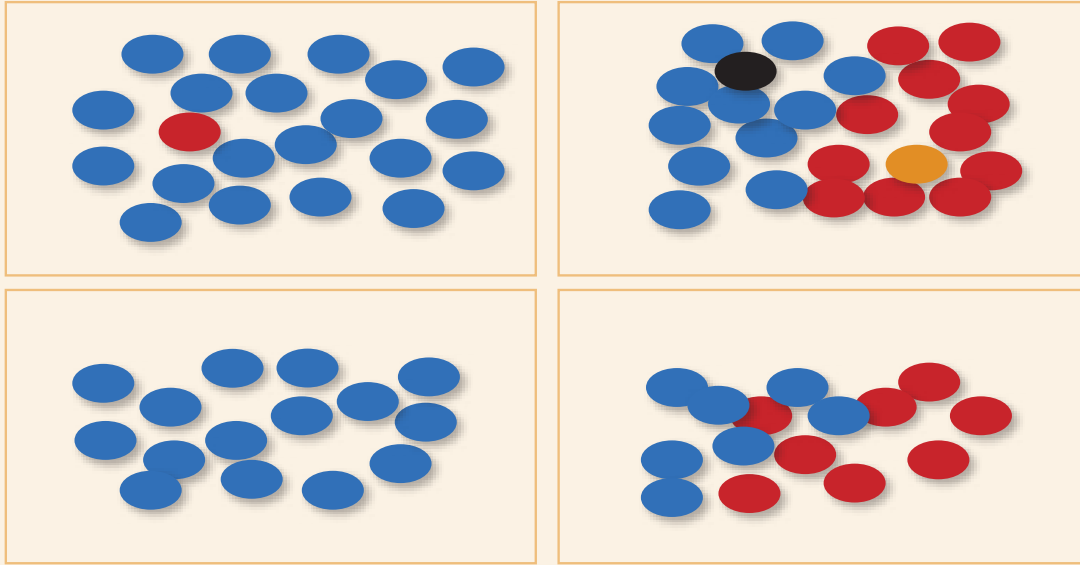


# ¿Cómo influye el azar en la evolución de una población?

► Debes recordar: Genes alelos - Mutación - Migración

## Trabaja con lo que sabes

La figura representa cuatro poblaciones de la misma especie, cuyos individuos se representan con círculos. Responde las preguntas a continuación.



1. ¿Por qué existen diferencias en la frecuencia fenotípica en cada población?
2. ¿Qué poblaciones se parecen más entre sí?
3. ¿Cuáles serían las diferencias dentro de las poblaciones y también entre ellas?
4. ¿Qué sucedería si los individuos de las poblaciones pudieran migrar y aparearse?

## Propósito de la lección

En la lección anterior comprendiste cómo el azar actúa a nivel molecular, generando variaciones e influyendo en la evolución. Ahora podrás entender cómo el azar también interviene en la evolución a nivel poblacional, alterando la variabilidad genética.

### 1. Flujo génico

El flujo génico o flujo de alelos es el intercambio de genes entre organismos pertenecientes a diferentes poblaciones de una misma especie. En ausencia de otros factores evolutivos, este proceso tiende a igualar las frecuencias génicas entre las poblaciones. El flujo entre ellas incrementa la variabilidad genética de cada una, por la incorporación de nuevas variantes (alelos), produciendo al mismo tiempo disminución de la **divergencia** entre las poblaciones.

La tasa de flujo génico entre poblaciones dependerá de la **movilidad de las especies** y de la existencia de **barreras geográficas** y de **corredores**. El flujo será menor en especies de baja movilidad, constituyendo poblaciones más pequeñas y genéticamente diferenciadas, mientras que será mayor en especies de alta movilidad. La presencia de barreras geográficas restringe el flujo génico, separando a dos poblaciones, contribuyendo así a su diferenciación y posterior especiación; mientras que los corredores conectan a las poblaciones y facilitan el flujo génico, por lo tanto actúan en contra de la especiación.



▲ En poblaciones de alta movilidad, como las aves migratorias, el flujo génico es mayor.



▲ Un río puede significar para algunas poblaciones una barrera geográfica y para otras ser un corredor.

En nuestra especie pueden existir también **barreras culturales** para el flujo génico, como es el caso de comunidades endogámicas, que impiden la relación con grupos externos; u otras que restringen sus relaciones a ciertas poblaciones, ya sea por motivos de alianzas, religiones o guerras entre ellas. En poblaciones muy pequeñas, los cruzamientos comienzan a producirse entre individuos con parentesco reciente. En estos grupos, las frecuencias alélicas se modifican respecto de la población general y se produce un aumento en la frecuencia de genotipos recesivos. Como la mayor parte de las patologías se determinan de manera recesiva, aumenta la frecuencia de estas.

## Conexión con

### Historia

Durante los siglos XVI y XVII se registró una importante emigración de españoles a América. Posteriormente, nuestro continente, y Chile en particular, recibió inmigrantes de otros países europeos y asiáticos. Así se formaron en nuestro país numerosas colonias que aportaron nuevos genes a la población local y también su riqueza cultural.



## Actividad 2

Comprender y reflexionar sobre...

### Flujo génico

1. Describe los accidentes geográficos de tu localidad que pudieran actuar como barreras geográficas o como corredores para algunas poblaciones.
2. ¿Cuáles son las desventajas de la endogamia en poblaciones pequeñas?
3. Averigua en tu entorno datos de cómo los inmigrantes han influido en el desarrollo cultural, por ejemplo en el arte, las comidas, el deporte, la arquitectura y la ciencia. Explica el valor que le das a esto.

## 2. Deriva génica

La **deriva génica** son los cambios en frecuencia génica de una población debido a fenómenos azarosos. En una población, la frecuencia de un alelo fluctúa al azar, aumentando y disminuyendo de una generación a otra de manera no predecible. Así, los alelos pueden llegar a desaparecer o bien a alcanzar frecuencias de 100 % (fijación).

Sin considerar otros factores evolutivos, este mecanismo tiende a disminuir la diversidad genética de la población, debido a la eliminación de unos alelos con fijación de otros. A su vez, la deriva aumenta la diferenciación entre poblaciones debido a la fijación de distintos alelos en cada una de ellas. Mientras más pequeñas sean dos poblaciones, más rápido se diferenciarán genéticamente debido a la deriva, es decir, al azar.

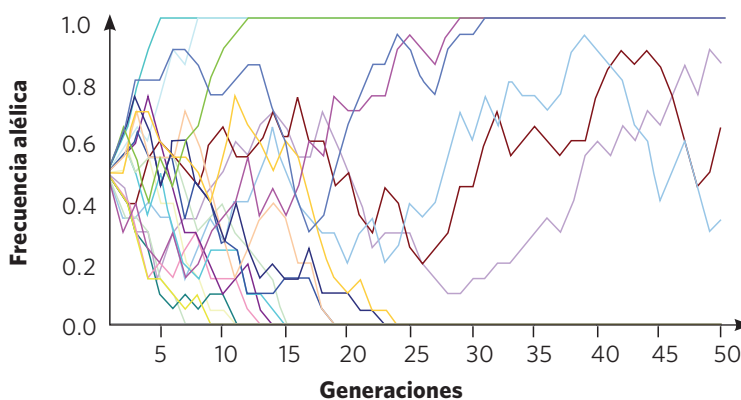
### Actividad 3 Interpretar gráficos sobre...

#### Deriva génica

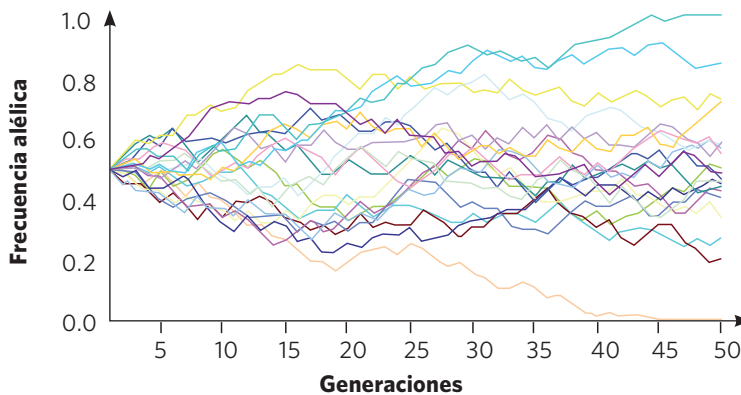
Responde las preguntas a partir de los gráficos.

1. ¿Cuántos alelos se fijaron y desaparecieron en cada caso?
2. ¿En qué población existe una mayor probabilidad de que desaparezca un alelo?
3. Marca en cada gráfico la curva de los alelos que se han fijado en la población.

**Gráfico 1:** Fluctuación de frecuencia de alelos en varias poblaciones de 10 individuos.



**Gráfico 2:** Fluctuación de frecuencia de alelos en varias poblaciones de 100 individuos.



- ▲ Simulación del efecto de la deriva génica. La frecuencia de un alelo puede aumentar o disminuir de manera azarosa. La deriva será más fuerte mientras más pequeña sea la población.



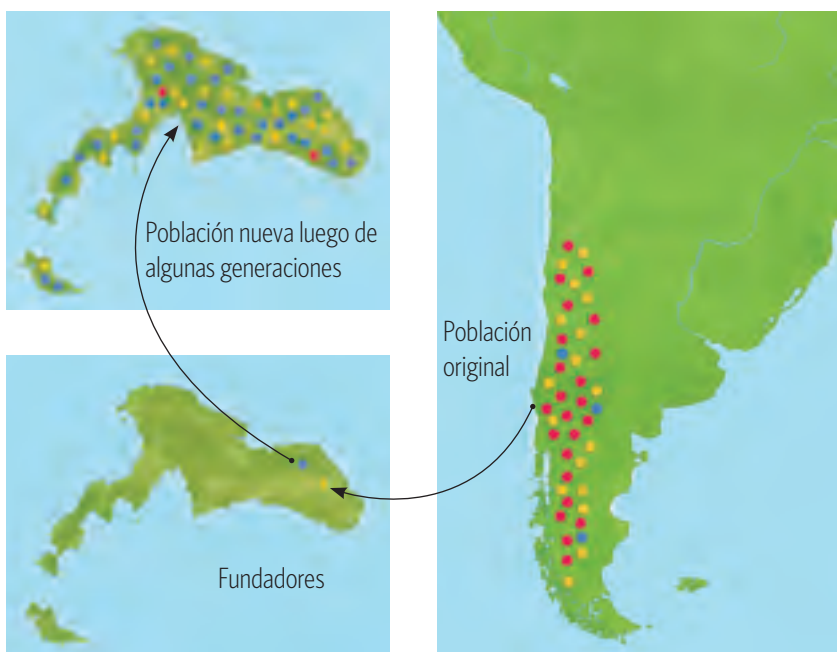
## 2.1 Efecto cuello de botella

Este fenómeno de deriva génica sucede con la pérdida acelerada de variación genética frente a eventos de disminución numérica en la población. El cuello de botella simboliza algún factor que reduce el tamaño poblacional, como una epidemia, un desastre climático o geológico, entre otros.

Un caso especial de cuello de botella es el **efecto fundador**, que ocurre cuando un reducido grupo de la población funda otra nueva, llevando consigo solo una parte de la diversidad inicial. Por ejemplo, se ha descrito que en la población nativa americana se observa una alta frecuencia del grupo sanguíneo O (sistema sanguíneo ABO), situación que puede explicarse por el cuello de botella producido durante el poblamiento del continente, siendo la población fundadora exclusivamente de dicho grupo sanguíneo.



▲ La figura representa una población que muestra tres variantes (blanco, amarillo y verde). Luego de una disminución del tamaño poblacional, sobrevive un pequeño grupo que presenta dos de las variantes y en frecuencias distintas a las iniciales.



◀ Un ejemplo de efecto fundador es la colonización de islas por pocos individuos.

**Antes de seguir**, utiliza lo aprendido

1. Construye un organizador gráfico usando los siguientes términos: migración, flujo génico, frecuencias alélicas, variabilidad y diferenciación poblacional. Puedes incluir otros conceptos relacionados con el tema de esta lección.
2. ¿Qué relación puedes señalar entre la pérdida de diversidad genética y la disminución del tamaño poblacional? Explica.
3. ¿Por qué en las poblaciones pequeñas la eliminación y fijación de los alelos es más probable que en las poblaciones más numerosas?
4. Observa la ilustración del efecto fundador de esta página y grafica la proporción de cada alelo en el continente y en la isla.

# ¿Cuáles son las consecuencias de la selección natural?

⇒ **Debes recordar:** Condiciones para que opere la selección natural

## Trabaja con lo que sabes

En el proceso de selección natural representado se favorece que al transcurrir las generaciones, la población de roedores cambie las características de su pelaje, de color blanco a café, lo que es útil para esconderse de sus depredadores.



1. ¿Cuáles son los motivos de la diversidad de fenotipos observados en la población ancestral?
2. ¿Son azarosas las causas de la variabilidad genética? Fundamenta.
3. Describe cómo operan en la población de roedores la variabilidad, la reproducción diferencial y la herencia.
4. Escribe tres ejemplos de factores ambientales cuyo cambio pudiera significar una amenaza para la población de roedores.

## Propósito de la lección

Anteriormente viste cómo opera la selección natural en una población. En esta lección podrás conocer cómo este proceso evolutivo y sus variantes modifican las cualidades de las poblaciones.

### Apunte

Presión de selección: es un cambio ambiental que dificulta o favorece la sobrevivencia a parte de la población.

Eficacia biológica o éxito reproductivo: se refleja en la cantidad de descendientes que aporta un individuo a la generación siguiente.

## 1. ¿Es azarosa la selección natural?

Aunque las causas de la variabilidad genética, mutación y recombinación, y los cambios ambientales sean procesos azarosos, la selección natural no lo es. Los organismos que sobreviven a las presiones ambientales, como la presencia de depredadores o parásitos, tienen un mayor éxito reproductivo, y esto no es aleatorio, pues tienen cualidades fenotípicas que les brindan ventajas sobre los otros miembros de la población. Por ejemplo, en el caso de los roedores, fueron las condiciones ambientales las que excluyeron a aquellos animales que no tenían rasgos adaptativos más favorables para esconderse de sus depredadores, no el azar.

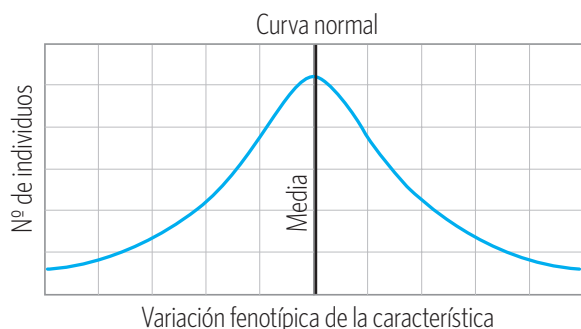
## 2. Tipos de selección natural

En las poblaciones se observa una variedad de los distintos fenotipos y solo algunos de ellos son favorecidos por la selección natural. De este modo, en muchas poblaciones, la mayoría de los organismos presenta un fenotipo promedio y únicamente unos pocos poseen fenotipos extremos para un cierto rasgo. Esta forma de distribución se denomina distribución normal.

### Inter@ctividad

- Juega y refuerza tus conocimientos sobre selección natural ingresando a [www.recursoctic.cl/lbm185](http://www.recursoctic.cl/lbm185). Analiza los gráficos y estadísticas de tus resultados e identifica el tipo de selección natural que está operando.

**Gráfico 3:** Distribución fenotípica en una población hipotética antes de la selección.



Histograma de la variabilidad de fenotipos de una población.



- ▲ En la distribución normal, la mayoría de los organismos presenta un fenotipo promedio y unos pocos los fenotipos extremos.

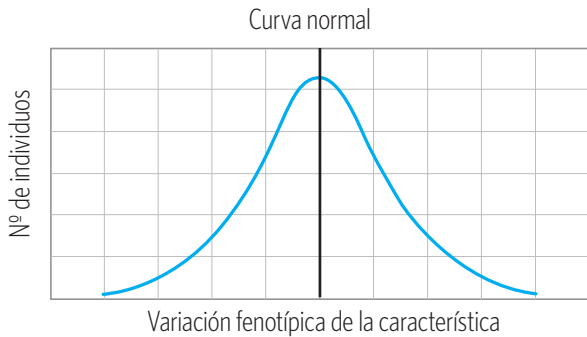
La selección natural puede favorecer las variantes fenotípicas en las poblaciones de tres formas distintas, por lo que se reconocen tres tipos de selección: **estabilizadora**, **direccional** y **disruptiva**.

- Selección estabilizadora:** Favorece a los fenotipos intermedios, aumentando su frecuencia y disminuyendo la de los organismos con fenotipos extremos. Por este motivo, la distribución de los individuos que posean estos fenotipos será principalmente en torno al centro de la curva, vale decir, a la media.

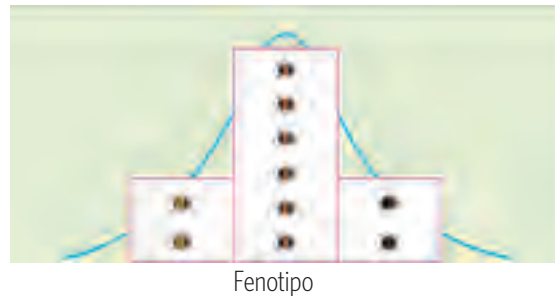
Un ejemplo es el favorecimiento de las personas heterocigotas para el gen de la anemia falciforme, en regiones donde la malaria es endémica. Como las personas homocigotas para el alelo condicionante de la anemia falciforme ( $ss$ ) padecen de una anemia severa y generalmente mueren antes de reproducirse, la tendencia normal sería que este alelo prácticamente desapareciera de la población. Esto es lo que realmente sucede en la mayor parte del mundo. Sin embargo, en los lugares donde la malaria es una enfermedad endémica, la frecuencia del alelo mutante es muy elevada.

Se descubrió que esto ocurre porque las personas heterocigotas (Ss) son más resistentes a la malaria que las personas homocigotas normales (SS). Como estas últimas tienden a morir de malaria y las homocigotas (ss) fallecen de anemia falciforme, quienes tienen mayor probabilidad de sobrevivir y reproducirse son las personas heterocigotas (Ss), que pueden transmitir el alelo recesivo (s) a su descendencia. Por este motivo, el alelo para la anemia falciforme se mantiene con frecuencias relativamente altas en esas poblaciones.

**Gráfico 4:** Distribución fenotípica en una población hipotética después de la selección estabilizadora.



Histograma de los fenotipos de la población posterior a la selección estabilizadora.



▲ La selección estabilizadora, al favorecer a los fenotipos promedio de la población, provoca un aumento del número de individuos con dichas características.

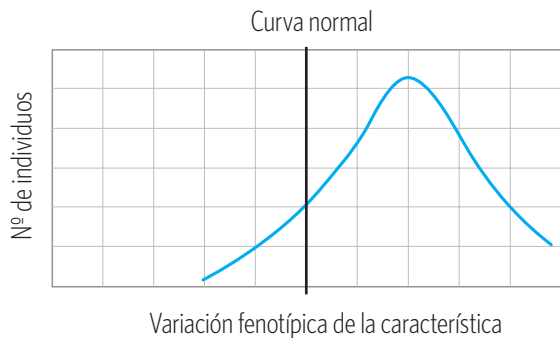
b. **Selección direccional:** Este tipo de selección favorece a los individuos de uno de los fenotipos extremos, aumentando la frecuencia de los individuos que presentan uno de estos fenotipos.

Por ejemplo, las bacterias pueden mutar y volverse resistentes a los antibióticos. En ausencia de esas sustancias en el medio, las bacterias mutantes no presentan ninguna ventaja sobre las bacterias no mutantes. Sin embargo, si hay un antibiótico en el ambiente, las bacterias sin la mutación serán eliminadas, mientras que las bacterias con la mutación adecuada darán origen a poblaciones de bacterias resistentes, contra las cuales el antibiótico no tendrá efecto. Algo semejante ocurre en las poblaciones de insectos que pueden volverse resistentes a los insecticidas.



Los insecticidas, usados al fumigar, ▶ actúan como agentes selectivos; al igual que los antibióticos empleados contra las bacterias.

**Gráfico 5:** Distribución fenotípica en una población hipotética después de la selección direccional.



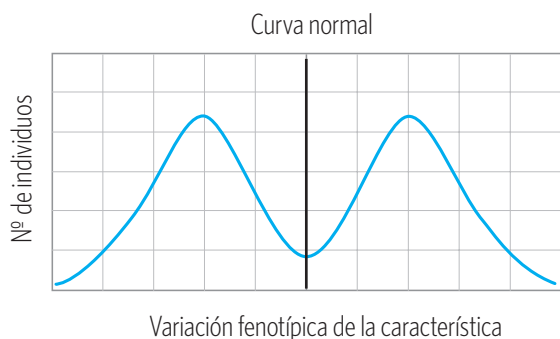
Histograma de los fenotipos de la población posterior a la selección direccional.



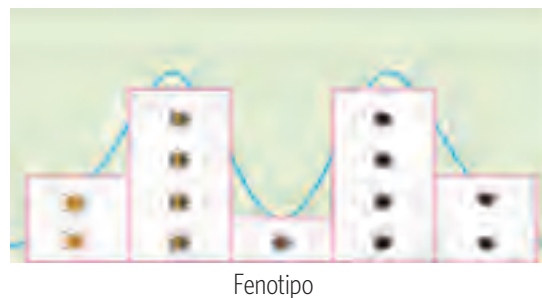
- ▲ La selección direccional favorece a los individuos de uno de los fenotipos extremos, aumentando la frecuencia de los individuos que presentan uno de estos fenotipos. En este caso, la distribución de los individuos de la población desplazará la curva hacia uno de los extremos.

- c. **Selección disruptiva:** Este tipo de selección favorece a los individuos con cualquiera de los fenotipos extremos, afectando a los individuos con fenotipos intermedios, por esto aumenta la frecuencia de individuos con fenotipos extremos y disminuye la frecuencia de los intermedios. Tras la selección disruptiva, la distribución se concentrará en los extremos de la curva.

**Gráfico 6:** Distribución fenotípica en una población hipotética después de la selección disruptiva.



Histograma de los fenotipos de la población posterior a la selección disruptiva.



- ▲ La selección disruptiva favorece a los individuos de ambos extremos.

**Actividad 4** Analizar, interpretar e inferir sobre...

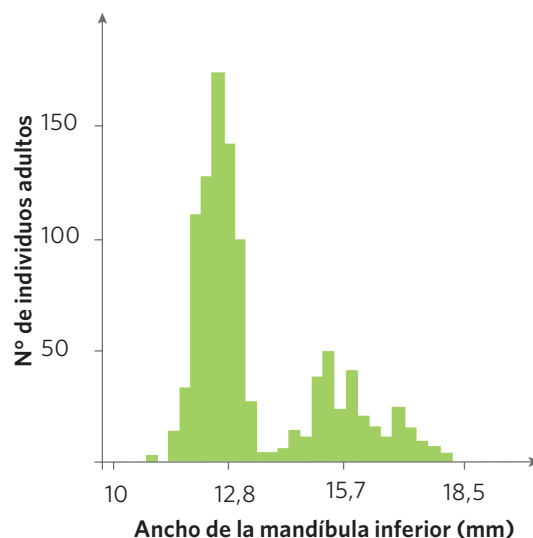
**Tipos de selección natural**

1. ¿Cuál es el rasgo más ventajoso en esta población?
2. ¿Qué individuos estarán en desventaja para sobrevivir?
3. ¿Qué cambio en el ambiente podría haber causado esta distribución de la población?
4. ¿Qué tipo de selección natural está operando en la población? Explica.

Fuente: Futuyama, (2005) D. *Evolution*.  
Massachusetts: Sinauer Associates, Inc.,  
(Adaptación).



**Gráfico 7:** Distribución de una población de aves según el ancho de la mandíbula inferior.



**Para saber +**

- Las diferentes razas de perros que observamos hoy son el resultado de numerosos y milenarios procesos de selección artificial a partir de especies de cánidos silvestres, como lobos, chacales, coyotes y dingos.



**3. Selección sexual**

La selección sexual fue descrita por Darwin para explicar rasgos que no estaban directamente vinculados con la sobrevivencia del individuo o con la producción de descendencia. Estas características, denominadas **rasgos sexuales secundarios**, se relacionan con la adquisición de pareja, ya sea por intimidación o por atractivo. La existencia de diferencias entre machos y hembras se conoce como **dimorfismo sexual** y se expresa principalmente en diferencias morfológicas y conductuales.

La selección sexual es considerada un tipo de selección natural e implica que los **cruces no son aleatorios**, lo que puede afectar la frecuencia génica, favoreciendo la reproducción de algunos individuos con relación a la de otros. Se reconocen dos tipos de selección sexual: **intrasexual** e **intersexual**.

- **Selección intrasexual:** se debe a la competencia entre los organismos de un sexo por aparearse y conseguir un mayor éxito reproductivo. Frecuentemente, son los machos quienes compiten por acceder a las hembras. Según la estructura social y agregación de la especie (en grupo o solitaria), el macho implementa diversas estrategias que le permiten aparearse con la mayor cantidad de hembras y dejar más descendientes.

- **Selección intersexual:** es la elección que realizan los organismos de un sexo hacia los del sexo opuesto; frecuentemente, son las hembras quienes eligen al macho con el que se aparearán, en función de rasgos fenotípicos que pueden indicar la calidad genética del macho. Esta elección tiene un beneficio indirecto para la hembra, pues recae en su descendencia, ya que esta podrá heredar los rasgos favorables del macho, como un buen sistema inmune. Algunos rasgos que influyen en la decisión son: colorido, simetría, formas y sonidos.



- ▲ Rasgos sexualmente dimórficos, como el tamaño corporal o los colmillos, son indicadores de la competencia entre individuos.



- ▲ El plumaje colorido y bien cuidado de este macho es un indicio de su buena salud y de su habilidad para sobrevivir.



- ▲ En los papiones sagrados (*Papio hamadryas*) existe dimorfismo sexual y los machos compiten entre sí para acceder a un grupo de hembras.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. ¿Por qué la selección natural no es azarosa?
2. Predice el probable efecto selectivo que tendría sobre una población nativa la introducción de una especie foránea que:
  - a. compita por uno de los principales alimentos de la especie nativa.
  - b. deprede a los individuos más lentos de la especie nativa.
  - c. deprede a los individuos más pequeños y a los más grandes de la especie nativa.
3. ¿Qué variables se consideran para estimar el éxito reproductivo de un individuo?
4. En general, las especies polígamas (un individuo accede a más de una pareja sexual) presentan un notorio dimorfismo sexual, mientras que las especies monógamas (un individuo accede a una pareja sexual) presentan un bajo dimorfismo sexual. ¿Por qué se ha seleccionado positivamente el dimorfismo sexual entre las especies polígamas y no ha sucedido lo mismo con las especies monógamas?



## Selección natural e intolerancia a la lactosa

Las células humanas, al igual que cualquier célula, pueden sufrir mutaciones tanto espontáneas como inducidas. Se estima que cada ser humano nace con al menos 300 nuevas mutaciones y de estas, al menos una o dos son potencialmente dañinas. Sin embargo, algunas de ellas pueden tener efectos positivos y, si están presentes en los gametos, pueden incorporarse al conjunto de genes de la población.

La leche de diferentes animales es consumida abundantemente por la población general. No obstante, alrededor de 4 000 millones de personas no pueden digerir apropiadamente la lactosa, un disacárido que es el azúcar más abundante de la leche. Este azúcar no se absorbe intacta; primero debe ser hidrolizada en el intestino delgado por la enzima  $\beta$ -galactosidasa o lactasa, en sus dos componentes, glucosa y galactosa. La actividad de

esta enzima aumenta en el ser humano en las fases finales de la gestación y se mantiene en niveles altos hasta el destete del niño aproximadamente, después de lo cual comienza a declinar su actividad, encontrándose en el adulto una hipolactasia o deficiencia de la lactosa. Por ello, la intolerancia a la lactosa no se trata de una enfermedad, sino de una condición genética que produce molestos síntomas, entre los que se incluyen dolor abdominal, cólicos, flatulencia, distensión abdominal y diarrea.

Como se observa en la tabla 1, la prevalencia de la mala digestión de la lactosa varía ampliamente entre países, etnias y poblaciones. En Chile, poco más de la mitad de la población adulta tiene una mala capacidad para digerir y absorber la lactosa, mientras que un cuarto sufre los síntomas físicos de esa incapacidad genética.

**Tabla 1:** Prevalencia de la intolerancia a la lactosa por grupo étnico.

Grupo étnico		Prevalencia (%)
Asiáticos		95-100
Amerindios		80-100
Africanos		60-80
Hispanos		50-80
Indios	Norte	20-30
	Sur	60-70
Blancos americanos		6-22
Europeos del norte		2-15

Fuente: Swagerty, D.L. Jr, Walling, A.D. y Klein, R.M. (2002). Lactose intolerance. *American Family Physician*. 65(9), 1845-1850.





¿A qué se deben las diferencias en los patrones de prevalencia de la intolerancia a la lactosa entre distintas poblaciones del mundo? Existen distintas hipótesis al respecto; una de ellas, llamada *hipótesis cultural histórica*, indica que la mutación habría aparecido hace aproximadamente 10 000 años atrás en Medio Oriente, donde comenzó la domesticación de ovejas y cabras. Como se desprende de la tabla 1, esta región tiene una prevalencia baja de intolerancia a la lactosa; la hipótesis sugiere que las personas con niveles altos de la enzima lactasa lograron sobrevivir mejor que quienes no la presentaban, porque podían absorber adecuadamente todos los nutrientes de la leche sin tener diarrea. Por ello, es posible que fueran más saludables y tuvieran más hijos que los sujetos que no presentaban la enzima.

Una idea distinta es conocida como la *hipótesis de la absorción de calcio*. Esta explica que la persistencia de lactasa en Europa del Norte se debe a que en esas latitudes hay poca luz solar necesaria para la síntesis de vitamina D, y por lo tanto bajos niveles de este

importante nutriente para la absorción de calcio. La lactosa favorece la absorción de calcio de la leche y previene el raquitismo, enfermedad que deforma los huesos debido a niveles insuficientes de calcio. De este modo, los individuos con persistencia de lactasa tenían menos raquitismo y deformaciones pélvicas, y como consecuencia tenían más hijos.

La selección natural estaría actuando en ambas hipótesis, beneficiando a los individuos con persistencia de lactasa. Con los años, esta mutación y luego otra que se generó entre los habitantes de África se expandieron por el mundo, permitiendo que hoy una proporción de la población mundial adulta pueda consumir leche sin presentar síntomas físicos molestos. En las poblaciones amerindias, como la chilena, las personas que tienen la capacidad de absorber lactosa en la vida adulta tienen la variante del genotipo europeo que fue introducida por los españoles cuando llegaron a América.

Fuente: Morales, E., Azócar, L., Maul, X. et al. (2011). The European lactase persistence genotype determines the lactase persistence state and correlates with gastrointestinal symptoms in the Hispanic and Amerindian Chilean population: a case control and population-based study. *British Medical Journal*. Recuperado de <http://bmjopen.bmj.com/content/1/1/e000125.full.pdf+html>

### Actividad

1. ¿En qué consiste la intolerancia a la lactosa? ¿Y por qué no se le considera una enfermedad?
2. Explica cómo opera la selección natural en la hipótesis cultural histórica y en la hipótesis de la absorción de calcio.
3. En las poblaciones donde se originó el fenotipo de tolerancia a la lactosa, ¿qué tipo de selección natural operó?
4. Dada la proporción de personas intolerantes a la lactosa en nuestra población y los factores culturales y nutricionales que determinan el consumo de leche, ¿qué medidas sugieres para evitar los síntomas de la intolerancia a la lactosa y asegurar una adecuada nutrición?



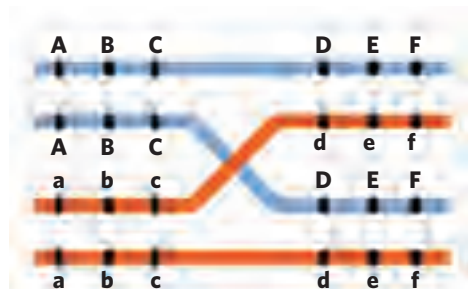
### Organiza lo que sabes

En tu cuaderno, diseña un organizador gráfico usando al menos trece de los conceptos de esta lista. Este organizador representará lo que has aprendido.

cruces no aleatorios	flujo génico	recombinación génica	deriva génica
genes alelos	selección natural	dimorfismo sexual	genética de poblaciones
hipermetropía	selección natural direccional	efecto cuello de botella	mutación
selección natural disruptiva	efecto fundador	población	permutación
selección natural estabilizadora	entrecruzamiento	selección sexual	
evolución	proporción genotípica	variabilidad genética	

### Evaluación de proceso

1. Observa el siguiente esquema y a continuación responde las preguntas. (5 puntos).
  - a. ¿Qué proceso representa la imagen?
  - b. ¿En qué células ocurre?
  - c. ¿Cómo se relaciona este proceso con la variabilidad genética? Explica.
  - d. ¿Qué otros mecanismos conoces que introducen variabilidad genética en las poblaciones?

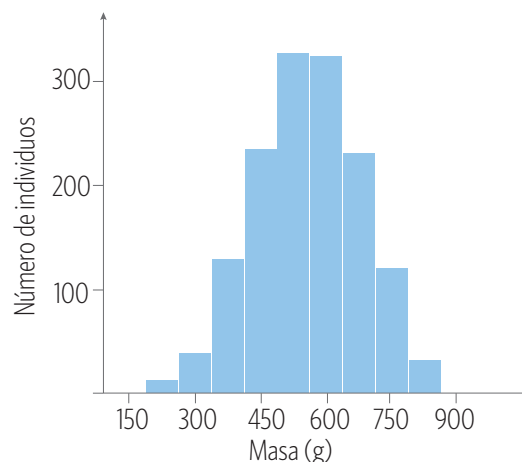


2. La ballena franca austral (*Eubalaena australis*) ha sufrido caza indiscriminada por parte del ser humano, por lo que se ha reducido su número poblacional de manera drástica en los últimos siglos. (6 puntos).
  - a. En el caso hipotético de que las ballenas que lograron sobrevivir a la caza masiva fueran de mayor tamaño que la media, y vieran reducida su capacidad migratoria, ¿qué consecuencias tendría este hecho para la sobrevivencia y evolución de la especie?
  - b. En este caso, ¿cuál es la causa y el efecto que genera el cuello de botella?
  - c. ¿Cómo podría ser el fenotipo de las futuras generaciones de ballenas? Fundamenta.



3. El gráfico muestra el número de sobrevivientes de una población de aves, con relación a la masa corporal, luego de un período prolongado de bajas temperaturas. Obsérvalo y responde las preguntas planteadas a continuación. (6 puntos).
- Según el gráfico, ¿cuál sería, aproximadamente, la masa corporal ideal para estas aves?
  - ¿Qué valores de masa corporal aproximados tienen las aves con un menor éxito reproductivo?
  - ¿Qué tipo de selección natural ha operado en esta población de aves? Fundamenta tu respuesta.
  - Infiere qué presiones ambientales pudieran estar actuando sobre la población.

**Gráfico 8:** Sobrevivencia vs. masa corporal.



Adaptado de Star, C., Evers, Ch. & Starr, L. *Biology Today and Tomorrow*. Cengage Learning, Inc. California, 2010

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Explicar la importancia de las mutaciones y de la recombinación genética para la generación de variabilidad en una población y para el proceso evolutivo.	1	_____/5	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Describir la influencia de fenómenos poblacionales azarosos, como la deriva génica, en la evolución.	2	_____/6	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Distinguir las variantes de la selección natural y sus efectos sobre la evolución de las poblaciones.	3	_____/6	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

# ¿Cómo se forman las nuevas especies?

► Debes recordar: **Evolución - Selección natural**

## Trabaja con lo que sabes

Según lo que has aprendido y al esquema de los pinzones, responde las siguientes preguntas:

1. Si todos los pinzones vienen de un ancestro común, ¿qué tuvo que haber pasado con dicho ancestro para que se originara la variedad de especies de pinzones observados por Darwin?
2. ¿Qué relación hay entre la forma y tamaño del pico de los pinzones y sus hábitos alimentarios?



◀ Diferentes pinzones que Darwin observó en las islas Galápagos, y su tipo de alimentación.

## Propósito de la lección

En la unidad anterior aprendiste que la evolución es la causa de la biodiversidad que existe en el planeta, y durante esta unidad estudiaste cómo operan los distintos mecanismos evolutivos. En esta lección aprenderás cómo estos procesos pueden llevar a la formación de nuevas especies e influir, por lo tanto, en la biodiversidad.

140



Opina, en no más de 140 caracteres, sobre el valor de la biodiversidad y las medidas que propondrías para su protección.

## 1. Especiación: generación de nuevas especies

Aunque existen diferentes conceptos de especie, los biólogos concuerdan en indicar que una **especie biológica** es un conjunto de poblaciones que se cruzan entre sí, o tienen la potencialidad de hacerlo, y que dejan descendencia fértil.

Aunque esta definición excluye a los organismos con reproducción asexual, es un concepto aceptado por la comunidad científica.

Las especies surgen como resultado de dos eventos necesarios: el **aislamiento reproductivo de las poblaciones** y la **divergencia genética**. ¿En qué consisten estos eventos?

Si dos poblaciones son lo suficientemente diferentes como para que no existan cruzamientos entre sus miembros, entonces el **flujo génico** entre ellos será muy bajo o nulo (aislamiento). Como consecuencia, ambas poblaciones se alejan, genéticamente, una de la otra (divergencia), porque no existe flujo de genes entre sus miembros y originan especies diferentes (especiación).

### 1.1 Mecanismos de aislamiento reproductivo

Se considera como mecanismo de aislamiento reproductivo a toda barrera que evite el flujo de genes entre las poblaciones. Se reconocen dos grandes tipos: **mecanismos de aislamiento precigótico** y **postcigótico**.

- **Mecanismos de aislamiento precigótico:** impiden que se forme el cigoto. Existen diversos mecanismos específicos, dentro de los cuales está el **aislamiento geográfico**, que corresponde a barreras como montañas, ríos, lagos y mares, que tienen efecto de interrupción del flujo génico entre las poblaciones. En aquellas poblaciones en que no existen barreras geográficas, pueden operar otros tipos, como el **aislamiento ecológico**, que ocurre entre especies muy emparentadas que viven en una misma área, pero en ambientes diferentes, por lo cual los organismos no se aparean en época reproductiva. También existe el **aislamiento temporal** o **estacional**, en que los organismos de diferentes especies que viven en un mismo hábitat se reproducen en diferentes períodos del año. Otro tipo de aislamiento es el **mecánico**, en el cual los organismos de especies diferentes pueden intentar aparearse, pero los gametos masculinos no ingresan al interior del sistema reproductor femenino, ya que los órganos copuladores presentan formas o tamaños incompatibles. Otro mecanismo frecuente corresponde al **aislamiento conductual**, que consiste en comportamientos de cortejo distintos que no son reconocidos por especies diferentes, o que no gatillan la respuesta copulatoria.



- ▲ En el caso de los coleópteros, los ejemplares de las imágenes pertenecen a la misma familia, pero no pueden reproducirse entre sí, por la incompatibilidad de sus órganos reproductores (mecanismo precigótico).



- ▲ Las particularidades del relieve chileno, como sus cadenas montañosas, han favorecido el aislamiento geográfico.

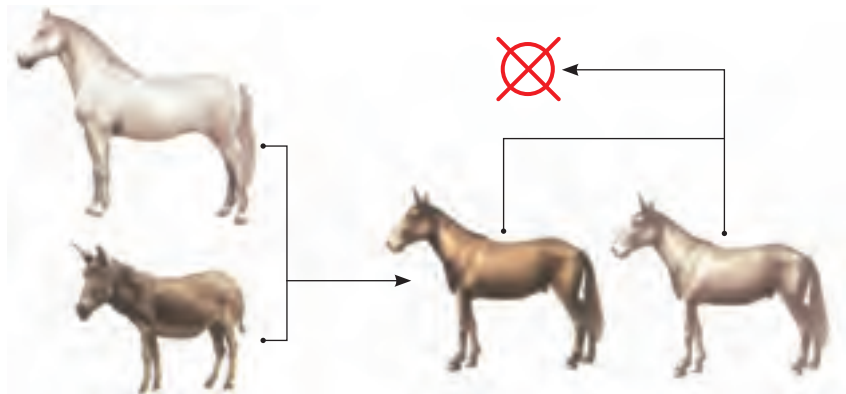
**Actividad 5** Analizar e inferir sobre el...**Aislamiento reproductivo**

Lee las siguientes situaciones y determina qué tipo de aislamiento reproductivo está operando. Fundamenta tu respuesta.

1. En ciertas zonas, las especies de mosca *Drosophila serrata*, *Drosophila birchii* y *Drosophila dominicana* comparten el territorio, pero tienen diferentes formas de cortejo.
2. Las ostras y los erizos que comparten un hábitat pueden liberar sus gametos en períodos similares, pero estos manifiestan barreras químicas que impiden la fecundación.
3. En ciertas zonas de Norteamérica, las especies de pino *Pinus radiata* y *Pinus muricata* crecen juntas, pero *P. radiata* libera polen en febrero y *P. muricata* lo hace en abril.

- **Mecanismos de aislamiento postcigótico:** operan cuando se forman cigotos entre organismos de especies diferentes (cigotos híbridos). En algunos casos en que se forman cigotos híbridos, el desarrollo embrionario se interrumpe (inviabilidad de los híbridos). Sin embargo, existen ocasiones en que los cigotos híbridos pueden desarrollarse hasta convertirse en organismos con similar aspecto de un adulto, pero estériles (esterilidad de los híbridos). Por ejemplo, la mula o híbrido que se origina entre el asno y la yegua.

El caso de la mula corresponde a un mecanismo postcigótico, pues a pesar de que haya ocurrido la formación del cigoto, el organismo resultante es un híbrido estéril. ▶

**1.2 Tipos de especiación**

Se distinguen dos tipos básicos de especiación: la especiación alopátrica y la especiación simpátrica.

- **Especiación simpátrica:** esta especiación (del griego *sún*, juntos, y del latín *patros*, lugar de nacimiento) ocurre en ciertos casos cuando surgen dos especies, desde una misma población, en una misma región geográfica. El aislamiento reproductivo en este tipo de poblaciones resultaría de la existencia de barreras ecológicas.

Otra de las explicaciones para la especiación simpátrica sería la selección disruptiva. En ese caso, el favorecimiento de los individuos con fenotipos extremos para una característica podría llevar a la diferenciación de conjuntos genéticos distintos dentro de una misma población, lo cual, eventualmente, provocaría el aislamiento reproductivo de sus portadores.

- **Especiación alopátrica:** esta especiación (del griego *allos*, otro, diferente, y del latín *patros*, lugar de nacimiento) considera que el primer paso para la formación de dos nuevas especies es la **separación geográfica** entre poblaciones de una especie ancestral, luego de lo cual los cruces entre miembros de dos poblaciones dejan de ocurrir. De esta forma, las mutaciones ventajosas que surjan en una de ellas no serán compartidas por la otra.

En ambientes distintos y en condiciones de aislamiento, la selección natural actúa diferenciadamente sobre cada población, conduciendo a cada especie a adaptaciones particulares.

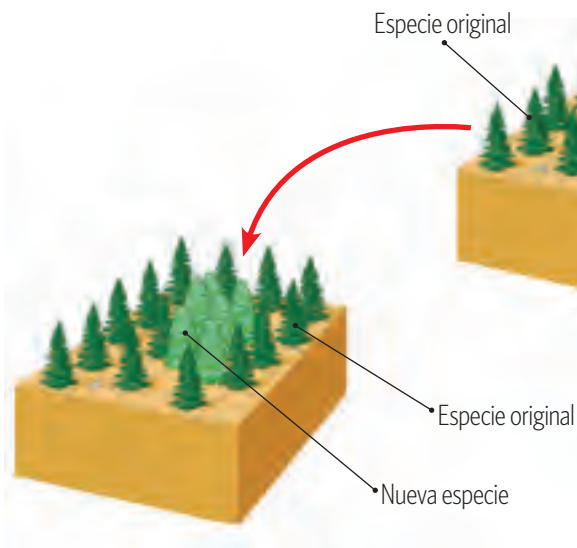
A medida que pasa el tiempo, se tiende a la progresiva diversificación genética de las poblaciones separadas, pudiendo haberse diferenciado tanto una de la otra que el intercambio de genes entre ellas ya no es posible. Se dice entonces que presentan un aislamiento reproductivo y, por lo tanto, constituyen dos especies diferentes.

### Para saber +

- Hace cerca de 25 millones de años (m.a.) surgió en África y Eurasia un grupo de primates desde el cual divergió nuestro linaje, el de los homínidos, hace 5 a 7 m.a. Los Australopithecinos, surgidos hace 4 m.a. en África, son un género de homínidos bípedos a partir del cual diverge el género *Homo*, cuyos fósiles más tempranos tienen cerca de 2,5 m.a. y fueron hallados en África. Nuestra especie es la única representante viva de este género y se formó en África hace 150 000 a 200 000 años.

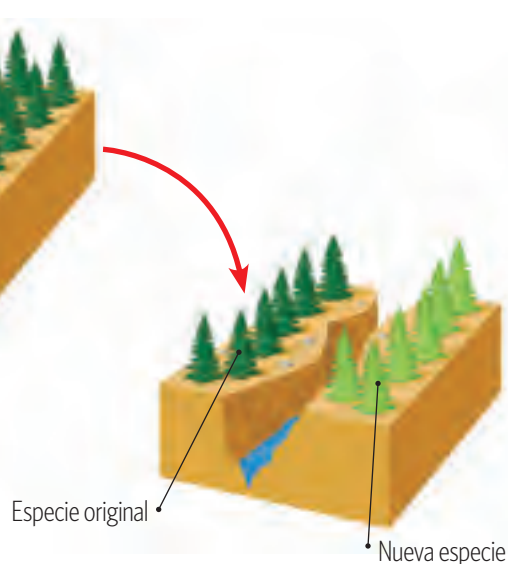
### Especiación simpátrica

En este tipo de especiación, la o las nuevas especies se originan mientras conviven con la especie original, de la cual provienen.



### Especiación alopátrica

En este tipo de especiación, la o las especies nuevas se originan producto de haber quedado aisladas geográficamente de la especie original.



▲ Representación de la especiación simpátrica y alopátrica.

### 1.3 Especiación en Chile

Muchas de las especies chilenas son **endémicas**, es decir que solo se encuentran de manera natural en el territorio; esto se explica por la condición especial de aislamiento geográfico de nuestro país: la presencia del desierto de Atacama, la cordillera de los Andes y el océano Pacífico dificultan los flujos génicos con otras poblaciones. Este endemismo se incrementa en las zonas geográficas más alejadas, como Juan Fernández y las islas Desventuradas (San Ambrosio y San Félix).

#### Apunte

Radiación adaptativa: o evolución divergente, es la rápida diversificación de especies como resultado de procesos de especiación en linajes que comparten un mismo ancestro común. Las especies originadas presentan adaptaciones particulares a los diferentes ambientes.

Un caso interesante de especiación es lo ocurrido en el archipiélago de Juan Fernández. Está conformado por dos islas: Robinson Crusoe y Alejandro Selkirk, y el islote llamado Santa Clara. Característico del archipiélago es el género *Dendroseris*, tipo de arbusto endémico, con sus once especies, de las cuales ocho son exclusivas de la isla Robinson Crusoe. Diversas investigaciones han revelado que el ancestro del género arribó al archipiélago poco después de la formación de las islas y se produjo un rápido proceso de especiación, que dio origen a las nuevas especies que se diferenciaron debido a la amplia gama de ambientes que ofrecían las islas. Esta radiación adaptativa llevó finalmente al establecimiento de las especies que hoy día habitan el archipiélago.

#### Aquí CIENCIA

##### Radiación adaptativa

Se han hallado plantas de géneros similares, como *Aristotelia*, y *Nothofagus*, entre muchas otras, en regiones tan alejadas como América del Sur, Australia y Nueva Zelanda.



▲ Maqui (*Aristotelia chilensis*).



▲ *Dendroseris litoralis*.

#### Actividad 6

Recopilar información e inferir sobre...

##### Especiación asociada a la deriva continental

1. Investiga el postulado central de la teoría de la deriva continental y sus evidencias.
2. Propón una explicación para la existencia de géneros de especies vegetales similares en Chile y Australia.



**Minitaller****Identificación de problemas de investigación e hipótesis**

Los ecólogos chilenos Eduardo Fuentes y Fabián Jaksic, en 1979, formularon una hipótesis para explicar la gran diversidad de lagartos de cuello liso (género *Liolaemus*) presentes en Chile. Se han contabilizado setenta y seis especies del género *Liolaemus* en nuestro país, de las cuales cuarenta y tres son endémicas. Propusieron que el proceso de especiación se produjo debido a las glaciaciones que han existido en el territorio. La presencia de los hielos obligó a las primeras especies de lagartos a bajar de la montaña y, luego de los deshielos, a retornar a las alturas. Este fenómeno fue reiterativo y los desplazamientos provocaron una fuerte diferenciación de las poblaciones de la alta montaña y los valles. En la zona norte, las diferentes especies se habrían generado por los efectos desertificantes de la corriente de Humboldt, lo que provocó que los lagartos buscaran refugios muy protegidos, impidiendo el flujo génico entre las poblaciones, diferenciando a las especies.

Fuente: Fuentes, E.R. y F.M. Jaksic (1979). *Lizards and rodents: an explanation for their relative species diversity in Chile*. Archivos de Biología y Medicina Experimentales (Chile), 12: págs. 179-190.

**Lo que debes hacer**

Junto con un compañero, discute y contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál habrá sido el problema de investigación al cual buscaron dar una respuesta?
2. ¿Cuál fue su hipótesis?
3. Según su hipótesis, ¿qué tipo de especiación operó? Fundamenta.



▲ *Liolaemus lemniscatus*.



▲ *Liolaemus nitidus*.

**Antes de seguir, utiliza lo aprendido**

1. ¿Por qué el aislamiento reproductivo de las poblaciones y la divergencia genética influyen sobre la biodiversidad del planeta?
2. ¿Con qué tipo de aislamiento reproductivo se relaciona mejor la especiación simpátrica y la especiación alopátrica? Fundamenta.
3. ¿Cómo opera la selección natural en ambos tipos de especiación?
4. ¿Cómo pueden influir las mutaciones y la recombinación genética en la especiación?

## Efecto del flujo génico

Las observaciones cuantitativas de un fenómeno permiten el cálculo matemático empleando los valores que asumen las variables en estudio. Esto ayuda a un mejor análisis y comprensión del fenómeno que se investiga. En este caso, se trata de una simulación del efecto que tuvo la llegada de los inmigrantes europeos sobre la composición genética de la población prehispánica.

### Antecedentes

Cuando las distintas poblaciones de una misma especie no están aisladas, es posible la migración de los individuos entre ellas. De este modo, cuando una población recibe un individuo, también está recibiendo sus genes; esto significa que el flujo génico cambia las frecuencias alélicas en una población.

Así sucedió con las poblaciones prehispánicas, las que solo presentaban el alelo Rh+, por lo que el alelo Rh- que hoy existe en América se debe a la migración europea y de otras partes del mundo, con el consiguiente mestizaje. Recuerda que factor Rh es una clase de proteína que se encuentra en los glóbulos rojos. Cuando alguien tiene esa proteína se le considera "Rh positivo" (Rh+), y cuando no la tiene es "Rh negativo" (Rh-).

### Problema de investigación

Si se cuantifican las frecuencias génicas antes y después del mestizaje, es posible dimensionar la magnitud del cambio debido al flujo génico. En un estudio hipotético se cuantificó la cantidad de alelos Rh+ y Rh- en una población en que se registró una inmigración. Los resultados se muestran en la tabla.

**Tabla 2.** Número de alelos en la población.

	Población receptora	Inmigrantes	Población mixta
Número de alelos Rh+	5 000	100	5 100
Número de alelos Rh-	200	900	1 100
Total	5 200	1 000	6 200

Con el objetivo de dimensionar la magnitud del cambio, se determinaron las frecuencias génicas y genotípicas en la población receptora, en el grupo de inmigrantes y en la población mixta resultante luego del mestizaje. Para esto se realizó el siguiente procedimiento:

Frecuencia Rh+ = Número de alelos Rh+ / N° total de alelos = 5 000/5 200 = 0,96, es decir, el 96 % del total de alelos de la población receptora son de tipo Rh+.

Frecuencia Rh- = Número de alelos Rh- / N° total de alelos = 200/5 200 = 0,04, esto es, el 4 % del total de alelos de la población receptora son de tipo Rh-.

Conocidas las frecuencias de ambos alelos, se determinó la frecuencia de los distintos genotipos en la población receptora. Para este caso existen tres genotipos posibles: homocigoto dominante Rh+/Rh+, heterocigoto Rh+/Rh- y homocigoto recesivo Rh-/Rh-. Las frecuencias genotípicas se calcularon según:

Genotipo homocigoto dominante Rh+/Rh+ =  $0,96 \times 0,96 = 0,922$  (92,2 %)

Genotipo heterocigoto Rh+/Rh- =  $2 \times (0,96 \times 0,04) = 0,077$  (7,7 %)

Genotipo homocigoto recesivo Rh-/Rh- =  $0,04 \times 0,04 = 0,001$  (0,1 %)

Esto quiere decir que el 92,2 % de la población receptora presentaba genotipo homocigoto dominante Rh+/Rh+, el 7,7 % tenía genotipo heterocigoto Rh+/Rh- y solo el 0,1 % mostraba genotipo homocigoto recesivo Rh-/Rh-. Una vez que se obtuvieron estos datos y se determinó la misma información para los inmigrantes y la población mixta resultante después del mestizaje, fue posible visualizar el efecto del flujo génico sobre estas poblaciones. En este sentido se apreciaron diferencias entre las frecuencias génicas y genotípicas previas al mestizaje con las resultantes después del cruce para todos los alelos y genotipos, lo que en este caso refleja el efecto del flujo génico.

### **Análisis e interpretación de resultados**

Responde las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál es el problema que se intenta responder?
2. ¿Cuál es el objetivo de determinar las frecuencias génicas y genotípicas en cada caso?
3. Siguiendo el procedimiento descrito, determina las frecuencias génicas y genotípicas en el grupo de inmigrantes y en la población mixta y elabora una tabla para comparar las frecuencias de las tres poblaciones.
4. ¿Por qué las frecuencias genotípicas de la población pueden modificarse cuando existe migración?
5. En este caso, ¿crees que la población receptora ha evolucionado? Explica.
6. Elabora un informe en el que presentes tu trabajo.



### Organiza lo que sabes

Revisa en tu cuaderno el organizador gráfico que creaste en la sección *Evalúo mi progreso* anterior, y utilízalo como base para diseñar un nuevo organizador. Incluye en él, al menos, siete de los conceptos de la siguiente lista. Esta vez, hazlo en una cartulina o papelógrafo, para que lo puedas exponer y discutir con tus compañeros.

aislamiento ecológico

barreras ecológicas

especiación simpátrica

aislamiento geográfico

biodiversidad

especie biológica

aislamiento postcigótico

divergencia genética

especie endémica

aislamiento precigótico

especiación

flujo génico

aislamiento reproductivo

especiación alopátrica

separación geográfica

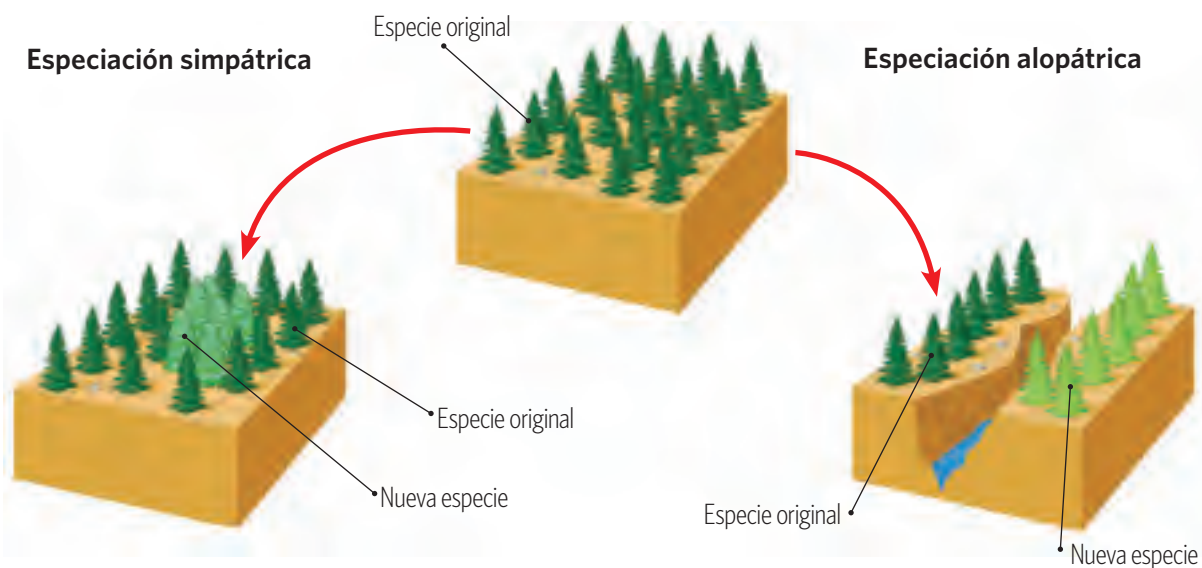
### Evaluación de proceso

- Lee atentamente las siguientes situaciones y determina qué tipo de aislamiento reproductivo está operando. Fundamenta tu respuesta.

Completa la tabla identificando el tipo de aislamiento reproductivo e indica si se trata de un mecanismo precigótico o postcigótico. (5 puntos).

Modo de acción	Tipo de aislamiento
Interrupción del desarrollo del híbrido.	
Especies emparentadas de una misma localidad explotan recursos distintos.	
Los órganos copuladores de especies similares son incompatibles.	
Los híbridos presentan esterilidad, por lo que no pueden reproducirse.	
Los gametos de especies distintas no pueden unirse, a pesar de que se encuentren.	

2. Analiza los esquemas de especiación alopátrica y simpátrica y responde: (6 puntos).



- ¿Cómo se manifiesta el aislamiento en ambos casos?
- ¿Puede ocurrir especiación sin aislamiento geográfico? Explica.
- ¿Puede ocurrir especiación sin aislamiento reproductivo? Explica.

### Me evaluó

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Describir el efecto que tienen en la formación de especies los procesos de divergencia genética de las poblaciones y del aislamiento de estas.	1 y 2	_____/11	

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

### Lección 1: ¿Cuál es el origen de la variabilidad?

- El proceso evolutivo ocurre en las poblaciones o en las especies a lo largo de las generaciones. Los cambios pueden ser mínimas modificaciones imperceptibles a la vista o cambios de gran magnitud con respecto a los antepasados.
- La genética de poblaciones estudia los procesos evolutivos que ocurren en las poblaciones desde el punto de vista de la herencia y la variación genética, y basa su estudio en la variabilidad genética.
- La variabilidad genética es la diversidad de alelos presentes en una población, su origen está en las mutaciones.
- Las mutaciones corresponden a cambios en la información genética. Algunas de ellas significan la formación de una nueva variedad de un alelo y se manifiestan como una característica que no existía antes en la población. Las mutaciones ocurren en forma azarosa, y pueden producirse de forma natural o inducida por algún tipo de agente.
- La recombinación genética incluye a los procesos de entrecruzamiento o *crossing over* y permutación cromosómica o segregación al azar de los cromosomas homólogos.



### Lección 2: ¿Cómo influye el azar en la evolución de una población?

- El flujo génico es la transferencia de material genético entre poblaciones, que ocurre por el movimiento de individuos, o de sus gametos. La frecuencia génica depende de la intensidad de este flujo. Un alto nivel de flujo génico mantendrá una frecuencia génica semejante entre ambas poblaciones; en caso contrario, diferirán en su frecuencia génica.
- La deriva génica son los cambios en frecuencia génica de una población debido a fenómenos azarosos. El impacto del azar es mayor en poblaciones pequeñas que en las grandes.



- Un caso especial de deriva génica es el efecto cuello de botella. Este fenómeno sucede con la pérdida acelerada de variación genética frente a eventos de disminución numérica en la población, como una catástrofe. Un caso especial de cuello de botella es el efecto fundador, que ocurre cuando un reducido grupo de la población funda una nueva, llevando consigo solo una parte de la diversidad inicial.

### Lección 3: ¿Cuáles son las consecuencias de la selección natural?

- La selección natural no es un proceso azaroso, aunque las fuentes de la variabilidad genética sobre la cual se sustenta sí lo sean.
- Existen tres tipos de selección natural: estabilizadora, direccional y disruptiva.
- La selección estabilizadora favorece a los fenotipos intermedios, aumentando su frecuencia y disminuyendo la de los organismos con fenotipos extremos. La selección direccional favorece a los individuos de uno de los fenotipos extremos, aumentando la frecuencia de los individuos que presentan uno de estos fenotipos, y, finalmente, la selección disruptiva favorece a los individuos con cualquiera de los fenotipos extremos, afectando a los individuos con fenotipos intermedios.



- La selección sexual fue propuesta por Charles Darwin como un mecanismo que explica la transmisión de una generación a otra de los atributos que favorecen la reproducción respecto de la elección de pareja y el apareamiento exitoso, aunque no necesariamente aumenten la capacidad de supervivencia del individuo que expresa dichos rasgos.
- Se da como competencia entre individuos del mismo sexo por obtener una pareja del sexo opuesto (selección intrasexual), y como la elección que hacen los individuos de un sexo (habitualmente hembras) hacia el sexo opuesto (selección intersexual).

### Lección 4: ¿Cómo se forman las nuevas especies?

- Una especie biológica es un conjunto de poblaciones que se cruzan entre sí, o tienen la potencialidad de hacerlo, y que dejan descendencia fértil. La especiación ocurre como resultado de dos eventos necesarios: el aislamiento reproductivo de las poblaciones y la divergencia genética.
- La formación de nuevas especies o especiación se explica por la acción de mecanismos de aislamiento reproductivo precigótico (generalmente mecánico o de tipo conductual) y postcigótico (inviabilidad o esterilidad de los híbridos interespecíficos). La inhibición del flujo génico entre poblaciones de la misma especie y su posterior divergencia puede ocurrir en presencia de barreras geográficas (especiación alopátrica) o ecológicas (simpátrica).



Utiliza lo aprendido durante esta unidad para contestar las siguientes preguntas.

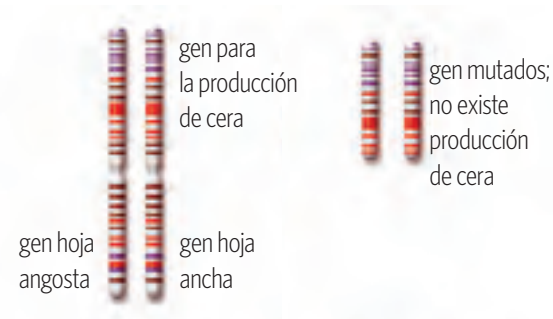
- Los diagramas representan dos pares de cromosomas de plantas de la misma especie con dos pares de alelos, uno de ellos influye en la superficie de la hoja y el otro en la presencia de cera. Una mayor superficie de las hojas permite captar más luz, útil para la fotosíntesis, y perder más agua por transpiración, mientras que la cera que cubre las hojas ayuda a disminuir la pérdida de agua por evaporación.

La planta A tiene el fenotipo normal, mientras que la planta B presenta dos mutaciones, heredables, que afectan las cualidades de sus hojas. (12 puntos).

Planta A. Plantas de hojas anchas y cubiertas de una sustancia cerosa.



Planta B. Plantas de hojas menos anchas y con menos cera.



- ¿Qué condiciones de luz y temperatura tiene el ambiente en el que esperarías encontrar la planta A? Fundamenta.
- ¿Para qué condiciones de luz y temperatura resultan ventajosas las mutaciones de la planta B?
- ¿Qué fenotipo presentará una planta que sea homocigota para ambos genes mutados?
- Considerando los procesos de entrecruzamiento y permutación, ¿qué fenotipos sería posible encontrar en futuras generaciones de esta población de plantas?
- ¿Será posible que en futuras generaciones individuos de esta población posean fenotipos que les permitan sobrevivir en condiciones ambientales opuestas a las que vive la planta A? Fundamenta.
- ¿Cómo influyen las mutaciones y la recombinación en la evolución de las poblaciones?



2. Analiza la imagen y responde las siguientes preguntas. (5 puntos).



▲ Representación del cambio en la composición genética en una población causada por la migración y flujo génico.

- ¿Qué ha ocurrido con las frecuencias génicas de la población de la isla?
- ¿Es correcto considerar que el cambio observado corresponde a evolución? Explica.
- Si los inmigrantes nunca se mezclan con los residentes de la isla, ¿existiría flujo génico? Fundamenta tu respuesta.

3. Analiza la siguiente situación y, luego, responde las preguntas que se plantean.

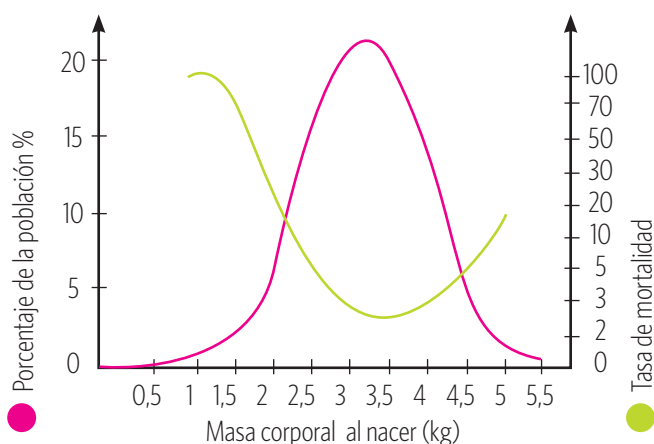
Los elefantes marinos del norte del país fueron prácticamente extinguidos debido a su caza masiva en el siglo pasado. Esto llevó a que la población disminuyera a 20 ejemplares. De estos 20, la población logró recuperarse, superando en la actualidad los 30 000 individuos. (6 puntos).

- ¿Cómo este episodio afectó a la diversidad genética de la población?, ¿por qué?
- ¿Por qué razón esta situación se enmarca dentro del efecto “cuello de botella”?
- ¿La población actual tiene los mismos genes alelos y en la misma proporción que la población previa al inicio de la caza indiscriminada? Fundamenta tu respuesta.

4. El siguiente gráfico muestra la distribución de la masa corporal, al momento de nacer, de los individuos de una población humana correlacionada con la tasa de mortalidad. Obsérvalo y responde las preguntas. (4 puntos).

- ¿Qué relación existe entre la masa corporal al nacer y la mortalidad?
- En cuanto a la masa corporal, ¿qué rasgo es menos ventajoso en esta población?
- ¿Qué tipo de selección natural está operando en esta población? Explica.

**Gráfico 9:** Relación entre masa corporal y tasa de mortalidad al nacimiento.

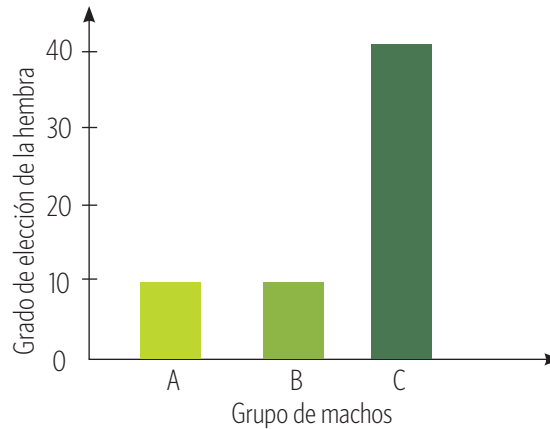


Fuente: Starr, C. y Taggart, R. (2006). *Biología. La unidad y la diversidad de la vida*. Editorial Progreso S. A. (Adaptación).

## Evaluación final de Unidad

5. Los machos de una especie de ave africana, llamada “viudas del paraíso”, se caracterizan por sus colas de 50 cm de largo. Para comprobar si el largo de la cola de los machos es un rasgo que influye en la decisión de la hembra cuando elige con quién aparearse, a un grupo de hembras de estas aves se les dio a escoger entre tres grupos de machos: **grupo control (A)**, machos con colas de 50 cm, **grupo cola cortada (B)**, machos con su cola reducida en 14 cm, y **cola larga (C)**, machos con colas de 64 cm. En el gráfico 10 se muestran los resultados obtenidos. (7 puntos).

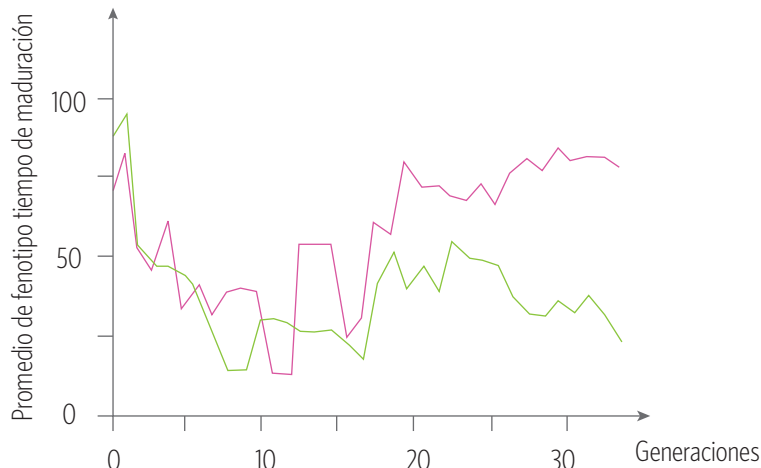
**Gráfico 10:** Grado de selección de los machos por las hembras según la longitud de la cola de estos.



Fuente: Archivo editorial.

- ¿Cuál es el grupo de machos más elegido por las hembras?
  - ¿Qué forma de selección sexual demuestran los resultados obtenidos? Explica.
  - ¿A qué tipo de selección natural corresponde esta situación? Explica.
  - Predice cómo sería el gráfico si solo se hubiera presentado a las hembras el grupo A y el grupo B de machos.
6. Una población experimental de *Drosophila melanogaster* fue seleccionada disruptivamente para el fenotipo tiempo de maduración. En cada generación, las moscas eran apareadas con otras que presentaran tiempo de maduración similar. Luego de 30 generaciones surgieron dos subpoblaciones con aislamiento reproductivo parcial. (8 puntos).

**Gráfico 11:** Desarrollo de *Drosophila melanogaster* (tiempo de maduración).



Fuente: Futuyama, D. *Evolution*. Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., 2005. (Adaptación).

A partir de la información presentada en el gráfico 11, responde:


- ¿Por qué han emergido dos subpoblaciones distintas luego de 30 generaciones? Explica.
- ¿Qué habría ocurrido en el experimento si las moscas se hubiesen apareado libremente con otras de cualquier fenotipo?
- Si comparamos los genotipos de las dos subpoblaciones nuevas, ¿qué encontraríamos?
- ¿Consideras que el gráfico aporta evidencia a favor de la especiación simpátrica? Fundamenta.


## Me evaluó

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos
Explicar la importancia de las mutaciones y de la recombinación genética para la generación de variabilidad en una población y para el proceso evolutivo.	1	6 o menos	7 a 9	10 o más
Describir la influencia de fenómenos poblacionales azarosos, como la deriva génica, en la evolución.	2 y 3	6 o menos	7 a 9	10 o más
Distinguir las variantes de la selección natural y sus efectos sobre la evolución de las poblaciones.	4 y 5	6 o menos	7 a 9	10 o más
Describir el efecto que tienen en la formación de especies los procesos de divergencia genética de las poblaciones y del aislamiento de estas.	6	4 o menos	5 a 6	7 o más

 Por lograr

 Logrado parcialmente

 Logrado totalmente

Unidad

# 6

## ADN y biotecnología

El ADN es, sin duda, la molécula más estudiada, se han invertido muchos recursos en conocer su estructura y su funcionamiento y muchísimos científicos han dedicado años de investigación para descubrir sus secretos. En esta unidad aprenderás por qué esta molécula es tan importante para la vida y cómo el conocimiento y control que tenemos de ella, aunque incompleto, ha afectado la existencia de millones de personas.

### ¿Qué piensas?

Reúnete con tres compañeros y discute las siguientes preguntas. Luego, un representante del grupo comunicará sus conclusiones ante el curso.

- ¿Por qué conocer el ADN es tan importante para la humanidad?
- ¿Cuáles son los beneficios y riesgos de manipular el ADN de los organismos?
- ¿En qué contextos has escuchado hablar acerca del ADN?



## Aprenderás a ...

### Lecciones

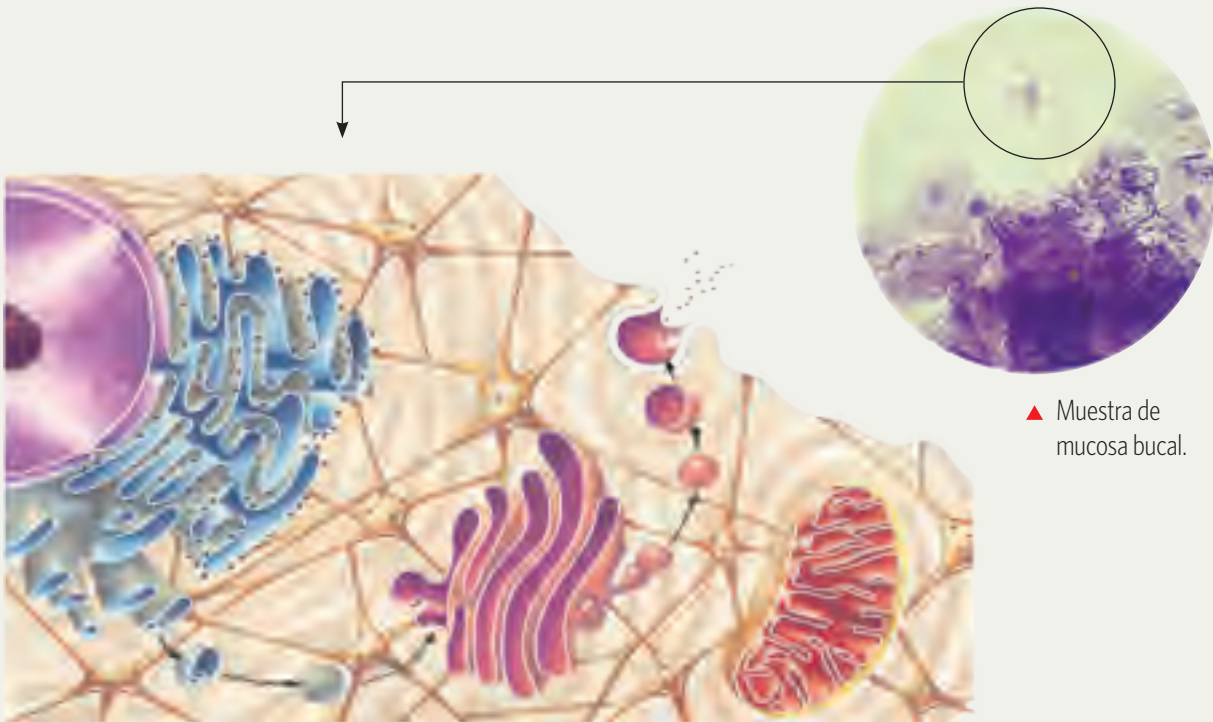
- |          |  |   |   |
|----------|--|---|---|
| <b>1</b> | ¿Cómo es la molécula de ADN?             | — | Describir la composición química, estructura y función del ADN.   |
| <b>2</b> | ¿Cómo se hereda el ADN?                  | — | Explicar la importancia de la replicación del ADN y el rol de las enzimas que participan del proceso.                             |
| <b>3</b> | ¿Cómo se expresa la información del ADN? | — | Explicar el proceso de transcripción y su regulación.   |
| <b>4</b> | ¿Cómo se sintetiza un polipéptido?       | — | Describir el proceso de traducción y la universalidad del código genético.  |
| <b>5</b> | ¿Qué es el proyecto genoma humano?       | — | Analizar los alcances biológicos y éticos del proyecto genoma humano basándose en conocimientos científicos.                      |
| <b>6</b> | ¿Qué puede ocurrir si se altera tu ADN?  | — | Describir y clasificar, según diferentes criterios, las mutaciones y sus efectos.   |
| <b>7</b> | ¿Qué es la biotecnología?                | — | Analizar las aplicaciones de la ingeniería genética y opinar acerca de su impacto en la sociedad, basándose en datos científicos. |

# ¿Cómo es la molécula de ADN?

➔ **Debes recordar:** Estructuras celulares - Función y ubicación del ADN

## Trabaja con lo que sabes

1. Describe la función de cinco estructuras representadas de la célula de mucosa bucal.
2. ¿El ADN se encuentra en el núcleo solamente? Fundamenta.
3. ¿Cuál es la función de la molécula de ADN?
4. ¿En qué momento del ciclo celular son visibles los cromosomas?



▲ Muestra de mucosa bucal.

▲ Estructura interna de una célula eucarionte.

## Propósito de la lección

La molécula de ADN contiene la información que permite organizar y formar a los seres vivos. En esta lección conocerás aspectos clave de su composición y estructura, además de algunas de las investigaciones que permitieron descubrirlas.

### Apunte

**Fenotipo:** es la expresión física o química de los genes de un organismo. Puede ser morfológico, como la forma o el tamaño; bioquímico, como la presencia de un cierto tipo de proteínas, y conductual.

## 1. ¿Dónde se encuentra la información genética?

En años anteriores, aprendiste que en las células eucariontes el ADN se encuentra en el **núcleo**, **mitocondrias** y **cloroplastos**. También que el ADN contiene la **información genética**, que debe ser copiada y transmitida de una célula a otra durante un ciclo celular, puesto que dirige la construcción y organización de la célula, con lo que influye en el fenotipo del organismo.

## 2. ¿ADN o proteínas?

En 1915, con la confirmación de la **teoría cromosómica de la herencia**, se estableció que eran los cromosomas los que portaban la información genética. Sin embargo, durante mucho tiempo, se supuso que eran las proteínas cromosómicas las moléculas responsables de transportarla.

En 1928, el misterio comenzó a resolverse, cuando el microbiólogo británico Frederick Griffith inicia sus investigaciones en búsqueda de la vacuna contra la neumonía. Griffith nunca encontró la vacuna, pero su experimento abrió la puerta para investigaciones que luego demostraron que el ADN es la molécula de la herencia.

### Actividad 1 Interpretar resultados y formular explicaciones sobre...

#### El experimento de Griffith

Griffith usó en su experimento dos cepas de la bacteria *Streptococcus pneumoniae*: La llamada S, cuyas colonias tienen una superficie lisa y que producen una forma de neumonía letal para los ratones, y otra cepa llamada R, cuyas colonias tienen la superficie rugosa y que no son letales para los ratones.



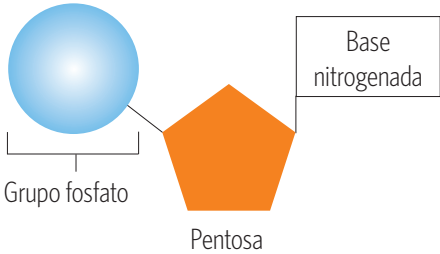
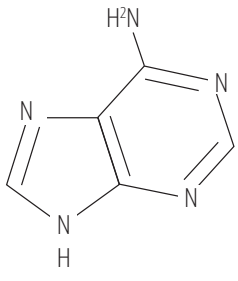
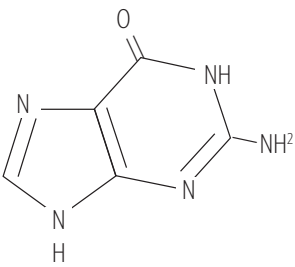
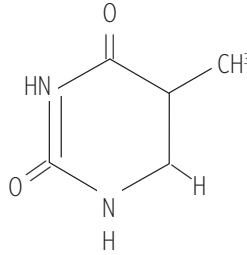
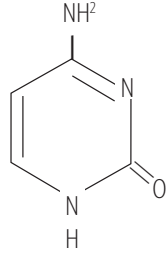
#### ▲ Experimento de Griffith.

- Observa y describe lo que ocurre en cada etapa del experimento.
- ¿Por qué en la etapa C el ratón sobrevive a la inyección con cepa S?
- ¿Cuál era el resultado predecible en la etapa D?
- ¿Cómo explicas que, al extraer sangre del ratón muerto en la etapa D, se obtuvieran bacterias de la cepa S vivas?

Lo que Griffith descubrió fue la **transformación bacteriana**, es decir, las moléculas de la herencia podían pasar de una bacteria a otra modificando el fenotipo. Sin embargo, esto no esclareció si las moléculas correspondían a proteínas o al ADN. En 1944, el biólogo canadiense Oswald Avery y su equipo de investigadores se propusieron identificar cuál era la molécula de la herencia. Para conseguirlo, aislaron las proteínas y el ADN de la cepa S y los añadieron a cultivos de la cepa R, luego analizaron el efecto de cada una sobre el fenotipo de las células de la cepa R. El resultado fue que solo el ADN produjo la transformación bacteriana observada por Griffith, lo que permitió identificar al ADN como la molécula responsable de la herencia.

### 3. Composición química del ADN

El ADN o ácido desoxirribonucleico es un ácido nucleico y, como tal, es un polímero formado por moléculas más pequeñas llamadas nucleótidos.

Estructura general de un nucleótido	Bases nitrogenadas		Tipo de base
<p>El ADN contiene cuatro tipos de nucleótidos y cada uno de ellos está formado por tres subunidades: un <b>grupo fosfato</b>, una <b>pentosa</b> o azúcar de cinco carbonos (desoxirribosa) y una <b>base nitrogenada</b>, que es diferente en cada tipo de nucleótido.</p>  <p>En una molécula de ADN puede haber miles de nucleótidos unidos. La información genética que contiene depende de su secuencia.</p>	 <p>Adenina (A)</p>	 <p>Guanina (G)</p>	<p><b>Purinas:</b> tienen dos anillos en su estructura.</p>
 <p>Timina (T)</p>	 <p>Citosina (C)</p>	<p><b>Pirimidinas:</b> tienen un anillo en su estructura.</p>	

### 4. Estructura del ADN, el modelo de la doble hélice

Una vez que se determinó la composición química del ADN, faltaba conocer cómo se organizaban los nucleótidos para formar la estructura del ADN, fundamental para comprender el funcionamiento de la molécula.

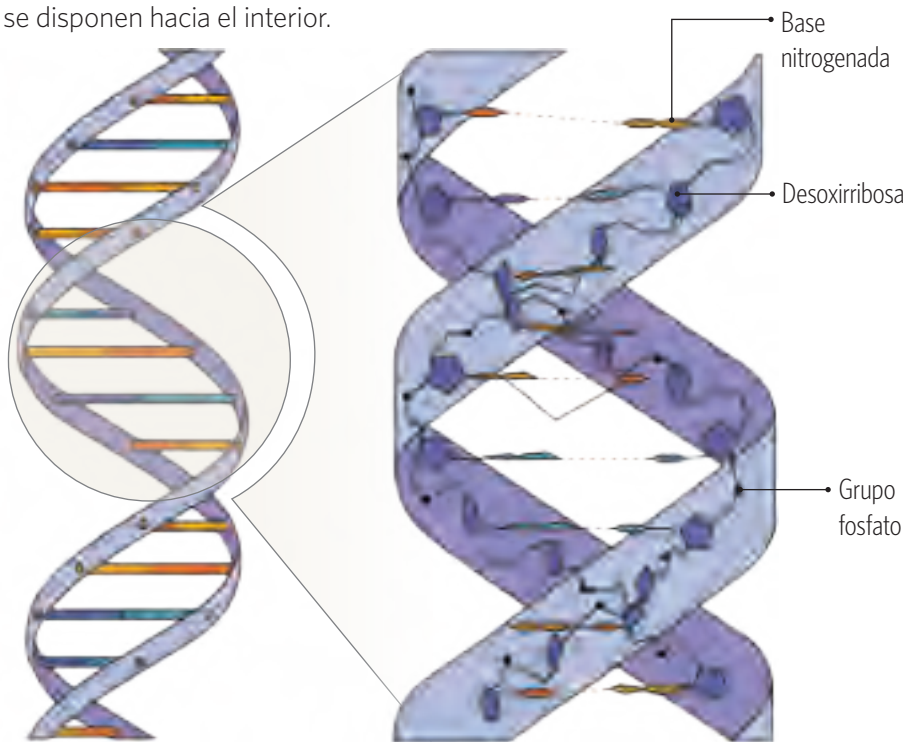
Diferentes investigadores competían por ser los primeros en descubrir la estructura del ADN. Finalmente, en 1953, el norteamericano James Watson y el británico Francis Crick propusieron un modelo del ADN, gracias al que obtuvieron el Premio Nobel en 1962, junto con Maurice Wilkins. Watson y Crick basaron su modelo en otras investigaciones, entre ellas:

- **Investigación de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins:** usando difracción de rayos X obtuvieron imágenes que mostraban la forma helicoidal de la molécula.
- **Investigación de Erwin Chargaff:** cuantificó las purinas y pirimidinas de distintas especies y determinó que la cantidad de nucleótidos de pirimidinas es igual que la de nucleótidos de purinas,  $(T+C) = (A+G)$ ; es decir, que la cantidad de T es igual a la de A y que la cantidad de G es igual a la de C en todas las especies investigadas.



Las principales características de la molécula de ADN, establecidas por Watson y Crick en su modelo son:

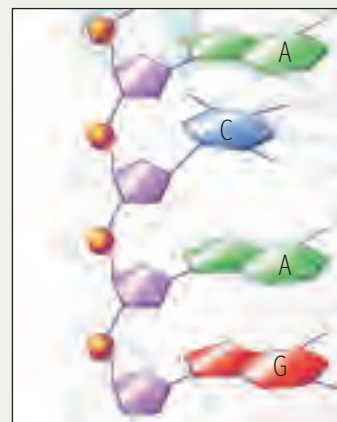
- El ADN está compuesto por dos cadenas de nucleótidos enrolladas que forman una doble hélice. Los nucleótidos de una misma cadena, se unen entre sí con enlaces covalentes entre el carbono 3' de la pentosa de un nucleótido con el grupo fosfato unido al carbono 5' del siguiente nucleótido.
- Las pentosas y los grupos fosfato forman el esqueleto externo de la hélice y las bases nitrogenadas se disponen hacia el interior.
- Las bases nitrogenadas de ambas cadenas se unen con puentes de hidrógeno. La adenina se une siempre con la timina, con dos puentes de hidrógeno, mientras que la guanina lo hace con la citosina con tres de estos enlaces. Por lo tanto, las secuencias de nucleótidos son complementarias, por ejemplo, la secuencia complementaria de GCATT es CGTAA.
- Las dos cadenas de nucleótidos son antiparalelas. Los extremos de cada una de las cadenas son denominados 5'-P (fosfato) y 3'-OH (hidroxilo) y las dos cadenas se alinean en direcciones opuestas, como si una estuviera de pie y la otra de cabeza, quedando el grupo -OH del extremo 3' de una de ellas enfrentado al grupo fosfato del extremo 5' de la cadena complementaria.



▲ Modelo de doble hélice del ADN.

**Antes de seguir**, utiliza lo aprendido

1. Explica, usando dibujos, el procedimiento experimental de Avery y sus resultados.
2. Siguiendo el modelo de Watson y Crick, dibuja la cadena de nucleótidos complementaria a la de la figura y responde:
  - a. ¿Por qué se define el ADN cómo una doble hebra antiparalela?
  - b. ¿Por qué una molécula de ADN con mayor porcentaje de G+C es más difícil de separar que otra con mayor proporción de A+T?



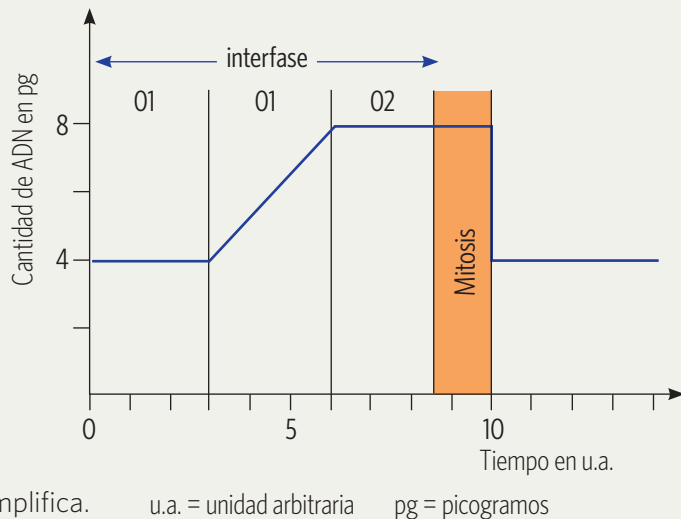
# ¿Cómo se hereda el ADN?

➡ **Debes recordar: Ciclo celular - Enzimas**

## Trabaja con lo que sabes

- Interpreta el gráfico y responde:
  - Si una célula tiene en G1 una cantidad de ADN igual a  $2c$ , ¿cuánto ADN tendrá la célula al terminar S?
  - ¿En qué etapa del ciclo celular se replica el ADN?
  - ¿Por qué al terminar la mitosis se observa una disminución de la cantidad de ADN?
- ¿De qué sirve la mitosis a organismos uni y pluricelulares?
- ¿Por qué las enzimas son catalizadores biológicos? Explica y ejemplifica.

**Gráfico 1:** Variación de la cantidad de ADN en el ciclo celular.



## Propósito de la lección

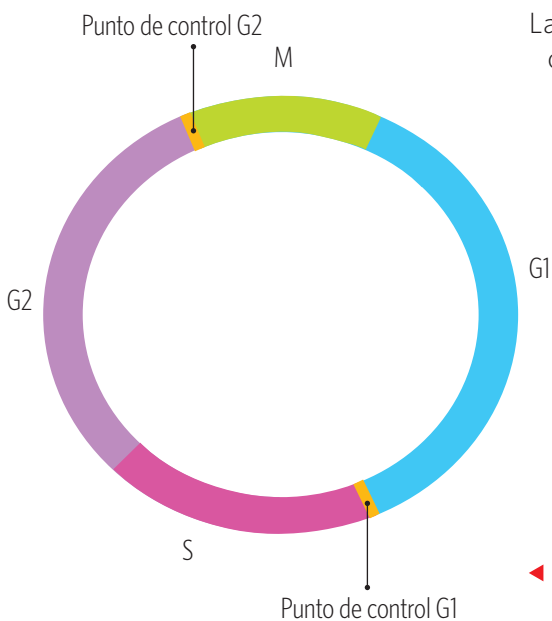
Las células tienen la capacidad de duplicar o replicar su ADN; con ello mantienen la continuidad de la información genética de una generación a otra, lo que es clave para mantener la vida. En esta lección, conocerás los procesos moleculares involucrados en la replicación y sus etapas.

## 1. Importancia del proceso de replicación

La **división celular** (etapa M) es la fase del ciclo celular en la que se originan dos nuevas células idénticas entre sí, gracias a que cada una de ellas recibe una copia del material genético original. Por lo tanto, antes de dividirse la célula debe copiar o **replicar** su ADN; de esta manera, cada célula hija recibe un duplicado. La división celular es importante para los organismos unicelulares pues es su forma de reproducirse, mientras que gracias a ella los organismos pluricelulares se desarrollan, crecen y reparan sus tejidos.

En el **período S** ocurre la replicación del ADN, para ello se necesita: una **hebra de ADN patrón** o molde; **enzimas** que aceleren y regulen el proceso; ATP que aporta la energía; muchísimas moléculas de diferentes tipos de nucleótidos, con los que se construirá la nueva molécula.

◀ Ciclo celular: la interfase incluye las etapas G1, S y G2, una vez superado el punto de control de G1 la célula no puede detener la replicación del ADN.



## 2. El modelo de doble hélice y la replicación del ADN

Antes de la fase S, el ADN eucariótico junto con las histonas forman la cromatina. Mientras el ADN está condensado, no se replica. Por lo tanto, el ADN se debe separar de las histonas para iniciar la descondensación de la **cromatina**. Una vez libre de las histonas, comienza el proceso de replicación, para lo cual es necesario conocer la estructura del ADN.

### 2.1 La replicación es bidireccional, semiconservativa y semidiscontinua

A continuación se describe la secuencia de hechos que transcurre en el proceso de replicación.

- 1° Se separan las cadenas de nucleótidos, gracias a la **ruptura de los puentes de hidrógeno** que unen las bases nitrogenadas de ambas cadenas.
- 2° Al separarse las cadenas, se forma la **horquilla de replicación**, estructura en forma de "Y", por la que se desplazan las enzimas que catalizan la replicación del ADN.
- 3° El lugar donde se inicia la replicación se llama **origen de la replicación**. Es una secuencia específica de nucleótidos a la que se unen las enzimas que iniciarán el proceso. En el ADN de eucariontes, existen muchos orígenes de replicación, mientras que en el de procariontes, hay solo uno.
- 4° Desde cada origen, la **replicación avanza bidireccionalmente**, observándose una **burbuja de replicación**, que está formada por dos horquillas que avanzan en direcciones opuestas.
- 5° En la burbuja de replicación, las enzimas específicas van uniendo los nucleótidos complementarios a las bases nitrogenadas libres de la cadena original. La elongación de la nueva cadena complementaria siempre es en dirección **5' → 3'**, ya que solo en el extremo 3'-OH se puede unir un nuevo nucleótido.
- 6° Como las cadenas son antiparalelas, una vez formada la horquilla solo una de ellas tiene su extremo 3'-OH libre y su cadena complementaria puede ser sintetizada sin interrupciones a medida que se abre la horquilla; a esta se le llama hebra **continua**, adelantada o conductora. A la cadena complementaria, de aquella hebra original que tiene 5'-P libre, se le conoce como **discontinua** o retrasada porque se sintetiza produciendo fragmentos cortos (**fragmentos de Okazaki**), que luego serán unidos por enzimas. Es por esto que la replicación es **semidiscontinua**.

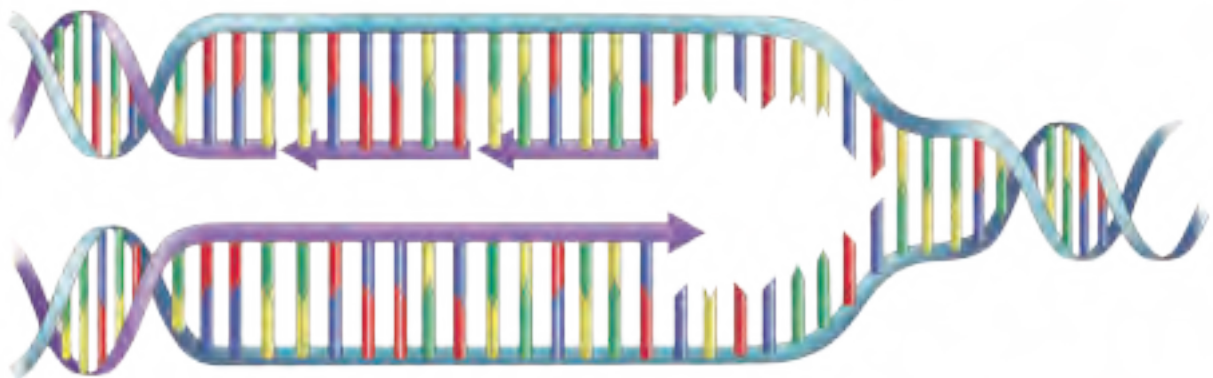
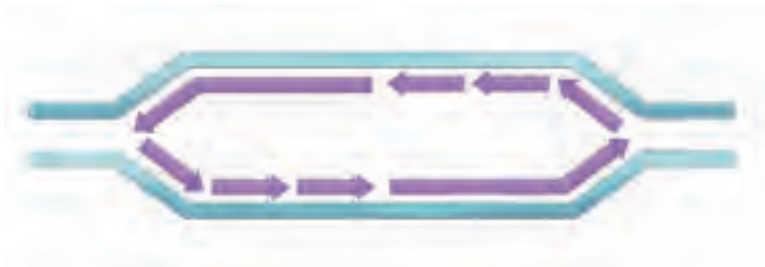


▲ Durante el ciclo celular el material genético pasa por diferentes estados de compactación. En la interfase se presenta como cromatina, y en la mitosis, como cromosomas.

**Para saber +**

- La replicación del cromosoma circular de procariontes, comienza a partir de su único origen de replicación. En la mayoría de los casos, su replicación es bidireccional, discontinua y semiconservativa, aunque las enzimas que la regulan difieren de las de eucariontes.

- 7° Cuando las enzimas encargadas de la replicación llegan cerca de los extremos de la cadena molde, se encuentran con una **secuencia de término**, que indica el final del proceso.
- 8° Ahora, cada una de las moléculas de ADN resultantes contiene una de las cadenas del ADN de origen y otra nueva, por eso se dice que la replicación es **semiconservativa**.
- 9° Cada molécula de ADN resultante se convertirá en una de las dos **cromátidas** que formarán un cromosoma durante la mitosis.



**Bases**



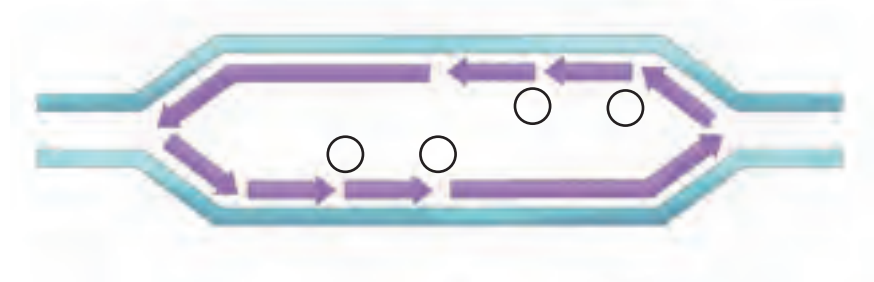
▲ Replicación bidireccional, semiconservativa y semidiscontinua.

**Inter@ctividad**

- Ingresa a [www.recursostic.cl/lbm218a](http://www.recursostic.cl/lbm218a) y [/lbm218b](http://www.recursostic.cl/lbm218b). Analiza la descripción del experimento de Meselson y Stahl y luego representa en tu cuaderno las posiciones de las bandas de ADN que corresponden al resultado esperado según cada una de las hipótesis del proceso de replicación.

**Actividad 2** Comprender la...**Replicación del ADN**

1. ¿Qué sucedería con las células hijas, si la célula madre no duplicara su ADN antes de dividirse?
2. ¿Por qué la replicación es semidiscontinua, bidireccional y semiconservativa?
3. De acuerdo con la figura responde:
  - a. ¿En qué momento del ciclo celular ocurre el proceso representado?
  - b. ¿Cuántas burbujas y horquillas de replicación identificas?
  - c. ¿Se trata de una replicación de célula eucarionte o procarionte? Explica.
  - d. Escribe en los círculos el sentido (5' o 3') de las cadenas indicadas.

**Aquí CIENCIA****Fármacos genotóxicos**

El cáncer es la segunda causa de muerte en Chile y puede ser provocado por múltiples sustancias llamadas agentes carcinógenos, como el alcohol y algunas contenidas en el humo del tabaco. Estos agentes desencadenan una división celular descontrolada y con ello, el cáncer. Los fármacos genotóxicos dañan el ADN de las células cancerosas o impiden la acción de las enzimas que lo replican. Sin embargo, estos fármacos tienen efectos adversos, ya que también pueden dañar a las células saludables, especialmente a aquellas de rápida reproducción como las intestinales. Asimismo, pueden provocar mutaciones y cánceres secundarios como la leucemia.

Fuente: [www.cancerquest.org/index.cfm?lang=spanish&page=482](http://www.cancerquest.org/index.cfm?lang=spanish&page=482)

**Actividad 3** Inferir y reflexionar sobre...**Tratamientos contra el cáncer**

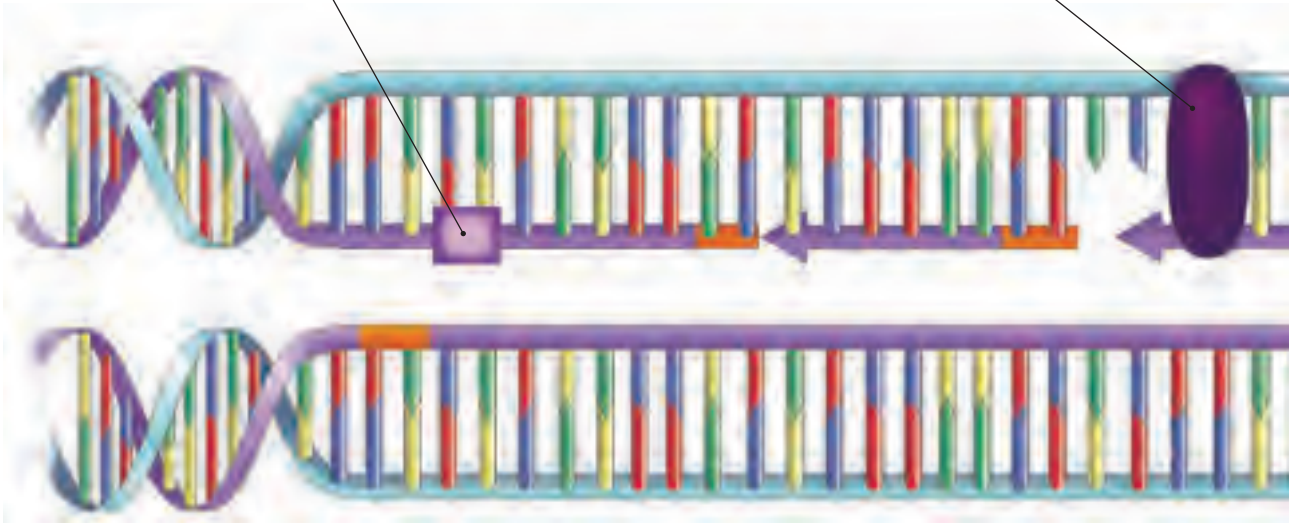
1. Explica por qué los fármacos genotóxicos pueden afectar tanto a las células cancerosas como a las intestinales.
2. ¿Cómo explicas la aparición de cánceres secundarios al recibir este tipo de fármacos?
3. ¿Cómo afectaría tu proyecto de vida si enfermaras de cáncer?, ¿qué medidas tomas para prevenirlo?

### 3. La replicación es controlada por enzimas

La **división celular** (etapa M) es la fase del ciclo celular en la que se originan dos nuevas células.

ADN ligasa es la enzima encargada de unir los fragmentos de la cadena retrasada.

Las **ADN polimerasas** son enzimas que forman ADN, añadiendo nucleótidos según la secuencia de bases de la hebra molde.



▲ Acción enzimática en la replicación.

#### Minitaller

##### Extracción de ADN de levaduras

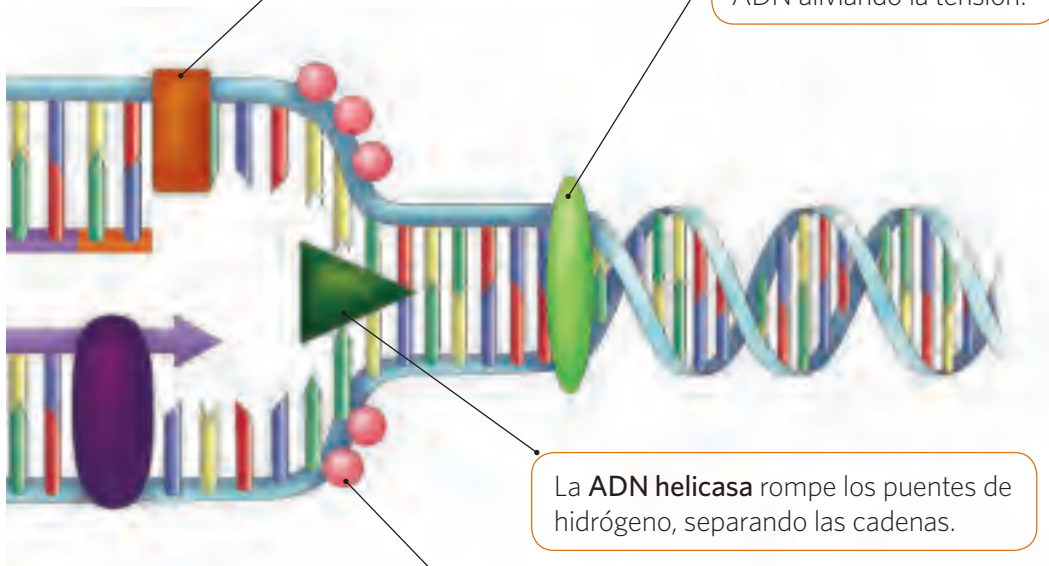
- Guiado por tu profesor, organiza un grupo de trabajo y consigue los materiales que te indicará. Siguiendo el procedimiento podrás observar el ADN de las levaduras. A continuación, describe la apariencia del ADN extraído, compara la cantidad de ADN obtenida por cada grupo y explica las probables diferencias.

Las enzimas, por su acción catalítica, aumentan la rapidez del proceso de replicación. La **ADN polimerasa** es una enzima encargada, principalmente, de unir los nucleótidos, la mayoría de ellas lo hace en dirección 5' a 3' y lo hacen según la complementariedad de las bases (A-T; G-C). La de procariontes une 500 nucleótidos por segundo y la de eucariontes une 50 nucleótidos por segundo.

Debido a la especificidad de sustrato de las enzimas, la **fidelidad** del proceso de replicación es muy alta, especialmente en eucariontes, disminuyendo la tasa de mutaciones. Se estima que se produce un error cada  $10^9$  pares de bases añadidas. La fidelidad también se logra gracias a que la ADN polimerasa tiene actividad de **exonucleasa**; es decir, corrige sus propios errores eliminando los nucleótidos mal apareados.

La **ADN primasa** sintetiza pequeños fragmentos de ARN (cebadores o primer), que son necesarios para comenzar a añadir los nucleótidos de las cadenas nuevas.

Las **topoisomerasas o girasas** desenrollan el ADN aliviando la tensión.



La **ADN helicasa** rompe los puentes de hidrógeno, separando las cadenas.

Las **proteínas de unión a cadena simple (SSB)** mantienen separadas las cadenas simples de ADN que se generan producto de la acción de la helicasa.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. A partir de la figura, responde las siguientes preguntas:
  - a. Señala la importancia del proceso representado.
  - b. ¿Por qué la cadena B crece de forma continua y la cadena A de modo discontinuo?
  - c. Escribe la secuencia de nucleótidos que le falta agregar a la ADN polimerasa en la cadena continua o conductora.
2. Ordena las siguientes enzimas considerando el orden de acción durante el proceso de replicación para la hebra discontinua: helicasa - ADN polimerasa - girasa - ADN primasa - proteína SSB - ADN ligasa.



▲ Replicación del ADN.

# ¿Cómo se expresa la información del ADN?

► **Debes recordar:** Tipos celulares - Ácidos nucleicos - Ribosomas

## Trabaja con lo que sabes

Junto con un compañero, responde las preguntas.

1. En una tabla escribe tres diferencias entre células procariontes y eucariontes.
2. ¿De qué sirven los ribosomas?
3. ¿Cuál es el nombre y composición de la unidad molecular que forma los ácidos nucleicos?
4. Observa la figura y establece dos semejanzas y dos diferencias entre el ARN y el ADN.
5. ¿Qué pares de bases están siempre unidas en el ADN?
6. ¿En qué lugar de las células eucariontes y procariontes se podría encontrar ARN y ADN?



▲ Estructura del ARN y del ADN.

## Propósito de la lección

Como aprendiste en las lecciones anteriores, el ADN contiene la información genética que influye en el fenotipo de los organismos. En esta lección y en la siguiente, aprenderás cómo el ADN, mediante el control que ejerce sobre la síntesis de polipéptidos, determina el fenotipo.

### 1. ¿Cómo es transportada la información genética a los ribosomas?

Sabemos que el ADN es un “banco” de información que se conserva y se transmite de generación en generación. En cada célula dicha información es leída e interpretada para dar lugar a la fabricación o síntesis de polipéptidos. En este sentido, es correcto afirmar que los polipéptidos son la expresión del ADN. Sin embargo, en las células eucariontes el ADN se encuentra encerrado en el núcleo, mientras que los polipéptidos se fabrican en los ribosomas, ubicados en el citoplasma. Entonces, surge la pregunta de cómo el ADN controla la síntesis de polipéptidos en el citoplasma.

Los científicos supusieron la existencia de una molécula que transporta la información del ADN hasta los ribosomas, actuando como intermediaria. Solo había que encontrarla.



## 1.1 El experimento que permitió identificar el rol de la molécula de ARN

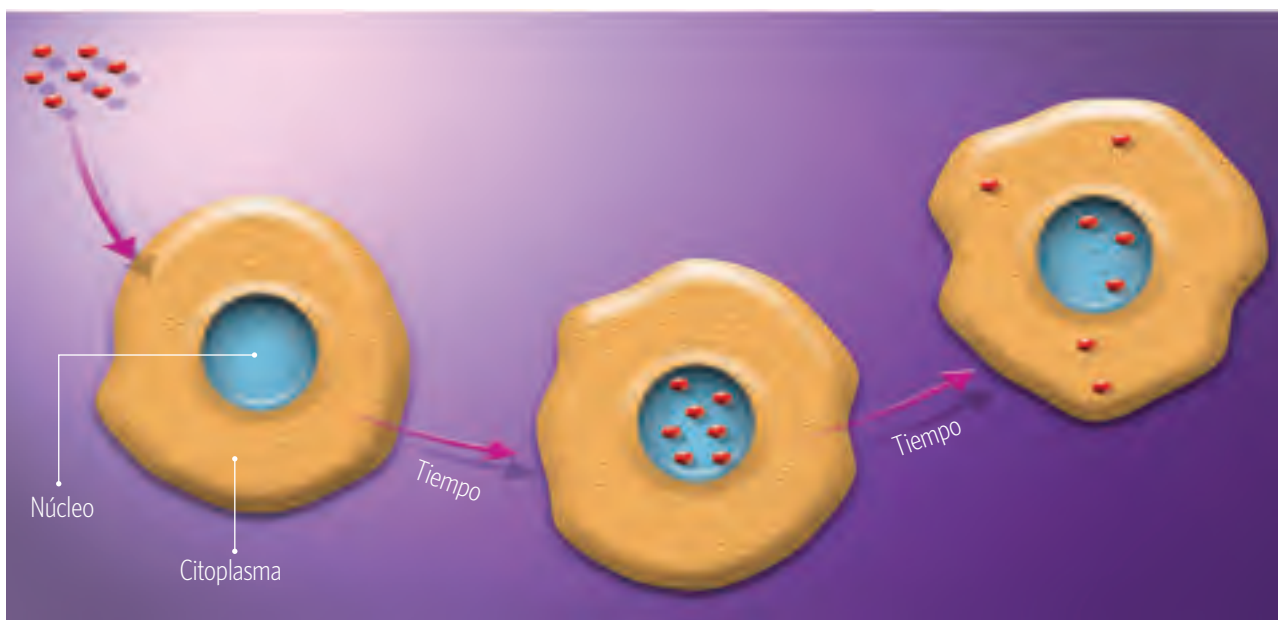
Tras descubrirse el ARN (ácido ribonucleico), se convirtió en la molécula candidata a ser la intermediaria entre el ADN y los ribosomas, ya que su composición es similar a la del ADN, además de encontrarse en abundancia en células con alta síntesis proteica.

Se comprobó que el ARN es la molécula intermediaria, a través de un experimento de **pulso y caza**, consistente en mantener células en un medio de cultivo con nucleótidos de uracilo, base exclusiva del ARN, marcados con radiactividad. La célula los incorpora y los utiliza para producir moléculas de ARN. Como la radiación de los nucleótidos marcados se detecta con películas fotográficas, fue posible seguir la pista del movimiento de las moléculas de ARN en las células. Así, se pudo establecer que el ARN es producido en el núcleo celular y luego de un tiempo se traslada hacia el citoplasma. Se concluyó que el ARN era el responsable del traspaso de la información desde los genes a los ribosomas y se le llamó **ARN mensajero** o **ARNm**.

### Conexión con

#### Química

Los isótopos son átomos del mismo elemento que se diferencian en su masa. Aquellos con núcleos inestables emiten radiación que puede ser captada en películas fotográficas. Esta propiedad se ha empleado para el estudio de múltiples procesos biológicos.



▲ Representación del experimento de pulso y caza.

## 2. Transcripción o síntesis del ARN en eucariontes

La transcripción es la síntesis de ARN a partir de un **gen** de una de las hebras de ADN que actúa como molde. Al disociarse el ADN de las histonas y provocar la descondensación de la cromatina, pueden operar la helicasa y la girasa, separando las hebras de ADN. Una vez separadas, las enzimas **ARN polimerasas** específicas se encargan de la síntesis de cada tipo de ARN (**ribosomal, de transferencia, mensajero y mitocondrial**).

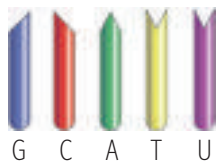
### Apunte

**Gen:** unidad de información hereditaria, formada por un segmento de ADN que contiene una secuencia de nucleótidos con la información necesaria para sintetizar un péptido o ARN y otras secuencias que regulan su transcripción.

## 2.1 Etapas de la transcripción del ARNm

La transcripción del ARNm es un proceso altamente regulado, ya que de él depende el funcionamiento celular. Dividiremos su análisis en cuatro etapas.

### Bases



▲ Elongación y terminación del ARNm.

- a. **Iniciación:** el proceso comienza con la unión de una de las muchas proteínas reguladoras de la transcripción o **factores de transcripción** al promotor; esta es una secuencia específica del gen, vecina al **sitio de inicio** de la transcripción, secuencia a la que se une la ARN polimerasa.



- ▲ El promotor de la ARN polimerasa II, encargada de la síntesis de ARNm, es una secuencia llamada caja TATA. El sitio de inicio es la secuencia TAC.

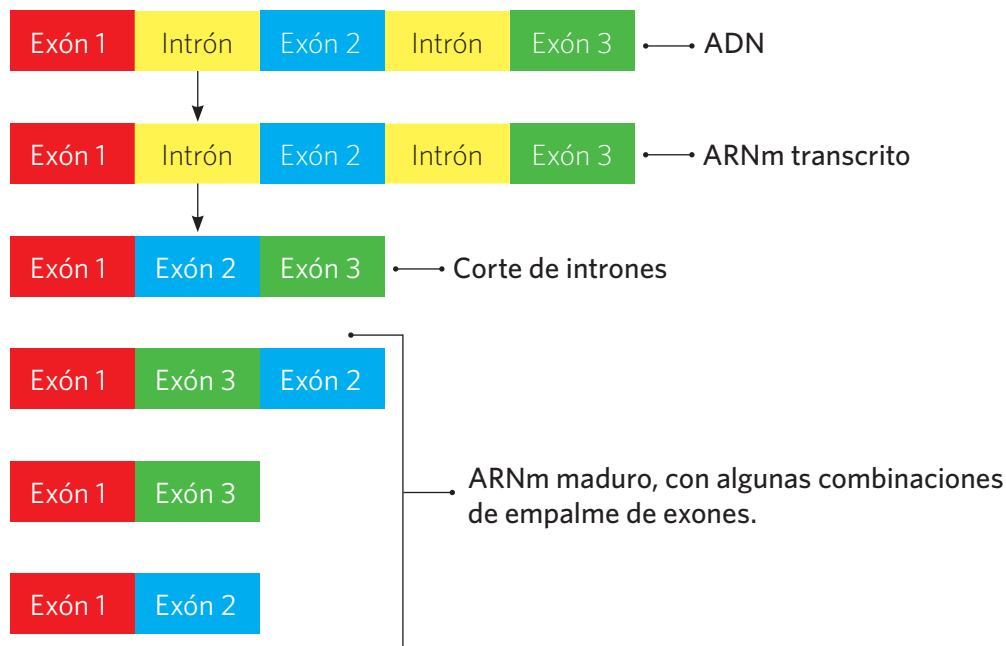
- b. **Elongación:** la ARN polimerasa comienza añadir nucleótidos de manera complementaria y antiparalela a la hebra molde de ADN. De esta forma, si la secuencia de ADN es 3' TACCG 5' la nueva cadena de ARN será 5' AUGGC 3'. Como te darás cuenta, el primer nucleótido se convertirá en el extremo 5'.
- c. **Terminación:** la ARN polimerasa reconoce una **secuencia de término** de la transcripción, formada por uno de los siguientes tríos de nucleótidos: ATT, ACT o ATC. Como resultado se obtiene una molécula de ARN que contiene la información de la hebra de ADN que sirvió de molde.

### Para saber +

- Existen cuatro tipos de ARN, cada uno sintetizado por una ARN polimerasa específica.

ARN polimerasa I	<b>ARN ribosomal (ARNr):</b> forma parte de los ribosomas y cataliza la unión de aminoácidos en los ribosomas.
ARN polimerasa II	<b>ARN mensajero (ARNm):</b> transporta la información genética desde el ADN a los ribosomas.
ARN polimerasa III	<b>ARN de transferencia (ARNt):</b> traduce el mensaje del ARNm a péptidos, uniendo aminoácidos según la secuencia de nucleótidos del ARNm.
ARN polimerasa mitocondrial	<b>ARN mitocondrial:</b> participa de la síntesis de proteínas mitocondriales en la mitocondria.

- d. **Maduración:** ocurre solo en eucariontes; consiste en el **corte de intrones** y el **empalme de exones** y en **marcar al ARN**. A diferencia de los genes de procariontes, los de eucariontes presentan secuencias que no codifican aminoácidos, llamadas intrones, ubicadas entre las secuencias que sí codifican, llamadas exones. Como la transcripción es continua, el ARNm contiene **intrones** que deben eliminarse. Luego, los exones son unidos por la ARN ligasa formándose un ARNm maduro, que es marcado con una larga secuencia de nucleótidos de adenina o **cola poliA**; así, el ARNm puede salir del núcleo.



- ▲ Un gen, varios polipéptidos. Los exones pueden ser unidos en diferentes combinaciones, formándose ARNm con mensajes genéticos diferentes. Esto es muy importante, pues significa que pueden sintetizarse distintos polipéptidos a partir de un solo gen.

#### Actividad 4 Comprender la...

##### Transcripción

1. En la representación del experimento de pulso y caza, de la página 223, ¿qué molécula representan los puntos rojos?
2. Transcribe el ARNm, a partir de la secuencia: 5' TACTGTCGT 3'.
3. ¿Cuál es la función de las enzimas girasa, helicasa y ARN polimerasa II en la transcripción?
4. ¿Cuál es la diferencia entre promotor y sitio de inicio?
5. ¿Qué efectos sobre la proteína sintetizada puede tener una mutación en la secuencia de término?
6. Según la figura anterior, construye tres nuevas combinaciones de exones.

**Apunte**

**Genoma:** es la totalidad de la información genética contenida en la célula o células de cada organismo.

### 3. Regulación de la transcripción

Todas tus células somáticas tienen el mismo **genoma**, pues descienden del mismo cigoto. Sin embargo, sus fenotipos pueden ser muy distintos, producto del proceso de especialización que origina los distintos tejidos. Esto es posible por la acción de los **factores de transcripción**, es decir, existe un grupo diverso de polipéptidos que activan o inhiben la transcripción de los genes. Algunos factores de transcripción siempre están actuando, pues se encargan de regular la expresión de los **genes constitutivos**, los cuales se ocupan de la síntesis de péptidos que se utilizan de manera continua en las células. En el intertanto, otros factores de transcripción regulan la expresión de genes que se necesitan solo en determinadas circunstancias, generando una respuesta adaptativa ante estímulos ambientales. Esto supone una compleja red de comunicación molecular entre la membrana celular, el citoplasma y el núcleo.

La complejidad de los organismos eucariontes no se relaciona con el tamaño del genoma, sino con la regulación en la expresión de sus genes y la variabilidad de las proteínas producidas.

#### Para saber +

- Las células embrionarias, hasta cuatro días después de la fecundación, son células madre **totipotenciales**, es decir, de cada una de ellas puede formarse un organismo completo. Transcurridos cuatro días, cuando el embrión está en estado de blastocisto, sus células son **pluripotenciales**, pues pueden diferenciarse en cualquiera de las más de 200 formas celulares que hay en el cuerpo. Una vez diferenciadas, las células expresan solo algunas partes de la información genética. Por ejemplo, en las células musculares se expresan los genes para la síntesis de actina y miosina y en las neuronas se expresan aquellos para producir neurofilamentos.



▲ Formación de tejidos a partir de células madre.

## 4. El código genético es el lenguaje de los genes

Tal como las letras del abecedario forman un código con el cual, siguiendo ciertas reglas, se pueden formar palabras, el ARNm contiene secuencias de bases con la información para construir polipéptidos. En 1961, Francis Crick y el biólogo sudafricano Sydney Brenner dilucidaron sus reglas.

### 4.1 Las reglas del código

- El código genético es universal, pues casi todos los seres vivos emplean exactamente el mismo, lo que se interpreta como una evidencia del **origen común de los organismos**.
- Existen tríos de nucleótidos de ARN o **codones**, que codifican cada uno de ellos para un aminoácido específico.
- El código genético es **redundante** o degenerado, porque la mayoría de los aminoácidos pueden ser codificados por varios codones. Existen 64 combinaciones de codones posibles para los 20 tipos de aminoácidos que se usan para construir los polipéptidos.
- El codón AUG es el **codón de inicio**, al mismo tiempo que codifica el aminoácido metionina.
- Existen **señales de término**, que no codifican aminoácidos, estos son los codones: UAA, UAG y UGA.

		Segundo nucleótido				
		U	C	A	G	
U	UUU } Phe	UCU } Ser	UAU } Tyr	UGU } Cys	U C A G	
	UUC } Leu	UCC } Ser	UAC } Tyr	UGC } Cys		
	UUA } Leu	UCA } Ser	UAA } Término	UGA } Término		
	UUG } Leu	UCG } Ser	UAG } Término	UGG } Trp		
C	CUU } Leu	CCU } Pro	CAU } His	CGU } Arg	U C A G	
	CUC } Leu	CCC } Pro	CAC } His	CGC } Arg		
	CUA } Leu	CCA } Pro	CAA } Gln	CGA } Arg		
	CUG } Leu	CCG } Pro	CAG } Gln	CGG } Arg		
A	AUU } Ile	ACU } Thr	AAU } Asn	AGU } Ser	U C A G	
	AUC } Ile	ACC } Thr	AAC } Asn	AGC } Ser		
	AUA } Met	ACA } Thr	AAA } Lys	AGA } Arg		
	AUG } Met	ACG } Thr	AAG } Lys	AGG } Arg		
G	GUU } Val	GCU } Ala	GAU } Asp	GGU } Gly	U C A G	
	GUC } Val	GCC } Ala	GAC } Asp	GGC } Gly		
	GUA } Val	GCA } Ala	GAA } Glu	GGA } Gly		
	GUG } Val	GCG } Ala	GAG } Glu	GGG } Gly		

▲ El código genético corresponde a cada codón de ARN.

#### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

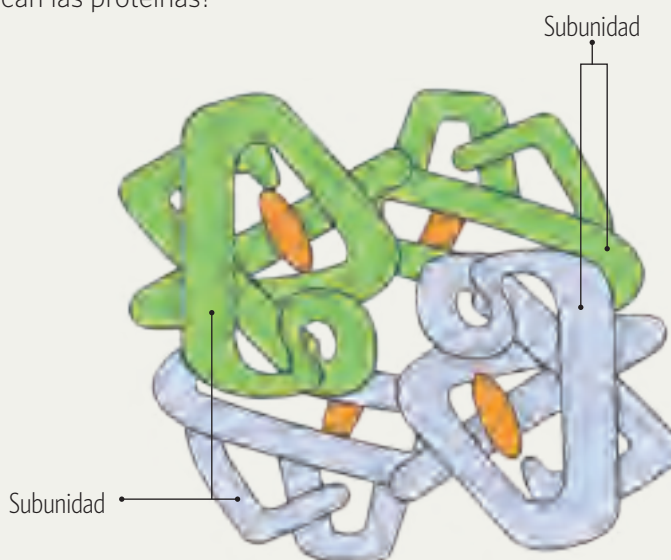
1. Explica los dos procesos que ocurren durante la maduración del ARNm.
2. Investiga de qué manera una hormona esteroidal puede influir en la síntesis proteica de una célula.
3. ¿Por qué se dice que el código genético es universal y redundante?
4. Si todos los polipéptidos están formados por la combinación de 20 aminoácidos, ¿qué hace que una proteína sea diferente a otra?
5. A partir de la siguiente secuencia de ADN: 5' TACTGTCGTCCAGTTGCCATT 3':
  - a. Elabora la hebra de ARNm.
  - b. Escribe la secuencia de aminoácidos utilizando la tabla del código genético.
6. Compara, en al menos tres aspectos, la transcripción en procariontes y eucariontes.

## ¿Cómo se sintetiza un polipéptido?

► **Debes recordar: Estructura de las proteínas - Ribosomas**

### Trabaja con lo que sabes

- La imagen representa la estructura cuaternaria de una proteína. Al respecto, responde:
  - ¿Cuántas cadenas polipeptídicas identificas?
  - ¿Cuántos ARNm maduros distintos fueron necesarios para su síntesis?
- Si todas las proteínas están hechas de aminoácidos, ¿en qué se diferencian?
- ¿En qué lugar de la célula se fabrican las proteínas?
- En un segmento de la estructura primaria de una proteína se reconoce la siguiente secuencia de aminoácidos: tirosina (Tyr)-cisteína (Cys)- serina (Ser). Escribe una secuencia de bases posible, correspondiente a los codones, y la secuencia de bases de la hebra de ADN a partir de la cual se transcribió el ARN.



▲ La hemoglobina es una proteína de los glóbulos rojos, encargada del transporte de oxígeno.

### Propósito de la lección

En la lección anterior conociste el proceso de transcripción, en el que el mensaje genético es copiado en una molécula de ARNm. Ahora comprenderás cómo se traduce su mensaje, escrito en una secuencia de nucleótidos, a un polipéptido, formado por una secuencia de aminoácidos.

#### Apunte

Estructura cuaternaria de una proteína: corresponde a la conformación espacial que adopta una proteína formada por varias cadenas polipeptídicas, como la hemoglobina o los anticuerpos.

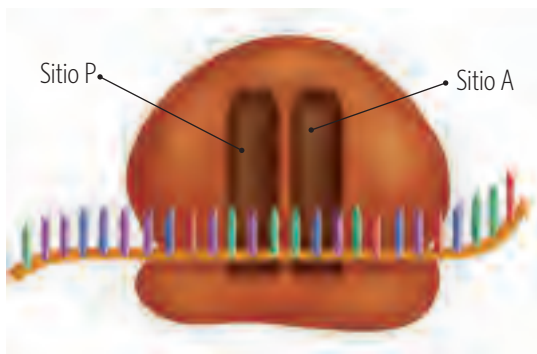
### 1. Los protagonistas del proceso de traducción

En términos generales, en la traducción el ARNm sale del núcleo y se une a **ribosomas**, estructuras en las que se traduce su información genética a polipéptidos. Las moléculas encargadas de hacer la traducción son varios tipos de **ARN de transferencia (ARNt)**, al menos uno para cada aminoácido, y las enzimas **aminoacil-ARNt-sintetasas**.

## 1.1 Los ribosomas

Estas estructuras citoplasmáticas existen en todos los tipos celulares, aunque son diferentes en procariontes y eucariontes. Se definen como complejos moleculares, pues están formados por la unión de proteínas y ARN ribosomal (ARNr), el que opera como **ribozima** al catalizar el enlace peptídico que une a dos aminoácidos.

Están formados por dos subunidades, una mayor y otra menor, las que se reúnen en el momento de la traducción. La subunidad menor tiene un sitio de unión para el ARNm y la subunidad mayor tiene dos lugares de unión para ARNt, el **sitio P** o **peptidil** y **sitio A** o **aminoacil**.



▲ Ribosoma y ARN durante la traducción.

### Para saber +

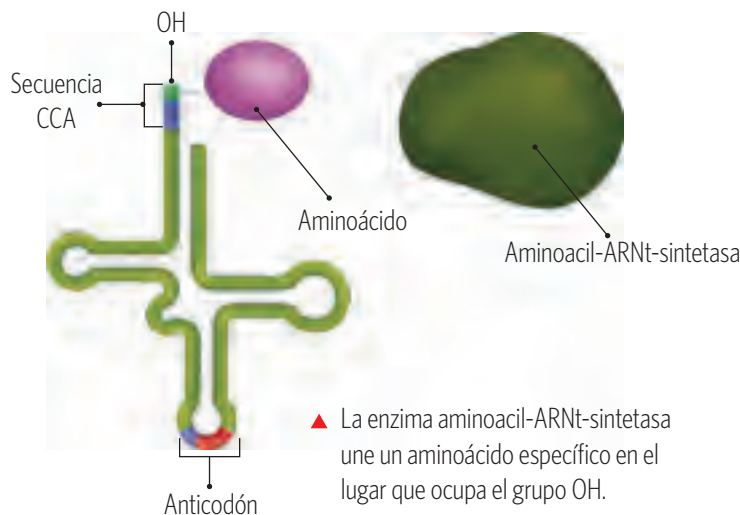
- Las posibilidades de que una mutación tenga efectos sobre las proteínas disminuyen, ya que el código genético es redundante y porque, en general, las dos primeras bases de los codones que codifican para un mismo aminoácido son las mismas. Así, aunque se modifique la tercera base del codón, el aminoácido codificado no cambia. Por ejemplo, los codones de la serina (Ser) son UCU, UCC, UCA, UCG, AGU y AGC.

## 1.2 ARN de transferencia (ARNt)

Los ARNt son los traductores del mensaje genético del ARNm. Tienen una forma característica, semejante a un trébol, y dos sitios de unión:

- El **anticodón**, una secuencia de tres bases por la cual se une, por complementariedad de bases, a un codón específico del ARNm.
- Sitio aceptor del aminoácido**, siempre posee una secuencia de nucleótidos CCA, se une con uno de los 20 aminoácidos. Cada aminoácido es unido al sitio aceptor del ARNt por una enzima específica para él, estas enzimas son llamadas aminoacil-ARNt-sintetasa.

Al generarse la unión codón-anticodón, el ARNt va transportando los aminoácidos para que se incorporen a la cadena polipeptídica que se está formando, por lo que los ARNt son los que transforman el mensaje contenido en los nucleótidos en secuencias de aminoácidos.



- ▲ La enzima aminoacil-ARNt-sintetasa une un aminoácido específico en el lugar que ocupa el grupo OH.

## 2. Etapas de la traducción

El análisis de la traducción suele dividirse en tres etapas, aunque es un proceso continuo.

<p><b>Iniciación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La subunidad pequeña se une al ARNm.</li> <li>• El primer ARNt que lleva la metionina se ensambla por medio de su anticodón al codón del ARNm.</li> <li>• Luego se une la subunidad mayor del ribosoma al complejo formado por la subunidad menor, el ARNt y el ARNm. Al llegar la subunidad mayor se une por el sitio P (peptidil) al ARNt que porta la metionina, quedando el sitio A vacío.</li> </ul>	<p>El diagrama ilustra el proceso de traducción en tres etapas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Iniciación:</b> Se muestra un ribosoma con el sitio P ocupado por un ARNt con metionina (Met) y el sitio A vacío. El ARNm tiene el codón AUG en el sitio P. Un segundo ARNt con fenilalanina (Phe) y anticodón AAG se está uniendo al sitio A.</li> <li><b>Elongación:</b> El ribosoma se desplaza. El ARNt con Phe se mueve al sitio P y el ARNt con Met se libera. Un tercer ARNt con triptófano (Trp) y anticodón ACC se une al sitio A. Se forma un enlace peptídico entre Phe y Trp.</li> <li><b>Terminación:</b> El ribosoma se mueve más. El ARNt con Trp se mueve al sitio P y el ARNt con Phe se libera. El ARNt con Met se mueve al sitio A. Finalmente, el ARNt con Met se libera y la cadena polipeptídica Met-Phe-Trp se desprende del ribosoma.</li> </ul>
<p><b>Elongación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El segundo codón está ubicado en el sitio A de la subunidad mayor.</li> <li>• Se une un nuevo ARNt que posee el anticodón complementario al codón ubicado en el sitio A.</li> <li>• Al quedar los sitios P y A ocupados, se forma un enlace peptídico entre los dos aminoácidos transportados por los ARNt.</li> <li>• El primer ARNt rompe la unión que lo mantenía unido con el aminoácido, quedando liberado, al igual que el sitio P.</li> <li>• El ribosoma se desplaza hacia el extremo 3', por lo que el segundo ARNt pasa del sitio A al sitio P, llevando los dos aminoácidos unidos. En el sitio A queda el siguiente codón listo para ser traducido.</li> <li>• Al sitio A se une el tercer ARNt que posee el anticodón complementario al codón, provocándose un nuevo enlace peptídico entre el segundo y el tercer aminoácido. De esta manera, la secuencia de bases del ARNm establece el orden en el que se van añadiendo los aminoácidos en la cadena polipeptídica que formará la proteína.</li> </ul>	
<p><b>Terminación</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se seguirán añadiendo aminoácidos hasta que se encuentre en el ARNm un codón de término. No existe ningún ARNt complementario, por tanto, la traducción se detiene.</li> <li>• Se separan las dos subunidades de los ribosomas y la cadena de polipéptido se desprende quedando liberada.</li> </ul>	

### Inter@ctividad

- Ingresa a la página [www.recursostic.cl/lbm230](http://www.recursostic.cl/lbm230) y podrás simular la transcripción y la traducción.



### 3. Dogma central de la biología molecular

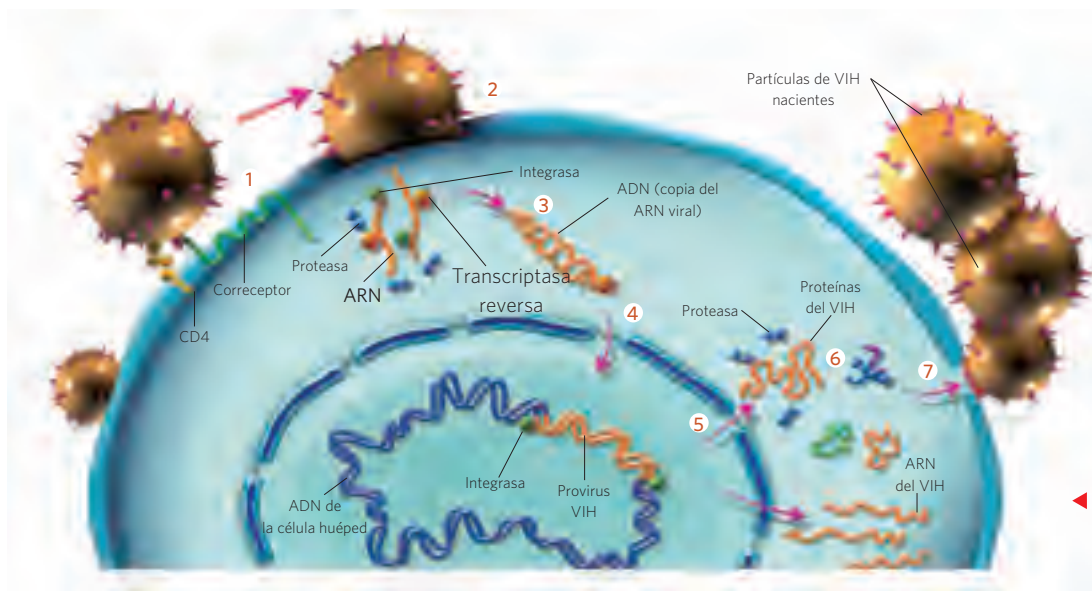
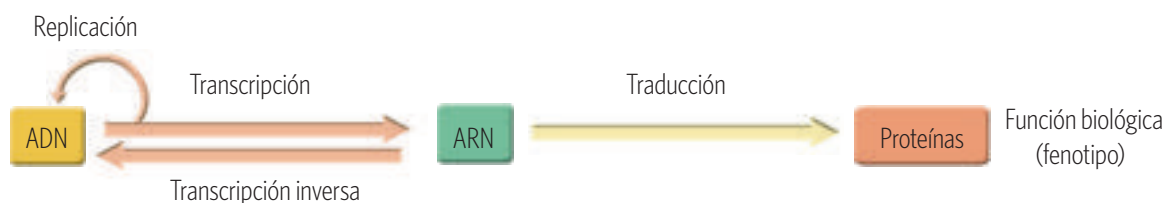
Uno de los descubridores de la estructura del ADN, el inglés Francis Crick, propuso en 1958 que la información genética fluye en una única dirección, desde el ADN a las proteínas. Esta idea fue considerada por mucho tiempo como una verdad inamovible o dogma.

Sin embargo, investigaciones posteriores demostraron que existen excepciones a este dogma y que las verdades absolutas en ciencias no existen.

Por ejemplo, se observó que cierto tipo de virus, llamados **retrovirus**, tienen ARN como material genético y una enzima llamada **transcriptasa inversa** que puede hacer una copia complementaria de ADN a partir de la hebra de ARN viral, generando una doble hélice de ADN-ARN. Luego produce una segunda cadena de ADN complementaria a la primera hebra de ADN, formando así una doble hebra ADN-ADN.

#### Para saber +

- El antibiótico cloranfenicol se une a la subunidad mayor de los ribosomas bacterianos, impidiendo que se acoplen con los ARNt, y, de este modo, se inhibe su síntesis de proteínas. Sin embargo, el cloranfenicol no afecta a los ribosomas del citoplasma de eucariotes, pero sí logra inhibir la síntesis de proteínas en sus mitocondrias, debido a su origen bacteriano.



◀ El virus del sida (VIH) y el de la gripe son retrovirus.

**Antes de seguir**, utiliza lo aprendido




1. Define los conceptos de enlace peptídico, codón, anticodón, sitio A y sitio P.
2. A partir de la siguiente secuencia de ARNm, escribe la secuencia de ADN complementaria y la secuencia de anticodones de los ARNt, compáralas.

AUGUGGCAGAUGUCA

3. ¿En qué etapa de la traducción actúa el cloranfenicol?
4. ¿Cuáles son los productos finales de la transcripción y de la traducción, respectivamente?
5. ¿Cuál es la función de las enzimas aminoacil-ARNt-sintetasas?

## Análisis de un experimento para determinar el modelo de la replicación del ADN

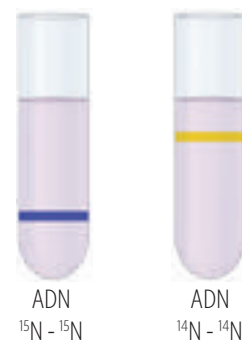
Un requisito importante que debe cumplir toda explicación de un fenómeno natural, para que sea considerada una hipótesis, es que pueda ser puesta a prueba; esto se realiza mediante dos procesos fundamentales, la observación y la experimentación. A continuación se describe un experimento clásico que permitió poner a prueba tres hipótesis acerca del mecanismo de la replicación del ADN: la replicación conservativa, la semiconservativa, propuesta por Watson y Crick en 1953, y la dispersiva.

<p><b>Conservativa:</b> este modelo presenta una doble hélice original que permanece intacta, y la formación de una doble hélice completamente nueva.</p>	<p><b>Semiconservativa:</b> cada molécula nueva de ADN está formada por una cadena nueva o recién sintetizada y una cadena antigua u originaria.</p>	<p><b>Dispersiva:</b> en este modelo, la vieja molécula se rompe y las dos nuevas moléculas se construyen con fragmentos viejos y nuevos.</p>
		

En 1958, los científicos estadounidenses Matthew Meselson y Franklin Stahl decidieron poner a prueba estas tres hipótesis, diseñando un experimento en el que usaron bacterias *Escherichia coli*.

Cultivaron varias generaciones de bacterias en un medio con un isótopo pesado de nitrógeno ( $^{15}\text{N}$ ), y otras en uno con un isótopo de nitrógeno más liviano ( $^{14}\text{N}$ ), con el fin de que, tras varias generaciones, las bacterias incorporaran en su ADN el  $^{15}\text{N}$  o el  $^{14}\text{N}$ . Luego de extraer el ADN de algunas de estas bacterias, lo centrifugaron y separaron por densidad en tubos de ensayo, estos fueron sus tubos de control.

Luego, las bacterias que habían crecido en  $^{15}\text{N}$  fueron trasladadas a un medio de cultivo con  $^{14}\text{N}$ . Tras la primera, segunda y tercera división celular, los investigadores repitieron el procedimiento de extraer, centrifugar y separar por densidad el ADN de algunas de estas bacterias. Estos fueron algunos de sus resultados e interpretaciones:



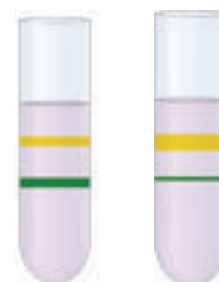
▲ Tubos de control (centrifugación del ADN conocido).

En la primera generación encontraron solo una banda de ADN con una densidad intermedia a la que corresponde a las bandas de ADN  $^{14}\text{N} - ^{14}\text{N}$  y ADN  $^{15}\text{N} - ^{15}\text{N}$ . Este resultado descartó la hipótesis conservativa, pues de ser esta cierta, se habría encontrado dos bandas de ADN, una correspondiente a ADN con  $^{14}\text{N}$  y otra con ADN con  $^{15}\text{N}$ . Sin embargo, con este resultado no era posible determinar si la replicación es semiconservativa o dispersiva, pues este último modelo también predice que el ADN tendrá una densidad intermedia.



▲ Primera generación.



Cuando procesaron el ADN de las bacterias de la segunda generación observaron dos bandas, cuyas ubicaciones se muestran en la figura, y determinaron que ambas contenían la misma cantidad de ADN. Al repetir el procedimiento en la tercera generación volvieron a hallar dos bandas en las mismas ubicaciones, pero esta vez la cantidad de ADN que correspondía a la banda de ADN de menor densidad ( $^{14}\text{N} - ^{14}\text{N}$ ) era tres veces mayor que la contenida en la banda de densidad intermedia ( $^{14}\text{N} - ^{15}\text{N}$ ). Este resultado les permitió concluir que la hipótesis de la replicación semiconservativa era la correcta. Lo comprobaron procesando las hélices separadas del ADN de la banda intermedia; obtuvieron dos bandas, una más densa, correspondiente a la hélice  $^{15}\text{N}$ , y otra más liviana, formada por hélices  $^{14}\text{N}$ .



▲ Segunda y tercera generación.

### Análisis del experimento

1. ¿Cuál es el objetivo de la investigación de Meselson y Stahl?
2. ¿Por qué utilizaron nitrógeno en el diseño experimental?
3. ¿Cuál es la importancia experimental de obtener tubos control, con ADN conocido?
4. ¿Qué ventajas representa trabajar con bacterias, como *E. coli*?
5. Si este trabajo se hubiese realizado usando células eucariontes, ¿crees que se habrían obtenido los mismos resultados? Fundamenta.
6. Completa la interpretación parcial del experimento de Meselson y Stahl, dibujando las moléculas de ADN de la segunda generación.

Cultivo con $^{15}\text{N}$	Cultivo con $^{14}\text{N}$ 1ª generación	Cultivo de la 2ª generación
		

7. ¿Por qué las ubicaciones de las bandas de ADN, en el tubo de la segunda generación, le permitieron a Meselson y Stahl descartar el modelo dispersivo?



### Organiza lo que sabes

En tu cuaderno, diseña un organizador gráfico usando al menos diez de los conceptos de esta lista. Este organizador representará lo que has aprendido.

- ADN
- ARNr
- ARNm
- nucleótido
- ADN polimerasa
- ARNt
- polipéptido
- aminoácidos
- código genético
- replicación
- anticodón
- codón
- ribosomas
- ARN polimerasa
- doble hélice
- traducción
- herencia
- transcripción

### Evaluación de proceso

1. Responde en tu cuaderno las siguientes preguntas, considerando la imagen adjunta. (3 puntos).
  - a. Identifica: grupo fosfato, desoxirribosa, puentes de hidrógeno, timina, adenina, guanina y citosina.
  - b. ¿Qué quiere decir que las hebras son antiparalelas?
  - c. ¿Cuál es la secuencia complementaria de una hebra cuya secuencia es: TTAGCTGCA?
2. Describe el aporte de los siguientes investigadores al conocimiento científico: (5 puntos).
  - a. Frederick Griffith
  - b. Oswald Avery
  - c. Rosalind Franklin y Maurice Wilkins
  - d. Erwin Chargaff
  - e. James Watson y Francis Crick
3. Acerca del proceso de replicación, responde: (4 puntos).
  - a. ¿Qué significa que este proceso sea semiconservativo y bidireccional?
  - b. ¿En qué etapa del ciclo celular ocurre, y cuál es su importancia?
  - c. ¿Qué función cumplen en este proceso las siguientes enzimas: girasa, helicasa, ligasa, ADN polimerasa y primasa?



4. Acerca del proceso de transcripción, responde. (6 puntos).
  - a. ¿En qué lugar de la célula eucarionte se realiza, y qué molécula se produce?
  - b. ¿Cuál es la principal enzima encargada del proceso?
  - c. ¿Cuál es la importancia de los factores de transcripción en la diferenciación celular?
  - d. ¿En qué consiste la fase de maduración, y cuál es su importancia?
  
5. Acerca del proceso de traducción, responde. (6 puntos).
  - a. ¿En qué lugar de la célula eucarionte se realiza, y qué molécula se produce?
  - b. ¿Cuál es el rol que cumplen en el proceso el ARNr, ARNt y las aminoacil-ARNt-sintetasas?
  - c. ¿Por qué se dice que el código genético es redundante?, ¿por qué es importante que lo sea?
  - d. Escribe dos secuencias posibles de anticodones, codones y de tripletes de bases en el ADN, para la siguiente secuencia de aminoácidos: Met-Arg-Phe-Ala

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Describir la composición química, estructura y función del ADN.	1 y 2	_____/8	
Explicar la importancia de la replicación del ADN y el rol de las enzimas que participan del proceso.	3	_____/4	
Explicar el proceso de transcripción y su regulación.	4	_____/6	
Describir el proceso de traducción y la universalidad del código genético.	5	_____/6	

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

# ¿Qué es el proyecto genoma humano?

► Debes recordar: **Genoma - Genes - Proteínas**

## Trabaja con lo que sabes

1. Responde las siguientes preguntas.
  - a. ¿Qué es el genoma?
  - b. ¿En qué organelos podemos encontrar genes?
  - c. ¿Qué relación puedes establecer entre, genoma, gen, proteínas y fenotipo?
  - d. Analiza la tabla y determina si existe correlación entre el tamaño del genoma y la cantidad de genes en procariontes y eucariontes.
  - e. ¿La complejidad de los organismos eucariontes se relaciona con el tamaño de su genoma?

**Tabla 1:** Genomas de procariontes (amarillo) y de eucariontes (verde) y número estimado de genes.

Especie	Tamaño genoma (Mb)	Nº estimado de genes
<i>Mycoplasma pneumoniae</i>	0,8	670
<i>Helicobacter pylori</i>	1,7	1 500
<i>Haemophilus influenzae</i>	1,8	1 700
<i>Escherichia coli</i>	4,6	4 400
<i>Caenorhabditis elegans</i>	100	19 000
<i>Drosophila melanogaster</i>	180	13 700
<i>Mus musculus</i>	2 500	20 000
<i>Homo sapiens</i>	3 000	25 000

Fuente: Gregory, T. R. et al. (2007). Eukaryotic genome size databases. *Nucleic Acids Research*. Recuperado de <http://www.cbs.dtu.dk/databases/DOGS/>.

## Propósito de la lección

El proyecto genoma humano (PGH) es con seguridad la investigación más costosa y ambiciosa de la historia de la biología y, probablemente, la más cuestionada. En esta lección conocerás sus antecedentes, desarrollo, principales conclusiones y posibles consecuencias.

### 1. Propósito del proyecto genoma humano

Como sabes, el genoma es todo el material genético de una célula, incluido el de las mitocondrias. El PGH busca identificar la secuencia completa de las tres mil millones de bases nitrogenadas presentes en los 23 pares de cromosomas. Este es el primer paso para identificar los genes responsables de la síntesis de proteínas. Conocer el mensaje contenido en nuestros genes es comparable a conocer nuestro “manual de instrucciones”.

#### Para saber +

- Las más recientes disciplinas biológicas son la genómica y la proteómica. La genómica, apoyada en la genética y en la informática, se ocupa de descifrar los genomas. La proteómica se encarga de estudiar al proteoma o conjunto de proteínas codificadas y expresadas por el genoma, y explicar cómo influyen en el fenotipo.

## 1.1 Surge la iniciativa

El PGH se inició en 1990, con investigaciones subsidiadas por el gobierno de Estados Unidos y otras privadas; en 1998 se sumaron laboratorios de todo el mundo. Gracias a nuevas técnicas moleculares y a los avances computacionales, como el desarrollo de internet que permitió un rápido intercambio de información, fue posible que en el año 2000 se publicara el primer borrador, varios años antes de lo esperado.

## 1.2 Algunas observaciones y conclusiones

- Los genes que codifican proteínas son cerca de treinta mil, se estimaban cien mil, y se encuentran alejados entre sí. La mayor parte del ADN la constituyen secuencias de función aún desconocida. Se concluyó que no existe una relación directa entre la complejidad de un organismo y la cantidad de ADN.
- Cada gen está implicado en la síntesis de más de una proteína.
- Compartimos genes con bacterias y virus, por lo que parte de nuestro genoma provendría de microorganismos primitivos.

## 1.3 Posibles aplicaciones

Además de las aplicaciones científicas relacionadas con la comprensión del funcionamiento de las células del organismo y de este en su globalidad, el conocimiento obtenido a partir del PGH podría ser usado con fines **terapéuticos**; por ejemplo, se podría identificar a los genes responsables de una enfermedad genética y modificar su expresión, e **informativos**, porque si se conocen los genes de un individuo se podría saber su predisposición a contraer algunas enfermedades o sus aptitudes para desarrollar ciertas actividades.



▲ Entre los humanos existe un 99,9 % de semejanza genética, por lo que no existe fundamento biológico para el concepto de raza en nuestra especie.

### Reflexiona

#### ¿Qué usos se le podría dar al conocimiento del genoma humano?

Conocer el genoma de una persona permitirá saber si sufrirá de una enfermedad genética o si la porta, con vistas a su prevención o curación. Existen comités internacionales de bioética que vigilan los avances de la genómica, y velan por el respeto de los principios de libertad y dignidad de las personas, frente a los riesgos de desviación de la investigación biomédica o de sus aplicaciones hacia usos que podrían vulnerar los derechos de las personas. Por ejemplo, ¿te parece correcto que una empresa solicite informes genéticos a los postulantes a un puesto de trabajo?, ¿por qué?



▲ Análisis de una secuencia de bases.

**Antes de seguir**, utiliza lo aprendido

1. Explica qué significa la expresión “secuenciar el genoma humano”.
2. ¿Qué importancia tiene conocer la secuencia de todos los genes humanos?
3. ¿Quisieras conocer de antemano si vas a padecer una enfermedad genética?, ¿por qué?
4. ¿Qué avances se podrían producir en la farmacología gracias al PGH?
5. La mayoría de los cánceres de mama se deben a mutaciones. Con los conocimientos logrados por la genómica y la proteómica, ¿qué nuevos tratamientos podrían aplicarse?

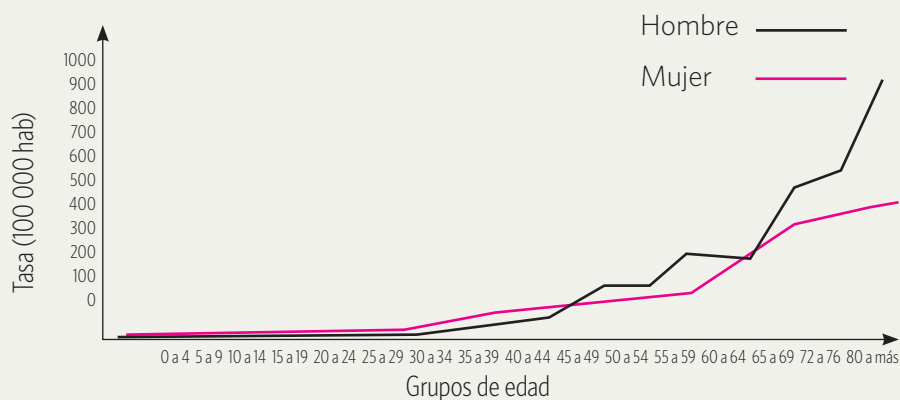
# ¿Qué puede ocurrir si se altera tu ADN?

► Debes recordar: **Evolución - Mutación**

## Trabaja con lo que sabes

1. ¿Qué es una mutación, cuáles son sus causas y efectos?
2. La Región de Antofagasta tiene las tasas más altas de cáncer de piel del país y una intensa radiación solar, un reconocido factor de riesgo para la salud. Analiza el gráfico y responde las preguntas:
  - a. ¿Crees que puede existir relación entre la intensidad de la radiación solar y la cantidad de casos de cáncer de piel que se presentan en Antofagasta? Explica.
  - b. ¿Se puede concluir que los efectos de la radiación solar son acumulativos? Fundamenta.

**Gráfico 2:** Incidencia de cáncer de piel en Antofagasta.



Fuente: Reunión nacional de epidemiología 2006. Registros de cáncer en Chile. Minsal.cl

## Propósito de la lección

Los miles de nucleótidos que forman el ADN son copiados con gran exactitud durante el proceso de replicación. Sin embargo, en ocasiones, se cometen errores que no son reparados, produciéndose una mutación. En esta lección conocerás los tipos de mutaciones y algunas de sus causas.

### 1. Mutaciones

Una mutación es cualquier cambio aleatorio en el ADN de un organismo. Aunque las mutaciones pueden ser causa de enfermedades, también son fuente de variabilidad genética y un motor para la evolución de las especies.

Las mutaciones pueden ser **espontáneas**, si se deben a errores propios del proceso de replicación. Otras pueden ser inducidas artificialmente mediante **agentes mutagénicos**, que pueden ser **físicos** —como las radiaciones UV, rayos X—; **químicos** —ciertos preservantes y colorantes usados en los alimentos, el alcohol y componentes del humo del tabaco— y **biológicos** —virus y transposones.



## 1.1 Tipos de mutaciones

Revisaremos tres criterios de clasificación de las mutaciones.

### a. Según sus efectos en el fenotipo

- **Mutaciones perjudiciales:** provocan la alteración de una proteína, que puede significar una desventaja para la supervivencia de un individuo e incluso ocasionarle la muerte. Por ejemplo, malformaciones congénitas, síndromes o rasgos como el albinismo.
- **Mutaciones neutras:** no afectan la supervivencia del organismo. En este caso, el cambio en el ADN no altera la secuencia de aminoácidos codificados o, si la altera, no afecta la función de la proteína.
- **Mutaciones beneficiosas:** aumentan la probabilidad de supervivencia del individuo, aportando variabilidad a la población.



- ◀ En el albinismo falla la síntesis de una enzima que interviene en el metabolismo de la melanina, pigmento que le da el color a la piel.

### b. Según el tipo celular afectado

- **Mutaciones somáticas:** afectan a las células de un tejido, distinto al germinal, por lo que no se heredan. Pueden originar **cáncer**; por ejemplo, el melanoma es un tipo de cáncer de piel causado por la exposición a radiación UV.
- **Mutaciones germinales:** afectan a las células que originan gametos o a los gametos. Estas mutaciones no se manifiestan en el propio individuo, pero pueden transmitirse a futuras generaciones, por lo que tienen más importancia desde el punto de vista evolutivo. Por ejemplo, la mutación ligada al cromosoma X causante de la hemofilia.

#### Para saber +

- Los **transposones** son segmentos de ADN móviles, que pueden insertarse en el mismo cromosoma o en otro, alterando la expresión de los genes. Su existencia fue predicha en 1951 por la científica estadounidense Bárbara McClintock, pero su idea de “los genes saltarines” fue desestimada porque estaba en contra de lo que hasta ese momento era aceptado. Tras confirmarse la existencia de estos, McClintock recibió el Premio Nobel en 1983. El trabajo científico de McClintock es un ejemplo de dedicación y rigurosidad.

## Conexión con

### Medicina

En el pueblo italiano de Limone, el 4 % de sus poco más de mil habitantes tienen una mutación que produce una proteína que impide la acumulación de placas de colesterol en las arterias o arterosclerosis, por lo que no sufren de infartos, aunque sus niveles de colesterol en la sangre sean altos. Un equipo de investigadores ya ha logrado sintetizar la proteína e iniciar pruebas, cuyos resultados en animales son auspiciosos.

□



- ▲ El humo del tabaco produce mutaciones que conducen al cáncer, principalmente en las vías respiratorias y pulmones.

Inter@ctividad

- Ingresa a [www.recursoctic.cl/lbm240](http://www.recursoctic.cl/lbm240) y explica por qué la mutación que conduce a la anemia falciforme puede ser ventajosa.

c. De acuerdo con la extensión de material genético afectado

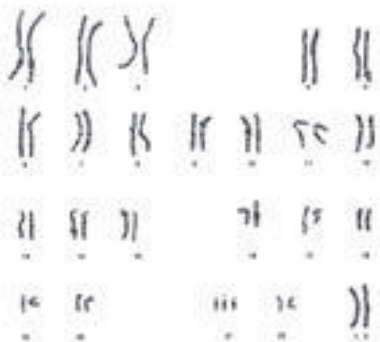
- **Mutaciones génicas o puntuales:** afectan a la secuencia de nucleótidos de un gen determinado. Por ejemplo, la forma anormal de los glóbulos rojos de las personas que tienen anemia falciforme se debe a que su hemoglobina está alterada por el cambio de uno de sus aminoácidos. En este caso, se sustituye una base de uno de los genes, que codifica para uno de los péptidos de la hemoglobina, entonces el ARNm en vez de contener en cierta posición al codón GUG, lleva el codón GAG. Como consecuencia, el péptido formado tiene ácido glutámico en la ubicación de la valina, lo que cambia la forma de la proteína.



▲ Anemia falciforme. Eritrocitos con su forma alterada debido a una mutación puntual.



▲ Cariotipo de un hombre con síndrome de Klinefelter 49 XXXY.



▲ Cariotipo de una mujer con síndrome de Down.

- **Mutaciones cromosómicas:** alteran la estructura interna de los cromosomas. Por ejemplo, la pérdida o deleción de uno de los brazos del cromosoma 13 ocasiona cáncer de retina.
- **Mutaciones genómicas:** producen un cambio en el número total de cromosomas de una especie. Por ejemplo, las personas con síndrome de Down o trisomía 21 presentan en sus células tres cromosomas 21 en vez de dos.

Para saber +

- Una **enfermedad genética** se debe a un daño puntual en los genes o en los cromosomas y pueden ser heredables o no, como el cáncer. Las **enfermedades hereditarias** están determinadas genéticamente, pero no siempre se manifiestan en el momento del nacimiento, como la diabetes. Las **enfermedades congénitas** no se deben a los genes, sino que a problemas durante el embarazo que ocasionan alguna malformación, como las deformaciones causadas en niños a cuyas madres se les recetó talidomida durante el embarazo para reducir las náuseas.

## Reflexiona

## ¿Cuánto sabes del síndrome de Down?

El síndrome de Down es una de las anomalías genéticas más frecuentes: en Chile, nacen alrededor de cinco niños con este síndrome por cada 1 000 nacidos, es decir, aproximadamente 300 niños con síndrome de Down al año. Las personas con síndrome de Down, al igual que quienes no presentan esta condición, tienen la habilidad para manejar sentimientos y emociones propias y de otras personas, y a partir de esta información conducir sus acciones (inteligencia emocional). No obstante, su aprendizaje es más lento, su retraso cognitivo puede ser leve, moderado o grave, y la progresión de este rasgo no se puede predecir, pues la adecuada estimulación desde la infancia les permite a estas personas aprender a leer, escribir, ir al colegio y trabajar.

Actualmente, se realizan múltiples esfuerzos para permitir la integración de las personas que padecen esta enfermedad, como incorporarlas al mundo laboral.

¿De qué manera esta iniciativa contribuye a la integración de estas personas?, ¿es importante incluir a quienes sufren de síndrome de Down?, ¿de qué otras maneras puede llevarse a cabo esta integración?

**Fuentes:** [www.medicinafamiliaruc.cl/html/articulos/151.html](http://www.medicinafamiliaruc.cl/html/articulos/151.html)  
[www.medicinafamiliaruc.cl/html/articulos/152.html](http://www.medicinafamiliaruc.cl/html/articulos/152.html)



▲ El 21 de marzo se celebra el Día Internacional de las Personas con Síndrome de Down, dedicando un espacio para celebrar los cambios que en los últimos años han permitido mejorar la calidad de vida de estas personas y de sus familias.

## Antes de seguir, utiliza lo aprendido

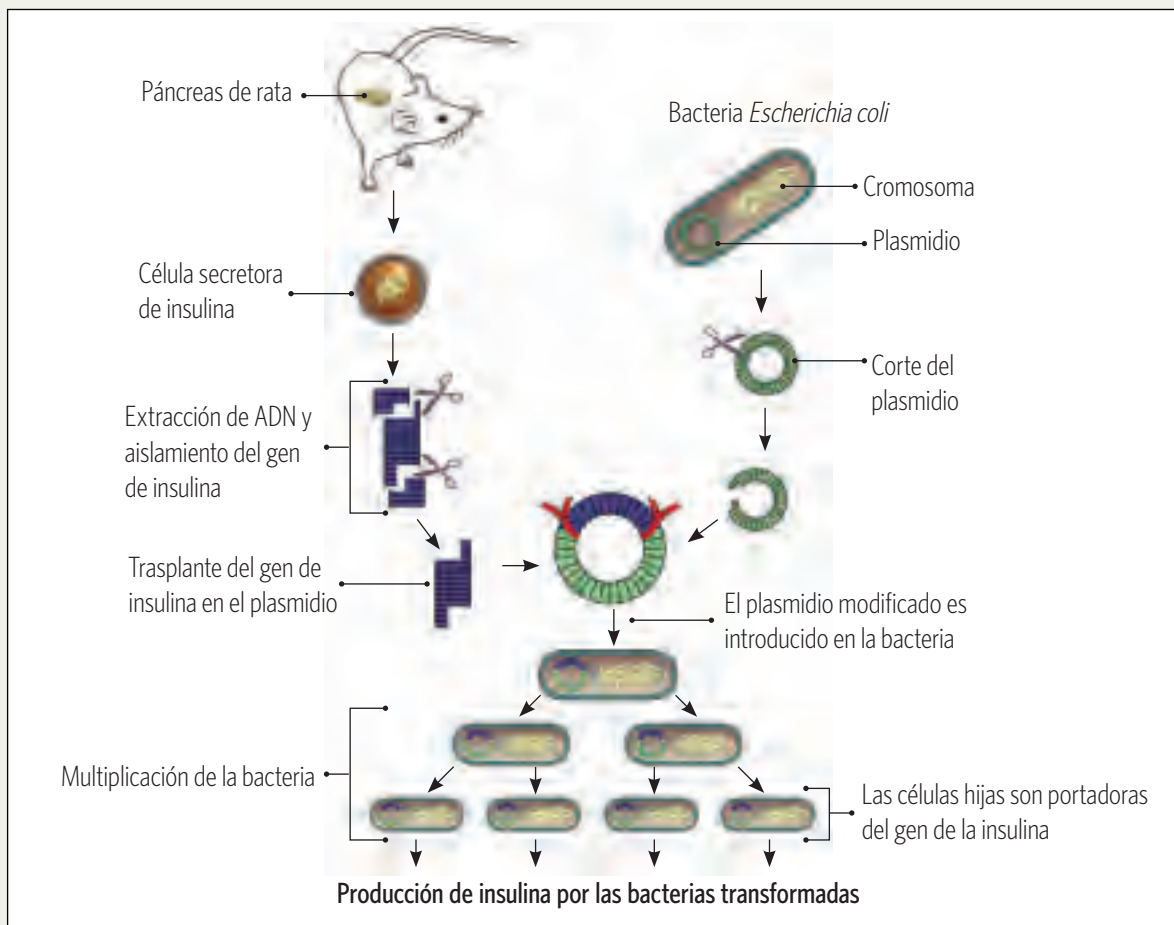
- Analiza la información referida a la anemia falciforme y escribe la secuencia de bases normal y mutada del ADN.
- La secuencia I corresponde a un ADN normal y las secuencias II y III a sus versiones mutadas.
  - ATAGCACCCTCTAT
  - ATAGCAGGACTCTAT
  - ATAGCACCCTTTAT
  - Escribe para cada secuencia el ARNm transcrito y la secuencia de aminoácidos traducida.
  - ¿Piensas que las mutaciones II y III tendrán efectos en el fenotipo? Fundamenta.
  - ¿A qué tipo de mutación corresponden las secuencias I y II?
- Una persona desarrolló un tipo de cáncer de piel debido a la exposición prolongada a los rayos UV.
  - ¿Herederán este tipo de mutación sus hijos?, ¿por qué?
  - ¿Qué tipo de agente mutagénico ha provocado la mutación?
- Investiga las causas y síntomas de los siguientes trastornos y ordénalos en un diagrama según el tipo de mutación que los origina: fenilcetonuria, síndrome de Turner, síndrome de Klinefelter (47 XXY) y hemofilia.

# ¿Qué es la biotecnología?

► **Debes recordar:** **Función del ADN - Células procariontes**

## Trabaja con lo que sabes

1. Observa el esquema y responde en tu cuaderno las siguientes preguntas:
  - a. Analiza el experimento y luego explícalo con tus propias palabras.
  - b. ¿Qué usos o aplicaciones puede tener este procedimiento?
  - c. ¿Es un experimento biotecnológico? Fundamenta.



▲ Aplicación de la transformación bacteriana para aislar genes.

## Propósito de la lección

En esta lección comprenderás que el conocimiento acerca de la estructura del ADN y de la expresión de sus genes tiene aplicaciones prácticas que afectan nuestra calidad de vida e incluso en la forma en que las sociedades se organizan y se relacionan con otras especies.

## 1. ¿Qué es la biotecnología?

Se puede definir como el empleo de organismos, o parte de ellos, con el fin de obtener un beneficio para las personas, mediante el uso de técnicas, conocimientos y procesos que permiten diseñar y construir nuevos productos.

### 1.1 El desarrollo de la biotecnología

La **biotecnología** es una práctica milenaria, aunque el término fue acuñado recién en 1919 por el ingeniero agrónomo húngaro Karl Ereky. Se la divide en biotecnología tradicional y moderna.

La **biotecnología tradicional** abarca técnicas empíricas sin fundamentos científicos, como la confección de arpones de hueso, el uso de pieles, la selección artificial del ganado y vegetales o la elaboración de pan, queso, yogur, cerveza y vino.

La **biotecnología moderna** surge en el siglo XX gracias a los conocimientos de biología molecular, como el descubrimiento de la función del ADN y su estructura. El más importante fue el descubrimiento de la **universalidad del código genético**. Como **la información genética de un organismo puede ser interpretada y expresada por las células de cualquier otro**, los biólogos se dieron cuenta de que era posible tomar un gen de un organismo e introducirlo en otro para que este expresara la información de dicho gen. De esta manera, se dio inicio a la biotecnología moderna, a partir de la **ingeniería genética**.



◀ Incorporación del ADN foráneo en el genoma de la célula receptora.



▲ El yogur es la leche coagulada obtenida por la fermentación ácido-láctica, realizada por las bacterias termófilas *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus*.



▲ Para elaborar las diferentes variedades de quesos, se utilizan distintos microorganismos. En el caso del queso roquefort, el organismo empleado es el hongo *Penicillium roqueforti*.

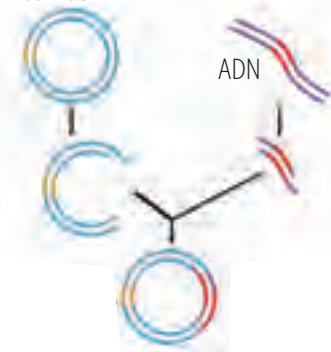
#### Para saber +

- Algunas enfermedades hereditarias causadas por una mutación en una secuencia de bases específica y bien localizada en el ADN del individuo, como la hemofilia B y la distrofia muscular de Duchenne, han podido ser tratadas con terapia génica. Mientras que las personas que padecen enfermedades hereditarias debidas a la asociación de varias anomalías genéticas y de factores ambientales, como la diabetes y el asma, no han podido beneficiarse de esta terapia.

## Para saber +

- Las principales herramientas moleculares empleadas en ingeniería genética son las enzimas de restricción, que cortan el ADN en sitios específicos; las ligasas, enzimas que unen fragmentos de ADN y los vectores, agentes, como plásmidos y virus, que transfieren un segmento de ADN de un organismo a otro.

Plásmido



- ▲ Al igual que a la planta de poroto de soya, al trigo se le han incorporado genes que le otorgan resistencia a los herbicidas.

## 2. ADN recombinante, aplicaciones y cuestionamientos

La ingeniería genética es la disciplina que modifica el material genético de las células empleando diferentes herramientas moleculares para fabricar **moléculas de ADN recombinantes**, es decir, moléculas sintetizadas artificialmente mediante la unión de ADN de especies diferentes. Cuando un organismo sintetiza proteínas de otro, cambia su fenotipo, y se denomina **organismo transgénico (OT)**.

La ingeniería genética se ha desarrollado en diferentes áreas y sus aplicaciones son múltiples. Sin embargo, ha sido cuestionada desde el punto de vista ético y científico respecto de su inocuidad y sus beneficios reales.

### 2.1 Aplicaciones del ADN recombinante

- Aplicaciones farmacológicas:** se transfieren genes humanos a bacterias, para conseguir que estos organismos produzcan proteínas en grandes cantidades, que son necesarias para el tratamiento de ciertas enfermedades. Por ejemplo, se crearon bacterias transgénicas que producen la hormona insulina, requerida para el tratamiento de la diabetes. Otros microorganismos transgénicos producen anticuerpos, factores de coagulación, para el tratamiento de personas que padecen hemofilia y, con otros, se producen vacunas contra ciertos microorganismos.
- Aplicaciones médicas:** se han desarrollado técnicas de **diagnóstico** y de **tratamiento de enfermedades**. Por ejemplo, el **ensayo FISH** (hibridación in situ con fluorescencia), permite el diagnóstico de enfermedades cromosómicas; la **terapia génica** permite el tratamiento de enfermedades producidas por una alteración genética, como la diabetes o el Parkinson. Esta terapia consiste en sustituir el gen defectuoso por un gen sano para producir con normalidad la proteína responsable de la enfermedad, actuando sobre el origen de la enfermedad y no sobre las consecuencias de la afección. De esta manera, la corrige definitivamente.
- Aplicaciones en la industria:** se han creado plantas transgénicas resistentes a herbicidas e insectos, y otras a las que se les ha incrementado su valor nutricional. También se han creado animales más grandes y resistentes a condiciones ambientales adversas y otros que suministran sustancias útiles, como vacas cuya leche contiene la hormona del crecimiento.

## 2.2 Riesgos de los organismos transgénicos (OT)

Se ha comprobado que el consumo de alimentos producidos con ciertos OT provocan reacciones alérgicas en algunas personas. Así mismo, que aquellos alimentos elaborados con OT que contienen un tipo de lecitina alteran la mucosa gástrica e intestinal y los que poseen cierta proteína de soya transgénica causan cambios bioquímicos en los hepatocitos. La alta concentración del herbicida glifosato encontrada en algunos cultivos de soya transgénicos es un riesgo para la población, pues es un agente cancerígeno. Por otra parte, existe el riesgo del traspaso de genes de resistencia a antibióticos a patógenos que afectan al ser humano.

Por último, la producción de OT implica **riesgos** para la biodiversidad y para el desarrollo económico.

Riesgos para la biodiversidad	Desaparición de variedades vegetales más antiguas porque ya no se cultivan, por el uso de insecticidas o por el desplazamiento de especies transgénicas.
	Alteración de especies silvestres por transferencia de genes.
	Cambios en los equilibrios ecológicos.
Riesgos económicos	Pérdida de mercados que son reticentes al consumo de OT o sus derivados.
	Menor precio de los productos transgénicos.
	Pago de patentes y derechos.
	Dependencia permanente de los agricultores del fabricante de los OT y de las semillas vendidas.
	La pérdida de la biodiversidad podría impedir el desarrollo de nuevos productos alimenticios, químicos y fármacos.
	Incompatibilidad con el desarrollo de una agricultura limpia u orgánica.
Además, impide la preservación y desarrollo de la cultura de los pueblos originarios.	

Fuente: Tchernitchin, A. Organismos transgénicos: ventajas y riesgos. En [www.bcn.cl](http://www.bcn.cl)



- ▲ Se han creado tomates transgénicos capaces de crecer en suelos salinos y a otros se les han incorporado genes foráneos para que se retrase su maduración, o bien se inhiba la formación de semillas.



- ▲ Desaparición de variedades silvestres y de sus genes, como consecuencia de la polinización cruzada con especies transgénicas.

## Aquí CIENCIA

## Clonación en Chile

En el año 2008, investigadores de la Universidad de Concepción lograron obtener el primer clon vivo de Chile, un ternero llamado Lola. Este animal y los que le siguieron tuvieron una corta vida. En 2011 nació Esperanza, un ternero angus rojo, que es hoy el animal clonado más longevo de Chile. Con cada nueva experiencia, los investigadores mejoran sus técnicas, que quieren emplear en la recuperación de especies chilenas en peligro de extinción.

140

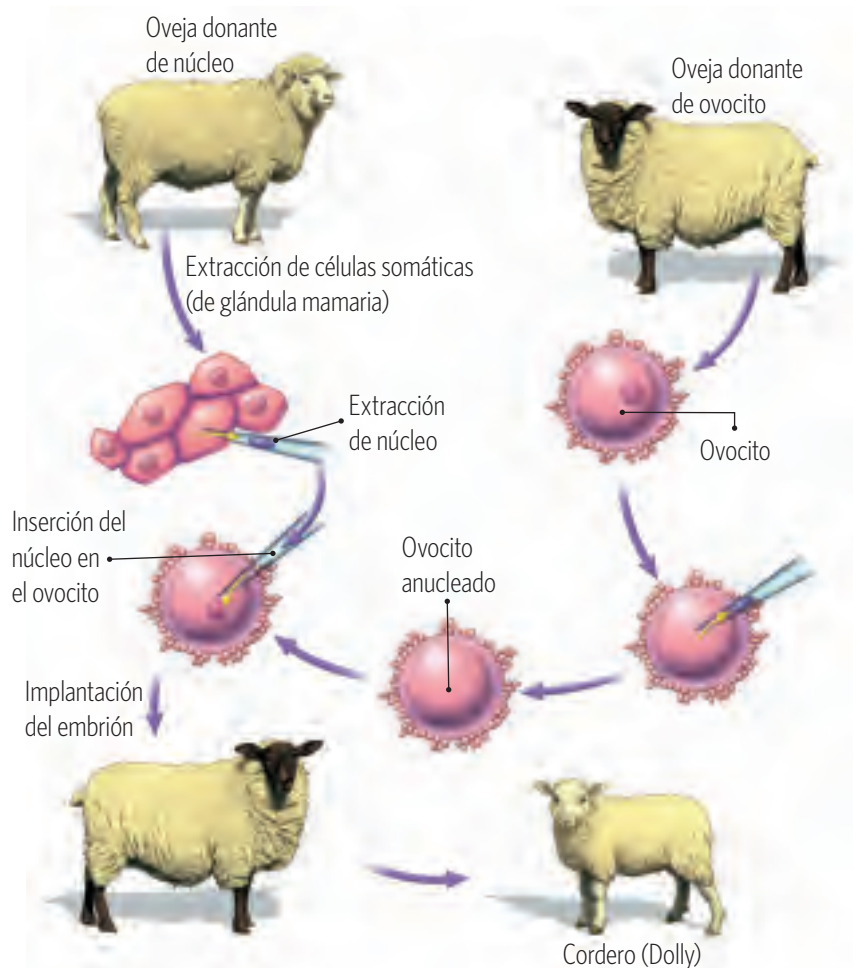


Opina acerca de la posibilidad de clonar seres humanos, en no más de 140 caracteres.

## 3. Clonación

Además de las técnicas de ADN recombinante, la ingeniería genética ha desarrollado la técnica de la clonación. Clonar un organismo, una célula o una molécula significa hacer una o varias copias genéticamente idénticas al original. Se distinguen dos tipos de clonación, **reproductiva** y **terapéutica**. La primera busca obtener individuos genéticamente idénticos entre sí, mientras que la segunda busca producir tejidos u órganos para trasplantes.

En 1997 se anunció el nacimiento de Dolly, el primer mamífero clonado mediante la técnica de **transferencia nuclear**. La técnica consiste en usar núcleos de células embrionarias en estado de desarrollo temprano o de células diferenciadas.



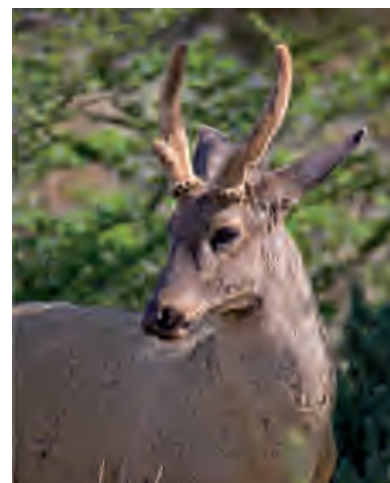
▲ Clonación por transferencia nuclear. Se requirieron más de 400 ensayos para que los investigadores tuvieran éxito y pudieran obtener a Dolly.



El procedimiento, gracias al que nació Dolly, puede resumirse en los siguientes pasos:

- De una oveja blanca se extrajeron células de glándulas mamarias.
- Se tomaron ovocitos de una oveja cabeza negra y se les extrajo el núcleo.
- A cada ovocito anucleado se le insertó un núcleo de una célula de glándula mamaria y se formaron cigotos.
- Los cigotos fueron trasplantados al oviducto de otra oveja que actuó como madre sustituta.

Tras el nacimiento de Dolly, se han clonado otras especies de mamíferos. En cada procedimiento, solo un pequeño porcentaje de los embriones clonados es capaz de desarrollarse con normalidad y la mayoría de los individuos adultos suele morir prematuramente debido a enfermedades degenerativas.



▲ El huemul (*Hippocamelus bisulcus*) está en peligro de extinción. Existen proyectos que buscan rescatarlo mediante la clonación.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

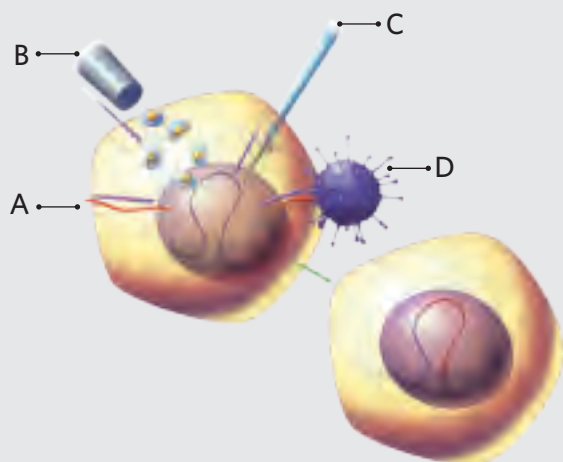
1. Haz una lista de procesos y productos biotecnológicos que hagas o emplees diariamente.
2. ¿Sería posible la ingeniería genética, como la conocemos, si el código genético no fuera universal? Explica.
3. ¿Cuáles son las diferencias entre la biotecnología tradicional y la moderna?
4. Menciona tres razones que hacen de las bacterias organismos imprescindibles en la biotecnología moderna.
5. ¿Por qué es necesario conocer el genoma humano para aplicar las técnicas de terapia génica?
6. Describe dos aplicaciones de la biotecnología moderna y explica su importancia.
7. Señala los dos riesgos que te parecen más relevantes del empleo de organismos transgénicos. Fundamenta.
8. ¿Cuál es la diferencia entre la clonación reproductiva y la clonación terapéutica?
9. Intercambia ideas con un compañero acerca de si están o no de acuerdo con:
  - a. el desarrollo y empleo de organismos transgénicos.
  - b. el desarrollo de la clonación terapéutica
  - c. el desarrollo de la clonación reproductiva
10. Tras desarrollar la pregunta anterior, escribe un listado con los puntos a favor y en contra de cada caso discutido.



## Terapia génica

La terapia génica es el conjunto de procedimientos que permiten la introducción de genes sanos o normales dentro de las células de un organismo, con el fin de tratar enfermedades que antes

parecían incurables. Para ello se han desarrollado técnicas que permiten identificar y remplazar los genes defectuosos, logrando así reparar tejidos y órganos dañados.



En un comienzo, la terapia génica se pensó como la alternativa de tratamiento para enfermedades genéticas causadas por un solo gen (monogénicas), como la fenilcetonuria. En la actualidad se visualiza como posible tratamiento para muchas enfermedades, siendo el cáncer la más estudiada, además de otras como la diabetes tipo I, el mal de Alzheimer y enfermedades infecciosas como el sida y la hepatitis.

En Chile se desarrollan diferentes proyectos de investigación referidos a terapia génica. Uno de ellos, liderado por científicos del Centro de Estudios Moleculares de la Célula (CEMC) de la Universidad de Chile, busca desarrollar un tratamiento para personas con lesiones en la médula espinal, que han perdido la movilidad. Los investigadores

### Formas de incorporar un gen en una célula

- A. Difusión.** El gen puede atravesar la membrana plasmática y llegar hasta el núcleo.
- B. Proyectiles.** Se “disparan” pequeñas esferas de material sólido, que ingresan a la célula y que llevan consigo copias del gen foráneo.
- C. Inyección.** El ADN se inyecta en las células a través de agujas muy finas.
- D. Virus.** Los virus se caracterizan por “inyectar” su ADN en las células. Así, si se inserta en su genoma el gen deseado, este se podrá incorporar en el genoma de la célula.

descubrieron que el trauma sufrido por el SNC luego de una lesión medular, altera la homeostasis de las proteínas, aumentando los niveles de estrés celular. Usando un virus como vector, lograron introducir un gen que codifica para un factor de transcripción que regula la homeostasis proteica, en las células de la médula espinal dañada de ratas. Con este tratamiento consiguieron una recuperación parcial de la movilidad de los animales lesionados.

El consumo de alcohol es un problema particularmente serio en nuestro país, como demuestran los datos obtenidos por el Servicio Nacional para la Prevención y Rehabilitación del Consumo de Drogas y Alcohol (Senda), y que se muestran en la siguiente tabla adaptada.

**Tabla 2:** Uso recurrente de alcohol, con el consiguiente fracaso en obligaciones escolares, laborales y domésticas, por sexo, grupos de edad y nivel socioeconómico.

Año	Sexo		Edad (años)				Nivel socioeconómico		
	Hombres (%)	Mujeres (%)	12-18 (%)	19-25 (%)	26-34 (%)	35-44 (%)	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)
2006	6,5	1,1	5,8	7,8	3,7	4,1	5,2	3,5	3,3
2008	5,3	1,7	3,7	5,9	3,9	2,3	5,8	3,2	1,2
2010	6,1	4	5,7	8	4,2	3	6,3	5,3	4,3

La terapia génica puede ayudar a solucionar el alcoholismo, si un grupo de investigadores del Instituto Milenio de Dinámica Celular y Biotecnología de la Universidad de Chile tiene éxito en su búsqueda de una vacuna contra esta adicción. Estudiaron una mutación, que afecta a parte de la población asiática, que impide que se produzca la enzima aldehído deshidrogenasa (DH), encargada de metabolizar el alcohol, lo que desencadena que sus derivados se acumulen en el organismo

generando una serie de molestos síntomas. Los investigadores emplearon un virus como vector para ingresar una molécula que evita la transcripción del gen que codifica la enzima DH en ratas, y observaron efectos de intoxicación y disminución del consumo de alcohol en estos animales entre un 50 % y un 60 %. El próximo paso de este proyecto es intentar aplicar exitosamente, en humanos, el procedimiento desarrollado en ratas.

Fuentes: <http://radio.uchile.cl/noticias/123589/>

[www.anip.cl/prensa/chilenos-preparan-una-terapia-genica-para-tratar-el-alcoholismo/](http://www.anip.cl/prensa/chilenos-preparan-una-terapia-genica-para-tratar-el-alcoholismo/)

### Actividad

1. La terapia génica es una tecnología compleja relativamente nueva, por lo que todavía hay mucha gente que no está familiarizada con el tema. ¿Cómo le explicarías el concepto a alguien que nunca ha oído hablar de él?
2. De acuerdo con la tabla, ¿en qué sexo, edad y nivel socioeconómico es más probable que una persona tenga problemas a causa del consumo de alcohol? Propón una hipótesis que explique tu conclusión.
3. Considerando las investigaciones que se realizan en Chile, ¿cuál puede ser el impacto de la terapia génica en la calidad de vida de nuestra sociedad?



### Organiza lo que sabes

Revisa en tu cuaderno el organizador gráfico que creaste en la sección *Evalúo mi progreso* anterior, y utilízalo como base para diseñar un nuevo organizador. Incluye en él, al menos, siete de los conceptos de la siguiente lista. Esta vez, hazlo en una cartulina o papelógrafo, para que lo puedas exponer y discutir con tus compañeros.

- agente mutágeno
- controversias éticas
- organismo transgénico
- biotecnología
- genoma
- PGH
- clonación reproductiva
- ingeniería genética
- proteoma
- clonación terapéutica
- mutación
- riesgos biológicos

### Evaluación de proceso

1. Analiza los resultados y alcances éticos del Proyecto Genoma Humano (PGH) y contesta: (6 puntos).
  - a. ¿Cuál de sus conclusiones o posibles aplicaciones biológicas te parece más relevante? Fundamenta.
  - b. ¿Es necesario que las investigaciones genómicas y proteómicas estén bajo la vigilancia de comités éticos? Explica.
2. Acerca de las mutaciones, responde: (5 puntos).
  - a. ¿Cuál es su importancia para la evolución?
  - b. ¿Qué enfermedades y síndromes pueden deberse a ellas?
  - c. Menciona ejemplos de agentes mutágenos físicos, químicos o biológicos, con los que pudieras tener contacto, y describe cómo podrías prevenir sus efectos.
3. Escribe el tipo específico de mutación al que puede corresponder cada una de las situaciones descritas. (3 puntos).

Situación	Según sus efectos en el fenotipo	Según el tipo celular afectado	Según la extensión de material afectado
El cariotipo de una mujer con síndrome de Turner es 45, X.			
Los hijos de una mujer hemofílica son hemofílicos.			
Una joven tiene una proteína que impide la acumulación de colesterol en sus arterias.			

4. Acerca de la biotecnología responde las siguientes preguntas. (8 puntos).
- ¿Qué distingue a la biotecnología tradicional de la biotecnología moderna?
  - ¿Por qué es importante la universalidad del código genético para el desarrollo de la ingeniería genética?
  - ¿Cómo puede mejorar nuestra calidad de vida la ingeniería genética? Explica usando tres ejemplos de sus aplicaciones.
  - Escribe los tres principales riesgos del desarrollo y uso de organismos transgénicos. Fundamenta tu elección.

**Me evalúo**

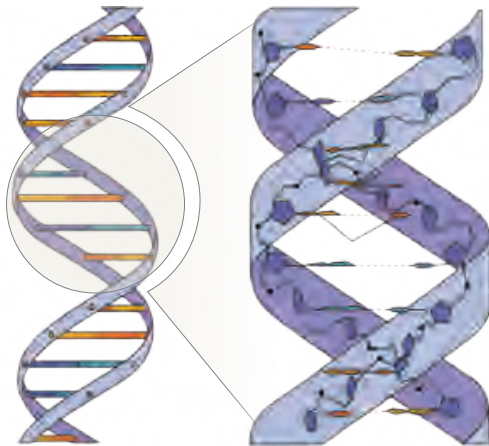
Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Analizar los alcances biológicos y éticos del proyecto genoma humano basándose en conocimientos científicos.	1	_____/6	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Describir y clasificar, según diferentes criterios, las mutaciones y sus efectos.	2 y 3	_____/8	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>
Analizar las aplicaciones de la ingeniería genética y opinar acerca de su impacto en la sociedad, basándose en datos científicos.	4	_____/8	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

### Lección 1: ¿Cómo es la molécula de ADN?

- El ADN es la molécula de la herencia y la que determina el fenotipo celular.
- Su estructura, según el modelo propuesto por Watson y Crick, está constituida por dos cadenas de nucleótidos complementarias y antiparalelas, enrolladas en una doble hélice. Los nucleótidos de una misma cadena se unen entre sí mediante enlaces covalentes entre la pentosa de un nucleótido y el grupo fosfato del siguiente nucleótido. Este constituye el esqueleto externo de la hélice y las bases nitrogenadas se disponen hacia el interior. Las bases nitrogenadas de ambas cadenas se unen con puentes de hidrógeno ( $A = T$  y  $G \equiv C$ ).



### Lección 2: ¿Cómo se hereda el ADN?

- La replicación del ADN, durante el periodo S del ciclo celular, permite hacer una copia de cada molécula de ADN, con lo que se mantiene la continuidad de la información genética a través de las generaciones.
- La replicación del ADN es bidireccional, semiconservativa y semidiscontinua.
- Varias enzimas regulan el proceso; la principal es la ADN polimerasa, encargada de sintetizar ADN.

### Lección 3: ¿Cómo se expresa la información del ADN?

- Los genes se expresan mediante la síntesis de un polipéptido, la cual se realiza en los ribosomas ubicados en el citoplasma. Mediante la transcripción se sintetiza ARNm, que actúa como una molécula intermediaria.
- La transcripción es regulada por factores de transcripción, y catalizada por la ARN polimerasa.
- Tras ser sintetizado, el ARNm eucarionte debe madurar. En esta etapa es posible producir diferentes variedades de ARNm a partir de uno original, gracias al proceso de corte de intrones y empalme de exones.
- El código genético es universal, pues es el mismo en todos los organismos; y redundante, ya que un mismo aminoácido es codificado por más de un codón.
- Cada codón o trío de bases de ARNm codifica para un aminoácido o bien para una señal de inicio de la transcripción o de término de esta.



### Lección 4: ¿Cómo se sintetiza un polipéptido?

- La traducción ocurre en los ribosomas, y en ella la secuencia de codones de un ARNm guía aquella en que se unen los aminoácidos en un polipéptido.
- Las enzimas aminoacil-ARNt-sintetasas unen un aminoácido determinado a un ARNt que contenga una secuencia específica de tres bases, llamada anticodón. Esta secuencia se une por complementariedad a un codón, en un sitio específico del ribosoma, cuyo ARNr cataliza el enlace peptídico entre dos aminoácidos adyacentes.



### Lección 5: ¿Qué es el proyecto genoma humano (PGH)?

- El PGH permitió identificar la secuencia completa de las bases nitrogenadas presentes en los 23 pares de cromosomas. Conocer el genoma podría permitir a una persona saber si sufrirá una enfermedad genética o si es portadora, y así prevenirla o curarla.
- Algunas de las conclusiones obtenidas tras el PGH son: que no existe una relación directa entre la complejidad de un organismo y la cantidad de ADN; que parte de nuestro genoma provendría de microorganismos primitivos, y que no existe fundamento biológico para el concepto de "raza" en nuestra especie.



### Lección 6: ¿Qué puede ocurrir si se altera tu ADN?

- Una mutación es cualquier cambio aleatorio en el ADN. Aunque las mutaciones pueden ser causa de enfermedades, también son fuente de variabilidad genética y un motor para la evolución de las especies.
- Los agentes mutágenos pueden ser biológicos, físicos y químicos, y las mutaciones pueden clasificarse según: la extensión del material genético afectado, el tipo celular dañado, o bien por sus efectos en el fenotipo.



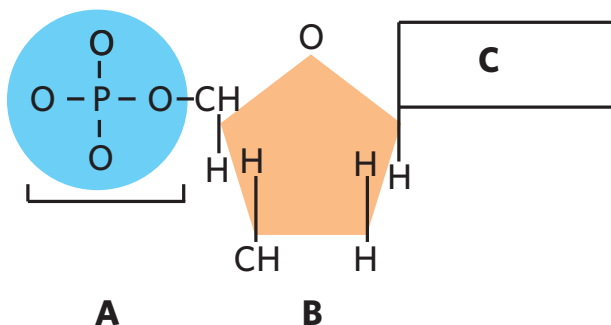
### Lección 7: ¿Qué es la biotecnología?

- La biotecnología es el empleo de los seres vivos o sus productos. La ingeniería genética es una de sus ramas y consiste en modificar el ADN de las células usando diferentes herramientas moleculares, con el fin de alterar su fenotipo. Sus aplicaciones son farmacológicas, médicas e industriales.
- La creación de organismos transgénicos ha generado un debate científico y ético, debido a que se cuestiona su impacto sobre la salud, la economía y la biodiversidad.



Utiliza lo aprendido durante esta unidad para contestar las siguientes preguntas.

- La ilustración representa los nucleótidos componentes del ADN. Al respecto, contesta: (3 puntos).
  - Identifica los componentes A, B y C.
  - En el componente C se distinguen dos grupos; ¿cuáles son estos y en qué se diferencian?
  - ¿A cuál de los dos grupos anteriores corresponden la timina, citosina, adenina y guanina?



- Marca la opción de cada par que represente la característica de la molécula de ADN propuesta por Watson y Crick en su modelo. (3 puntos).

Dirección de las hebras		Hebras polinucleotídicas		Complementariedad de bases	
				<b>A = T</b> <b>G = C</b>	<b>A = C</b> <b>G = T</b>

- Explica por qué se dice que el ADN es la molécula de la herencia, y la manera en que este determina el fenotipo de una célula. (4 puntos).



4. Compara, en la siguiente tabla, los procesos de replicación y de transcripción. (7 puntos).

Característica	Transcripción	Replicación
Lugar de la célula donde ocurre		
Cantidad de hebras copiadas		
Etapa(s) del ciclo celular en que ocurre		
Enzima principal del proceso		
Enzimas comunes		
Producto del proceso		
Importancia del proceso		

5. ¿Cuál es la importancia de los factores de transcripción? (2 puntos).

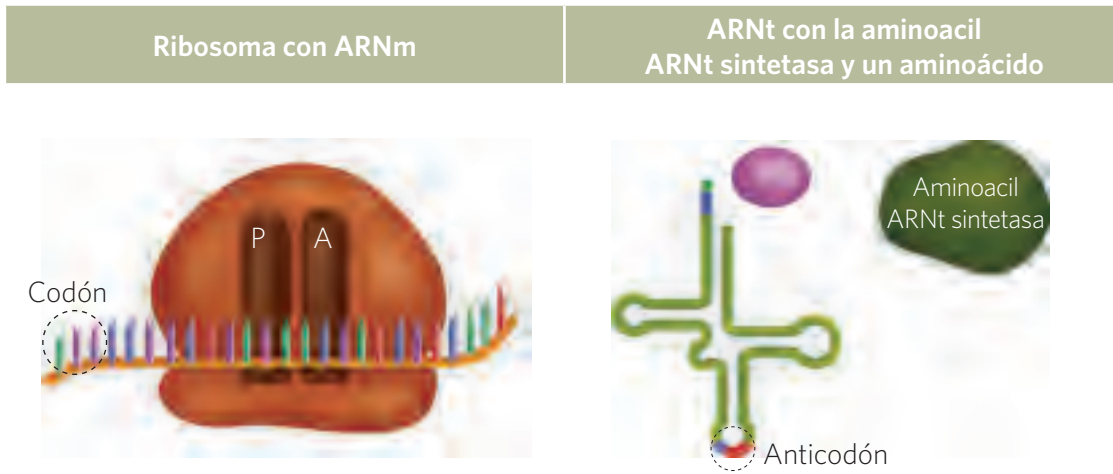
6. Acerca del proceso de maduración del ARNm, responde: (7 puntos).

- ¿Ocurre tanto en eucariontes como en procariontes?
- ¿Cuál es la diferencia funcional entre intrones y exones?
- ¿Cuál es la importancia de la poliadenilación?
- ¿Cuál es el valor biológico de las diferentes posibilidades de empalmar los exones en un ARNm maduro?
- Representa en tu cuaderno los posibles ARNm generados con la unión de, al menos, dos de los exones de la figura:



## Evaluación final de Unidad

7. Escribe la función general de los ribosomas, ARNm y ARNt, y el rol específico de los elementos identificados en la ilustración. (5 puntos).



8. La siguiente es parte de la secuencia de bases de un gen que codifica una proteína humana. Con ayuda del código genético de la página 227, responde las preguntas: (5 puntos).

CTC AAT GTA TAC AAG GGC TGG TAG TAC GGC GAC AGG GCA GAC AAG CTG TTG ATC CGT TAT

- Identifica la secuencia de inicio.
  - Identifica la secuencia de término.
  - Escribe la secuencia de codones que codificaría para la secuencia de aminoácidos.
  - Escribe la secuencia de los aminoácidos hasta que aparezca la secuencia de término.
9. Responde las siguientes preguntas considerando en tu fundamentación las propiedades del código genético. (4 puntos).
- Un investigador encontró un gen en las moscas con la misma secuencia de bases que el gen humano de la pregunta anterior. Propuso que estos insectos pueden producir la misma proteína. ¿Estás de acuerdo con su hipótesis? Fundamenta.
  - Si ocurre una mutación en la base que está subrayada, ¿cuál sería el efecto en la proteína sintetizada? Explica.
10. Escribe un cuento, u otro tipo de texto narrativo, que permita reflexionar acerca de los alcances biológicos y éticos del proyecto genoma humano. (5 puntos).

11. Emplea cada grupo de términos para construir un texto breve o un afiche. (5 puntos).
- Mutación negativa - Nicotina - Cáncer - Agente químico - Célula somática
  - Síndrome de Down - Mutación genómica - Respeto - Cualidades
12. Selecciona aquella aplicación de la ingeniería genética que te parece más riesgosa, y la que consideras más beneficiosa; fundamenta tus elecciones ante un grupo de compañeros. (7 puntos).

## Me evaluó

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos
Describir la composición química, estructura y función del ADN.	1, 2 y 3	6 o menos	7 a 8	9 o más
Explicar la importancia de la replicación del ADN y el rol de las enzimas que participan del proceso.	4	4 o menos	5	6 o más
Explicar el proceso de transcripción y su regulación.	4, 5 y 6	11 o menos	12 a 13	14 o más
Describir el proceso de traducción y la universalidad del código genético.	7, 8 y 9	8 o menos	9 a 11	12 o más
Analizar los alcances biológicos y éticos del proyecto genoma humano basándose en conocimientos científicos.	10	3 o menos	4	5
Describir y clasificar, según diferentes criterios, las mutaciones y sus efectos.	11	3 o menos	4	5
Analizar las aplicaciones de la ingeniería genética y opinar acerca de su impacto en la sociedad, basándose en datos científicos.	12	4 o menos	5	6 o más

■ Por lograr    
 ■ Logrado parcialmente    
 ■ Logrado totalmente

Unidad

# 7

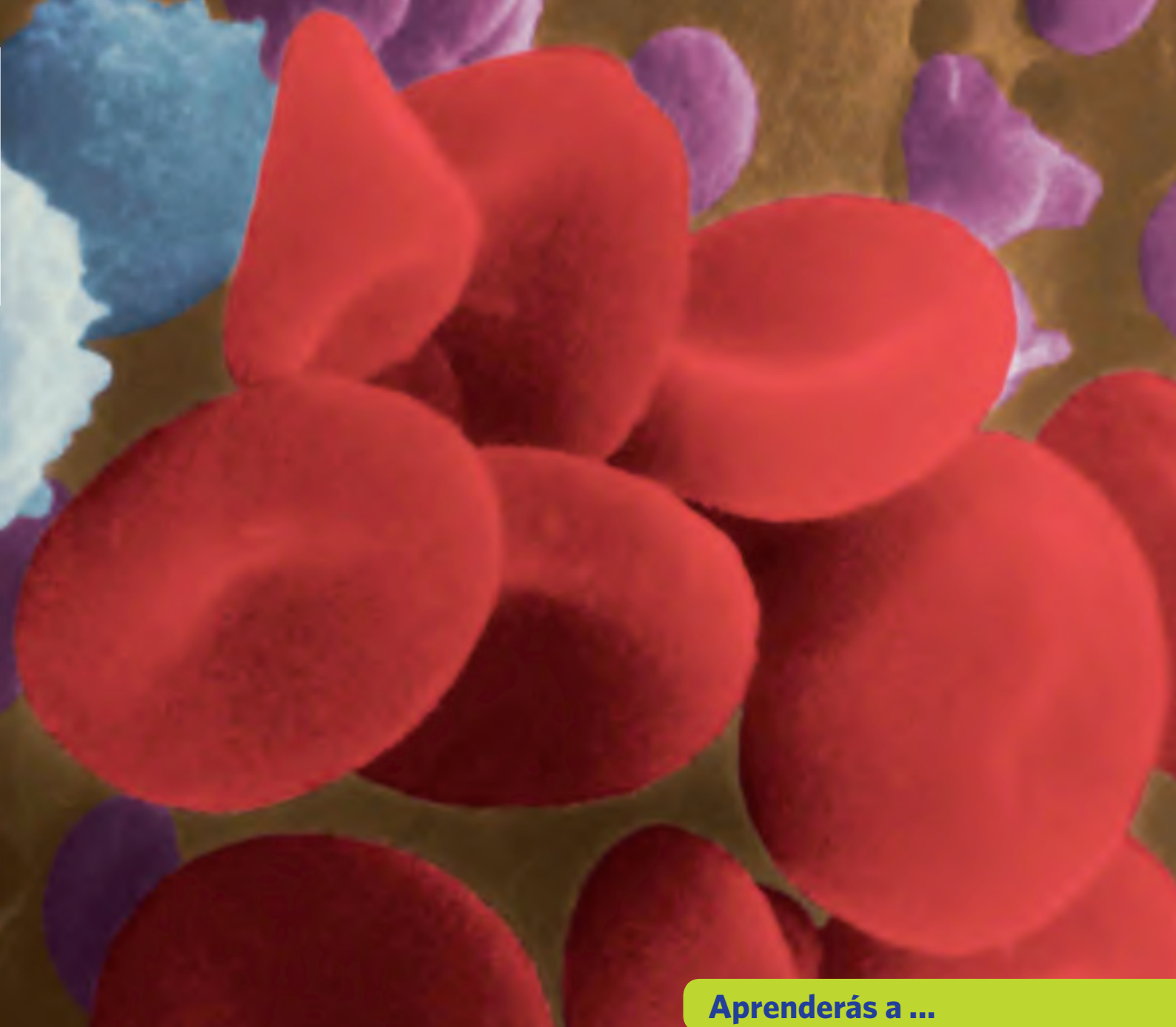
# Inmunidad

En la fotografía se presentan los componentes sanguíneos (glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas). Los glóbulos blancos nos defienden de elementos extraños que puedan ingresar, como las bacterias, o formarse dentro del propio cuerpo, como las células cancerosas. En esta unidad aprenderás cómo los diversos tipos de glóbulos blancos y de moléculas defienden nuestro organismo del ataque de microorganismos.

## ¿Qué piensas?

Reúnete con tres compañeros y discute las siguientes preguntas. Luego, un representante del grupo comunicará sus conclusiones ante el curso.

- ¿Cuáles son las diferencias que observas entre glóbulos rojos y glóbulos blancos?
- ¿Cómo crees que los glóbulos blancos pueden identificar que las bacterias son extrañas o no propias y que los glóbulos rojos pertenecen al cuerpo, es decir, son propios?
- ¿Qué factores piensas que influyen en la cantidad de glóbulos blancos presentes en la sangre?
- ¿Qué podría ocurrir si la cantidad de glóbulos blancos fuera inferior a lo normal?



## Aprenderás a ...

### Lecciones

- |   |  |
|---|--|
| <b>1</b> ¿Cuáles son los principales microorganismos patógenos?           | Caracterizar las principales categorías de agentes patógenos.  |
| <b>2</b> ¿Cuáles son nuestras defensas?                                   | Describir la interacción entre los agentes patógenos y los sistemas defensivos del organismo.  |
| <b>3</b> ¿Qué hacen las células y moléculas del sistema inmune?           | Explicar en qué radica nuestra identidad molecular y las funciones de las principales células y moléculas que participan en la respuesta inmune. |
| <b>4</b> ¿Cómo se desarrolla la respuesta inmune adaptativa?              | Explicar la correspondencia entre las cualidades de la respuesta adaptativa y las características del agente patógeno.                           |
| <b>5</b> ¿Cómo podemos prevenir y tratar las enfermedades infecciosas?    | Describir la utilización de terapias preventivas y curativas para la erradicación y tratamiento de las enfermedades infecciosas.                 |
| <b>6</b> ¿Qué sucede cuando se altera el sistema inmune?                  | Explicar el funcionamiento de la respuesta inmune en las alergias, la autoinmunidad y el sida.   |
| <b>7</b> ¿Cómo es posible evitar el rechazo de los tejidos trasplantados? | Explicar el funcionamiento de los mecanismos defensivos en los trasplantes de órganos y de sangre.   |

# ¿Cuáles son los principales microorganismos patógenos?

► Debes recordar: **Células eucariontes y procariontes - Virus**

## Trabaja con lo que sabes

1. Observa los esquemas de una célula procarionte y una eucarionte e identifica las diferencias entre ellas.
2. ¿Cómo influyen las cualidades de cada tipo celular en su reproducción y en su capacidad de diferenciarse?
3. ¿Por qué los virus no son considerados seres vivos?, ¿cómo se reproducen?



▲ Célula procarionte.



▲ Célula eucarionte.

## Propósito de la lección

En todo momento interactuamos con microorganismos, en una relación a veces amistosa y otras veces dañina e incluso fatal. En esta lección identificarás las principales categorías de microorganismos, describirás su estructura básica y conocerás los mecanismos que les otorgan la capacidad de producir enfermedades.

### Apunte

**Patogenicidad:** capacidad de un agente infeccioso de producir enfermedad en un hospedero susceptible. Depende de la capacidad de adherencia, multiplicación y mecanismos de escape de los microbios a las respuestas del hospedero.

## 1. Categorías de microorganismos

De acuerdo al tipo de células que los conforma, los microorganismos pueden ser procariontes o eucariontes. Las bacterias son procariontes, y los hongos y protozoos son eucariontes. Los virus son considerados como "organismos al límite de la vida" ya que no poseen estructura celular, sino que son parásitos intracelulares obligados. Llamaremos microorganismo **patógeno** todo aquel que sea capaz de provocar enfermedades infecciosas en el hospedero. Los **microorganismos nosocomiales** son una categoría de patógenos responsables de las infecciones intrahospitalarias. Sin embargo, la mayoría de los microorganismos son benéficos. Por ejemplo, lo son los microorganismos saprófitos de la flora intestinal o los descomponedores de un ecosistema.

## 1.1 Bacterias

Las bacterias son procariontes unicelulares con un tamaño que fluctúa entre 0,3 y 5  $\mu\text{m}$ . La mayoría presenta una **pared celular** compuesta de peptidoglucanos. Algunas utilizan flagelos para moverse, y en un ambiente favorable se reproducen muy rápidamente por un mecanismo asexual denominado **fisión binaria**. Su capacidad de adaptación y patogenicidad está ligada a procesos que aumentan su variabilidad genética, como las mutaciones y recombinaciones genéticas. Estas últimas son procesos por los cuales las bacterias incorporan nuevo ADN proveniente de otras bacterias y bacteriófagos. Estos cambios genéticos son también responsables de la **resistencia a los antibióticos** que desarrollan algunas bacterias, prolongándose la infección a pesar del tratamiento

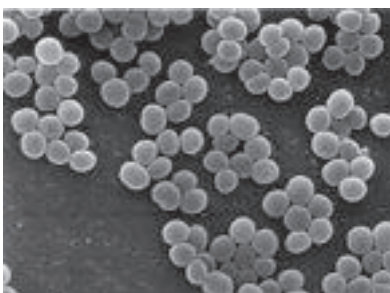
### Apunte

Peptidoglucano o mureína: polímero de polisacáridos con péptidos, que forma una red llamada sáculo, que rodea a la bacteria. En el sáculo se insertan el ácido lipoteicoico y teicoico, los que se relacionan con la respuesta inmune innata y con el sistema del complemento.

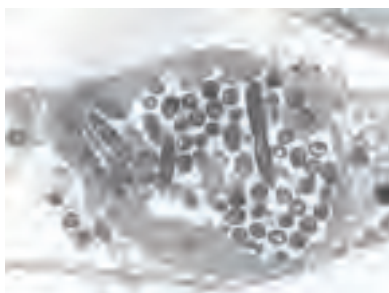
## 1.2 Criterios de clasificación

Las bacterias se clasifican según distintos criterios; algunos de los cuales son:

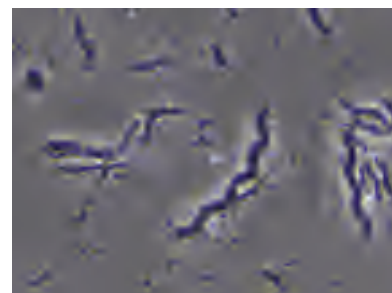
a. **Según su forma.** Se reconocen tres tipos fundamentales:



**Cocos:** esferas que son más resistentes a la desecación. En la foto, *Staphylococcus aureus*, un peligroso patógeno nosocomial. Crédito imagen: Wikimedia Commons



**Bacilos:** formas alargadas que tienen una mayor área de superficie para absorber nutrientes. En la foto, *Legionella pneumophila* infectando a una célula pulmonar. Crédito imagen: Wikimedia Commons



**Espirilos:** hélices que pueden moverse con mayor facilidad en los fluidos. En la foto, *Spirillum minor*, transmitido por la mordedura de ratas. Crédito imagen: Wikimedia Commons

b. **Según el lugar de residencia de las bacterias en el hospedero.**

El tipo de respuesta inmunitaria empleada para eliminar a las bacterias dependerá de dónde estas se alojen.

- **Bacterias intracelulares facultativas:** se multiplican en el medio extracelular y escapan a los mecanismos de defensa escondiéndose dentro de las células.
- **Bacterias intracelulares obligadas:** solo pueden vivir y multiplicarse dentro de las células del hospedero.
- **Bacterias extracelulares:** solo viven y se multiplican en el espacio intercelular del tejido conjuntivo, vías respiratorias, intestinal y sangre.

**Conexión con**

**Medicina**

En una época en que los microorganismos aún no habían sido descritos, los médicos medievales evitaban el contagio de la peste negra utilizando un traje que, sin saberlo, los protegía. En una máscara con forma de pico introducían algodones con perfume para evitar el olor de la muerte, y así prevenían el contagio directo de *Yersinia pestis*, un bacilo Gram negativo, que mató a cerca de 200 millones de personas en Europa y Asia. El traje largo y cerrado impedía el ingreso de pulgas contaminadas con la bacteria.



▲ Médico durante la peste.  
Crédito imagen: Wikimedia Commons

**c. Según la reacción de su pared celular con la tinción de Gram**

La pared celular presenta estructuras que interactúan con los mecanismos defensivos del organismo cuando logran ingresar en él. Las características de la pared se relacionan con la capacidad de producir enfermedades y con la respuesta del hospedero frente a ellas. Algunas bacterias tienen, además, una **cápsula** que las rodea y que las protege de diversos mecanismos bactericidas de las células fagocíticas.

Las diferencias en la organización de la pared celular de distintos tipos bacterianos queda en evidencia al emplear la tinción de Gram. La pared celular de las bacterias Gram positivas se tiñe de violeta con la tinción, mientras que las bacterias Gram negativas no se tiñen y se ven rosadas.

**Bacterias Gram positivas:** tienen sobre su membrana plasmática una gruesa capa de peptidoglicano, que aloja **ácido teicoico** y **lipoteicoico** y **polisacáridos capsulares**. Estos componentes son reconocidos por el sistema inmune adaptativo.



▲ Algunas cepas de *Bacillus anthracis* son responsables del carbunco o anthrax, enfermedad que suele ser mortal si afecta a los pulmones.  
Crédito imagen: Wikimedia Commons

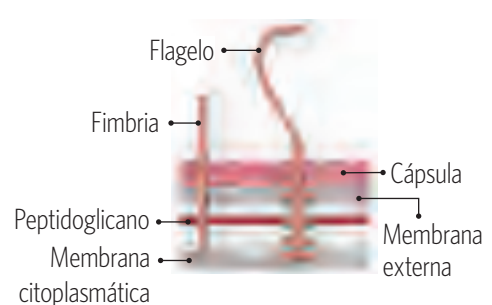
**Bacterias Gram negativas:** presentan sobre su membrana plasmática una delgada pared celular de peptidoglicano y sobre ella una membrana plasmática externa. Esta membrana presenta canales denominados **porinas** y **lipopolisacáridos (LPS)**; ambos contienen regiones que son reconocidas por el sistema inmune adaptativo.



▲ *Bacteroides fragilis* es un patógeno oportunista de los humanos. Causa infecciones en las cavidades peritoneal y gastrointestinal, y apendicitis.  
Crédito imagen: Wikimedia Commons



▲ Pared de bacteria Gram positiva.



▲ Pared de bacteria Gram negativa.



## 1.2 Protozoos

Son unicelulares eucariontes que se movilizan con seudópodos, flagelos o cilios. Algunas de las múltiples especies que existen infectan al ser humano en calidad de comensales, o bien, como parásitos. Estos últimos pueden provocar enfermedad, entre ellos están las amebas que invaden el intestino, causando amebiasis; flagelados, como el *Trypanosoma cruzi*, causante de la enfermedad de Chagas; y los esporozoos, como el plasmodio de la malaria.

## 1.3 Hongos

Son organismos eucariontes que se reproducen de forma sexual y asexual mediante esporas. Existen cerca de 70 000 especies de hongos, de las cuales cerca de 300 están relacionadas con infecciones en el ser humano. Las enfermedades por hongos en individuos sanos no son peligrosas; un ejemplo de ello es el llamado pie de atleta, que afecta a muchos jóvenes que usan zapatillas y mantienen los pies en ese ambiente húmedo. Algunos hongos pueden poner en peligro la vida, si el sistema inmune del hospedero se encuentra deprimido, si presenta una flora bacteriana alterada, si está sometido a quimioterapia o padece inmunodeficiencias congénitas o adquiridas (sida). Cuando producen enfermedad en estos casos, se denominan patógenos oportunistas. También pueden ser responsables de alergias que afectan al aparato respiratorio.

### Para saber +

- El mal de Chagas es una enfermedad endémica de América que puede producir la muerte debido a los daños que causa en el corazón, hígado e intestinos. El protozoo *T. cruzi* se transmite al hombre por la picadura de la vinchuca, un insecto hematófago. La malaria se transmite por la picadura de un mosquito y es la enfermedad parasitaria más frecuente en el mundo con entre 200 millones y 500 millones de casos anuales y más de 1 millón de muertes, principalmente de niños.



◀ *Trypanosoma cruzi*  
Crédito imagen: Wikimedia Commons



- ▲ Muchas especies de mosquitos transportan protozoos parásitos hasta el ser humano, como el *Aedes sp.*, que transmite al protozoo causante del dengue.

Crédito imagen: Wikimedia Commons



- ▲ El pie de atleta o tiña podal provoca picazón, ardor y enrojecimiento de la piel.

Crédito imagen: Wikimedia Commons

### Apunte

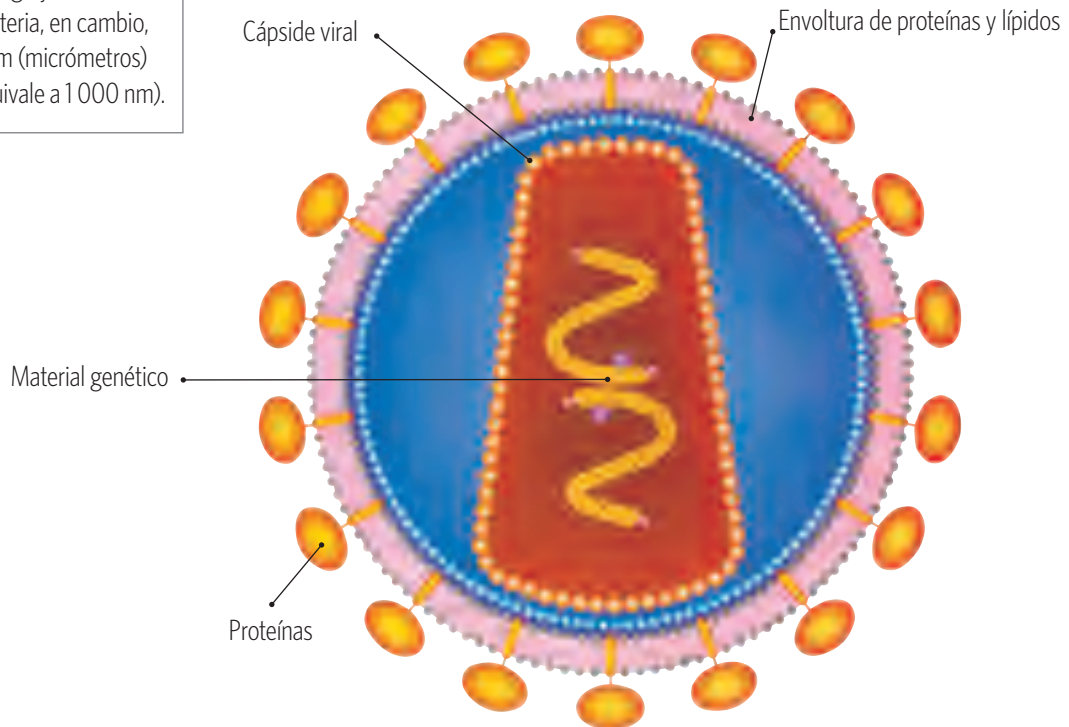
Microorganismos oportunistas: saprófitos que pueden producir enfermedad cuando el hospedador tiene problemas de deficiencias en sus mecanismos inmunitarios.

## Para saber +

- Los virus son mucho más pequeños que las células, sean estas procariontes o eucariontes. El virus de la viruela (poxvirus), por ejemplo, que está entre los más grandes, puede llegar a medir 400 nm (nanómetros) de largo y 200 nm de ancho. Una bacteria, en cambio, mide entre 1 a 2  $\mu\text{m}$  (micrómetros) de largo. (1  $\mu\text{m}$  equivale a 1 000 nm).

## 1.4 Virus

Son parásitos obligados, pues necesitan usar la maquinaria celular para sintetizar los ácidos nucleicos y las proteínas que los conforman y para lograr reproducirse. Pueden afectar a bacterias, plantas y animales para lograr su objetivo y por esto son responsables de una gran cantidad de enfermedades. Los virus están formados por una o dos hebras de ADN o de ARN, rodeados por una cápside y por un manto. Contienen las enzimas necesarias para copiar su material genético y para ensamblar las nuevas partículas virales.



▲ Estructura general de un virus.



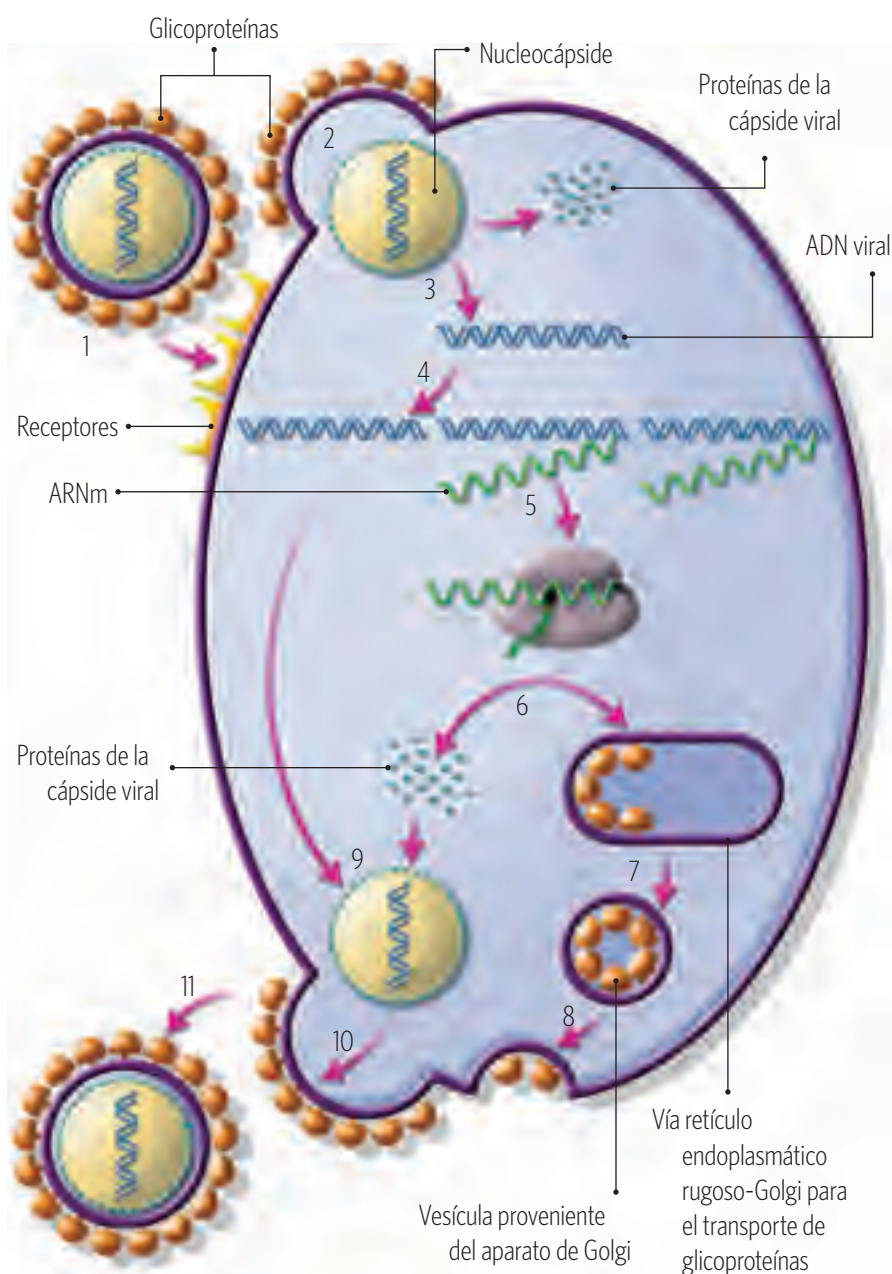
▲ Partículas de VIH (en verde) sobre la superficie celular.

El **ciclo replicativo** de los virus comprende el ingreso de su material genético y enzimas a la célula, a través de su unión a receptores celulares. Si es un virus ADN, el ácido nucleico ingresa directamente al núcleo; si es un virus ARN, se puede copiar en una hebra de ADN mediante su enzima, la **transcriptasa reversa**. Ya instalado en el núcleo, el ácido nucleico es transcrito por enzimas del hospedero, traducido en los ribosomas y ensamblado en el citoplasma de la célula que lo alberga. De esta manera se obtienen millones de copias del virus que pueden lisis la célula para salir a infectar otras células cercanas. Este mecanismo corresponde al **ciclo lítico**, otros virus ARN se replican en el citoplasma sin ingresar su genoma al ADN. En otras ocasiones, los virus pueden permanecer latentes en ella por largos períodos de tiempo. En animales, y tal vez en plantas, esta situación puede conducir a la transformación maligna celular originando un cáncer.

**a. Ciclo de los virus que tienen ADN**

No todos los ciclos de los virus son iguales, las variaciones que presentan dependen del tipo de células infectadas (procariontes o eucariontes) y del material genético que contiene el virus (ADN o ARN). A continuación analizaremos, de manera general, la replicación de un virus que tiene ADN.

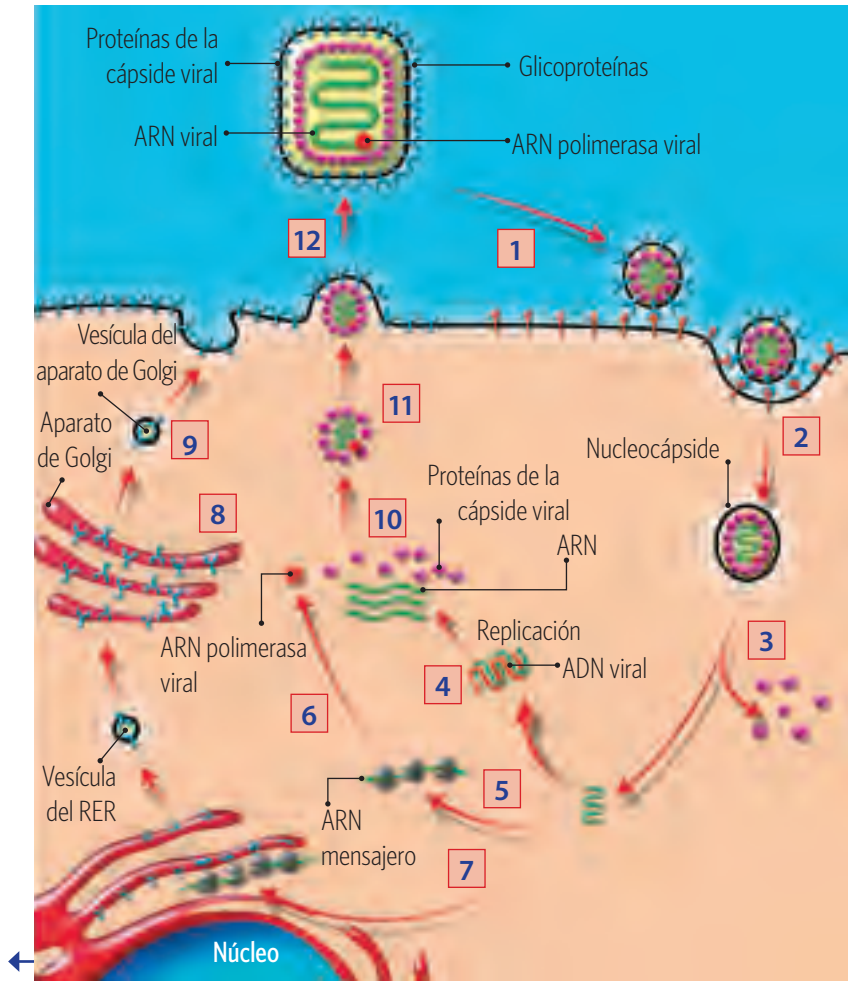
1. Se produce la unión específica de proteínas ubicadas en la superficie del virus (glicoproteínas) con otras, llamadas receptores, que están en la superficie de la célula infectada.
2. Se fusionan las membranas, y la nucleocápside del virus ingresa a la célula.
3. Se desensambla la nucleocápside. El ADN del virus queda en el citoplasma de la célula receptora y las proteínas de la cápside viral son degradadas.
4. El ADN viral se replica.
5. El genoma viral es transcrito, lo que determina la síntesis de ARN mensajeros (ARNm).
6. El ARN es traducido, lo que determina la síntesis de proteínas de la cápside viral y de glicoproteínas.
7. Las glicoproteínas son transportadas en vesículas hacia la membrana de la célula receptora.
8. Se fusionan las membranas de la vesícula que contiene las glicoproteínas y la célula receptora.
9. Se ensamblan el ADN con las proteínas de la cápside viral.
10. La nucleocápside se ensambla con la membrana de la célula infectada (que posee glicoproteínas).
11. Se originan nuevos virus que infectarán otras células.



▲ Representación del ciclo de un virus que posee ADN.

**b. Ciclo de los virus que tienen ARN**

No todos los ciclos de vida de los virus que tienen ARN son iguales. Hay virus ARN, como el del sida, que exhiben un ciclo de vida algo diferente. En ellos existe la enzima transcriptasa reversa, que lleva a cabo la síntesis de ADN a partir de ARN. Cuando el ARN se incorpora en el citoplasma, actúa como molde para la síntesis de ADN, el que produce nuevas copias de ARN viral. Algunas copias del ARN viral se traducen generando proteínas estructurales y nuevas copias de la transcriptasa reversa, que se ensamblan en nuevas partículas virales.



▲ Representación del ciclo de un virus que posee ARN.

1. Se unen las glicoproteínas del virus y los receptores de la célula.
2. Se fusionan las membranas y la nucleocápside del virus ingresa a la célula.
3. Ocorre el desensamble de la nucleocápside. El material genético del virus queda en el citoplasma y las proteínas de la cápside viral son degradadas.
4. La transcriptasa reversa construye ADN viral a partir del ARN viral. Este ADN luego es replicado.
5. Transcripción del genoma viral, sintetizándose ARN mensajeros.
6. El ARN se traduce en los ribosomas de la célula, generando la enzima ARN polimerasa viral y proteínas de la nucleocápside.
7. La traducción del ARN también produce glicoproteínas.
8. Las glicoproteínas son transportadas en vesículas hacia la membrana de la célula infectada.
9. Se fusionan las membranas de las vesículas que llevan las glicoproteínas y la membrana celular.
10. Se ensamblan el ARN con las proteínas de la cápside viral, formando la nucleocápside.
11. La nucleocápside se une con la membrana de la célula infectada que contiene glicoproteínas.
12. Se originan nuevos virus que infectarán otras células.

## 1.5 Priones

Los priones son proteínas que normalmente están en algunos tejidos, pero cuya estructura está alterada y se han vuelto infecciosas, resistentes a la esterilización y a las proteasas. Se acumulan en las células, especialmente en las neuronas, destruyéndolas. Son responsables de encefalopatías transmisibles que conducen a la demencia y la muerte, entre ellas el mal de Creutzfeldt Jakob o encefalopatía espongiforme, hasta ahora sin tratamiento.



▲ Modelo computacional de un prión.  
Crédito imagen: Wikimedia Commons

### Aquí CIENCIA

#### Cambio climático y enfermedad

El cambio climático ha provocado que mejoren las condiciones ambientales para la proliferación de microorganismos y para su transmisión. Por ejemplo, se ha detectado un aumento en la proporción de personas que enferman de malaria al extenderse el área geográfica ocupada por el mosquito que la transmite, propio de regiones tropicales con abundantes precipitaciones y altas temperaturas. En el norte de nuestro país hubo malaria hasta 1945, año en que fue erradicada gracias a campañas de eliminación del mosquito dirigidas por el profesor y médico Juan Noé. Los pocos casos de malaria que se han reportado desde entonces en Chile corresponden a personas que habían visitado países tropicales.

### Actividad 1

Identificar variables relacionadas con...

#### La erradicación de la malaria

1. ¿Cuáles son las condiciones necesarias para que la población de una región pueda sufrir de malaria?
2. ¿Cuál de dichas condiciones piensas que manipuló el Dr. Noé en su campaña de erradicación?
3. ¿Por qué en otros países no ha sido posible erradicar la malaria?

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. Diseña una tabla en la que compares la estructura y reproducción de los distintos tipos de microorganismos patógenos estudiados en la lección.
2. Diferencia entre los siguientes pares de términos: bacterias Gram positivas y bacterias Gram negativas; bacterias intracelulares obligadas y bacterias extracelulares.
3. ¿Cuáles son las principales diferencias entre el ciclo reproductivo de un virus de ADN y un retrovirus?

## ¿Cuáles son nuestras defensas?

⇒ **Debes recordar:** Tejidos y células de nuestro organismo

### Trabaja con lo que sabes

1. Los microorganismos pueden ingresar a nuestro organismo por diversas vías. Observa las imágenes y escribe en tu cuaderno los principales órganos, tejidos y células que allí radican y sus principales funciones.

Vía cutánea



Vía aérea



Vía digestiva

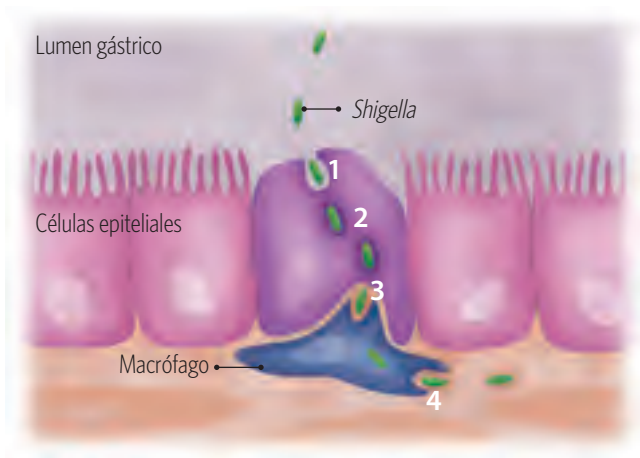


### Propósito de la lección

Muchos microorganismos y sus hospederos han coevolucionado desarrollando mecanismos que les permiten convivir. Sin embargo, la acción de los microorganismos patógenos, junto con la reacción del hospedero frente a ellos, es la causa de las enfermedades infecciosas. En esta lección conocerás cuáles son los mecanismos que ambos protagonistas ponen en juego, uno para vivir y multiplicarse y el otro para mantener su integridad orgánica eliminando aquello que le produce daño.

### 1. ¿Cómo ingresan los microorganismos?

Los patógenos bacterianos desarrollan la infección en cuatro etapas, la primera se denomina **adherencia** y en ella se unen específicamente a receptores presentes en los epitelios de piel y mucosas; luego, en la etapa de **penetración**, ingresan en las células epiteliales o mucosas y se multiplican en ellas; en tercer lugar ocurre la **invasión**, en la que atraviesan las células y son transportados a otros órganos y, finalmente la etapa de **diseminación**, en la que se dispersan viajando en el interior de macrófagos o ingresando a vasos sanguíneos o linfáticos.



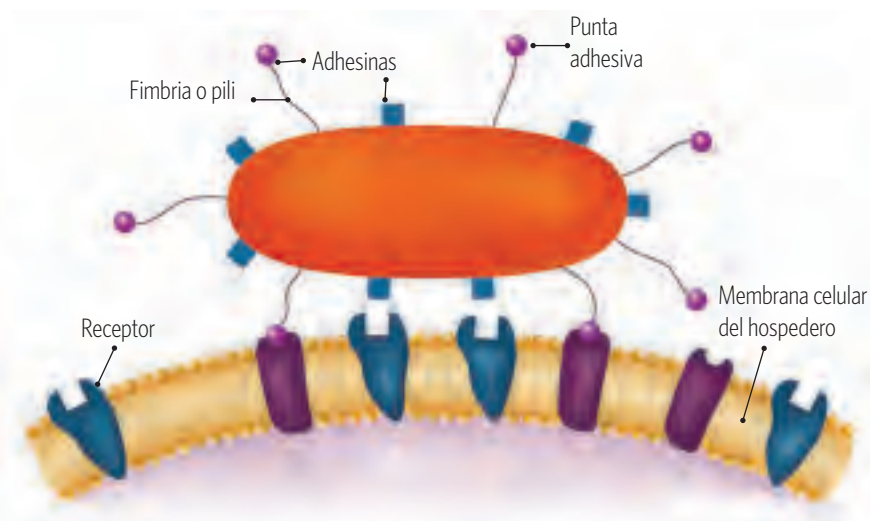
◀ Etapas de la infección bacteriana:

1. Adherencia, 2. Penetración, 3. Invasión y 4. Diseminación.

## 1.1 Las bacterias se defienden y atacan

En su proceso evolutivo, las bacterias patógenas han adquirido sofisticadas adaptaciones que les permiten superar las defensas del hospedero. A continuación se describen algunas de ellas.

- Se adhieren a receptores específicos de la membrana de las células del hospedero, mediante proyecciones de su membrana plasmática, llamadas fimbrias o pilis de adhesión, y proteínas denominadas adhesinas.
- Evitan ser fagocitadas o escapan de la vacuola fagocítica una vez dentro del fagocito.
- Impiden que se active el sistema complemento, evitando su opsonización y su destrucción.
- Producen toxinas que afectan a los fagocitos, como la estreptolisina.



## 2. El organismo se defiende

El ser humano tiene tres líneas de defensa contra los ataques microbianos. Las dos primeras corresponden a la **inmunidad innata** y la tercera, a la **inmunidad adaptativa**.

- **Primera línea:** barreras externas e inespecíficas que impiden a los microorganismos entrar en el cuerpo, como la piel y las mucosas.
- **Segunda línea:** defensas internas no específicas que combaten a los invasores, como la fagocitosis, inflamación y fiebre.
- **Tercera línea:** el sistema inmune dirige su ataque específico, una respuesta inmunitaria, contra lo que identifica como extraño.

▲ Mutaciones en los genes que producen las adhesinas que vuelven a las bacterias capaces de unirse a otros tipos celulares.

**Para saber +**

- Las proteínas están codificadas en la línea germinal cuando los genes alelos están presentes en todas las células, ya que han sido heredados de la madre y del padre. En cambio, una proteína está codificada en la línea somática cuando el gen de cada una de ellas está presente en una sola célula, ya que ha sido construido por esta a partir de la combinación al azar de segmentos génicos presentes en el genoma.

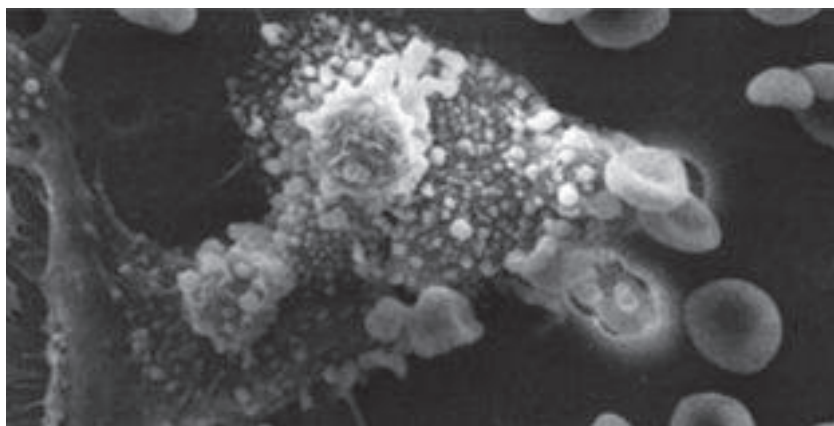
**Apunte**

Antígeno: cualquier molécula capaz de originar una respuesta inmune adaptativa y unirse en forma específica con moléculas de dicha respuesta.

• **Comparación entre inmunidad innata y adaptativa**

La inmunidad innata y la inmunidad adaptativa presentan diferencias en cuanto a su grado de especificidad y al origen de sus receptores; sin embargo, están estrechamente ligadas en su acción.

Inmunidad innata	Inmunidad adaptativa
De acción inmediata y siempre presente.	Demora al menos cinco días y genera una respuesta a cada antígeno que la provoca.
Inespecífica, en el sentido de que no distingue entre un patógeno y otro.	Altamente específica. Puede discriminar entre diversos patógenos y entre sus diferentes <u>antígenos</u> .
Presencia de <b>receptores de reconocimiento de patrones moleculares de patógenos (Prr)</b> codificados en la <b>línea germinal</b> . Esto los hace iguales en todas las células en que se expresan; reconocen moléculas comunes a muchos patógenos.	Presencia de <b>receptores TCR y BCR</b> codificados en la <b>línea somática</b> . Esto los hace diferentes en cada célula; pueden reconocer y discriminar alrededor de $10^{12}$ conformaciones moleculares distintas.
No posee ni necesita memoria por exposición previa.	Presenta memoria y ofrece respuestas cada vez más rápidas y eficaces.
Está a cargo de células y moléculas de distribución general en el organismo.	Está a cargo de un sistema particular de células: el sistema inmune.
Es responsable de la primera y segunda línea de defensa frente a patógenos.	Es responsable de la tercera línea de defensa frente a patógenos.

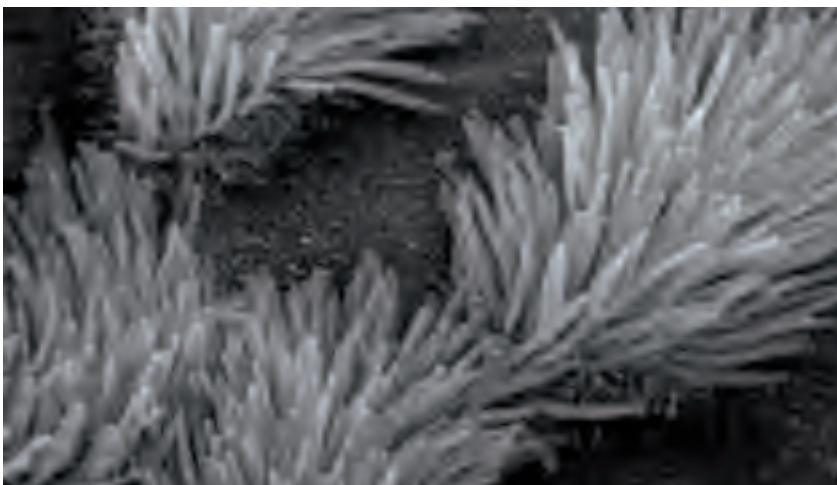


▲ Inmunidad innata. Macrófagos atacando a una célula cancerosa. Crédito imagen: Wikimedia Commons



## 2.1 Inmunidad innata

- a. **Primera línea de defensa:** forma una barrera mecánica que, junto con las sustancias químicas que la acompañan, impide el ingreso de patógenos. Por ejemplo:
- **Piel:** cuenta con una capa difícil de atravesar por los patógenos y con moléculas bactericidas tales como defensinas y lisozimas. También influyen el pH ácido del sudor y el sebo.
  - **Mucosas:** el mucus de la mucosa respiratoria retiene a los patógenos; el movimiento de sus cilios los arrastra y la tos y el estornudo los expulsan. En la mucosa digestiva y vaginal viven otros microorganismos comensales que compiten con los microbios patógenos por nutrientes. Se adhieren a receptores de membrana ocupando su sitio de ingreso y secretan productos metabólicos que inhiben su crecimiento.



▲ Cilios en la mucosa de las vías respiratorias. Crédito imagen: Wikimedia Commons

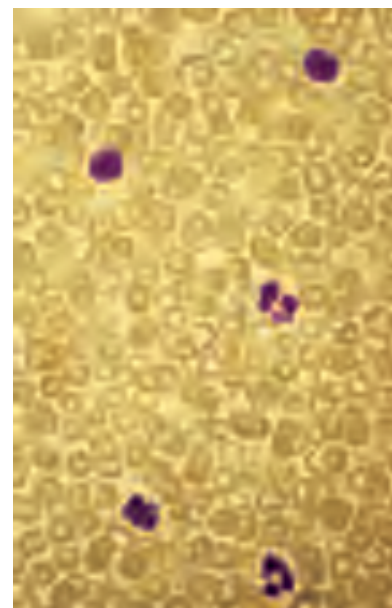
- b. **Segunda línea de defensa:** está a cargo de células fagocíticas y de proteínas plasmáticas que participan de la **respuesta inflamatoria** una vez que los microorganismos patógenos han penetrado e invadido un tejido.
- **Células fagocíticas:** entre ellas encontramos los macrófagos, y los **polimorfonucleares neutrófilos (PMNn)**. Los **macrófagos** son leucocitos (glóbulos blancos) derivados de los **monocitos**. Cuando los monocitos abandonan la sangre y pasan a ciertos tejidos, completan su diferenciación y originan a los macrófagos que fagocitan bacterias y restos de células muertas. Estos últimos están presentes en diversos tejidos. También participan en la inmunidad adaptativa, como veremos más adelante. Los **PMNn** son un tipo de leucocito con gran capacidad bactericida. Las **células citotóxicas NK** corresponden a una variante de linfocitos que pueden matar células infectadas por virus y células tumorales, entre otras funciones.

### Para saber +

- La lisozima es una enzima presente en las lágrimas, mucus, saliva y otros fluidos orgánicos, que impide el desarrollo de bacterias. La defensina es un péptido que se encuentra en el plasma, mucus y en la superficie de mucosas y piel, perfora la membrana plasmática de diversos microorganismos y activa células de la respuesta inflamatoria.



- ▲ Los estornudos y la tos ayudan a expulsar los microorganismos del sistema respiratorio.



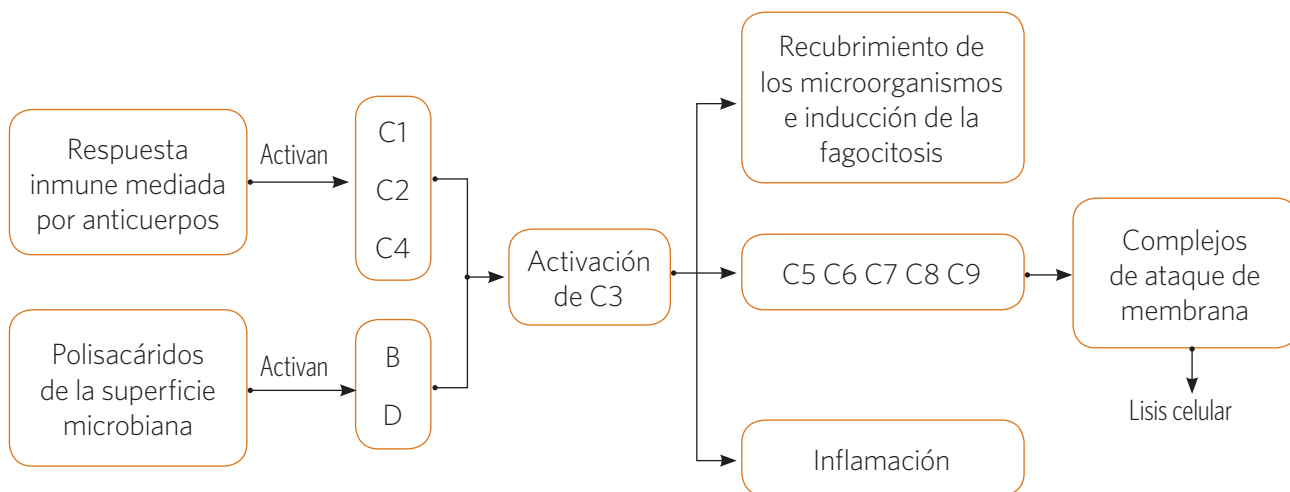
- ▲ En esta microfotografía de la sangre se observan muchos eritrocitos, además de dos monocitos y tres polimorfonucleares, que son dos tipos de glóbulos blancos.

**Apunte**

Citoquinas: polipéptidos sintetizados y secretados por células sanguíneas y del tejido conjuntivo ante estímulos provenientes de patógenos o de tejidos dañados.

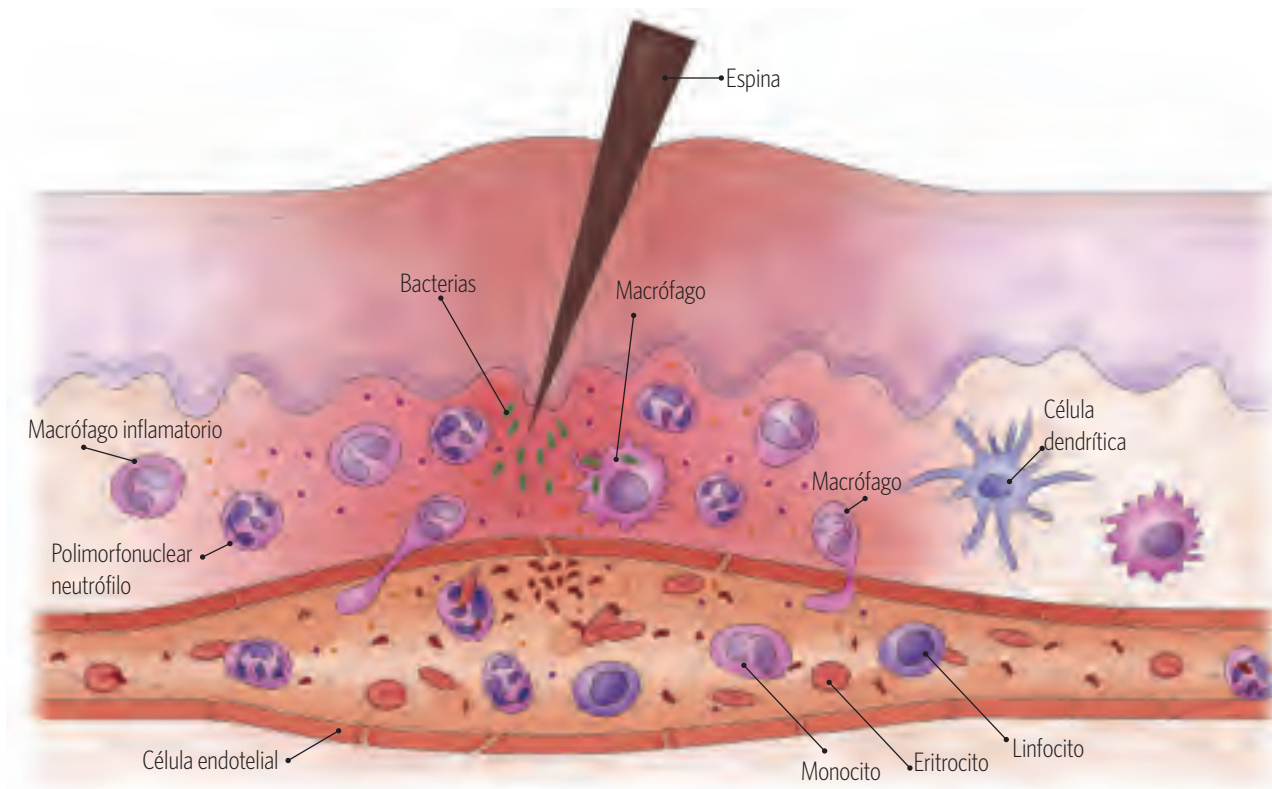
Son mensajes químicos que instruyen a las células que participan en las respuestas inmunes. (Vuelve a ver la página 18).

- Proteínas:** las principales son las citoquinas, que son pequeños péptidos secretados por diversas células que participan en la inducción y regulación de la respuesta inflamatoria. Otras proteínas que intervienen en la defensa innata del organismo, están representadas por los **interferones** y las **proteínas del sistema del complemento**. Los interferones son liberados por células infectadas por virus y macrófagos, entre otras células. Su acción estimula a las células vecinas a secretar péptidos que interfieren en la replicación viral. También estimulan la actividad de células fagocíticas, aumentando su potencial destructivo contra los microbios. El **sistema del complemento** está formado por una veintena de proteínas plasmáticas y de unión a membrana, que normalmente se encuentran inactivas. Cuando estas proteínas se activan, complementan (de ahí su nombre) y potencian ciertas reacciones inmunes e inflamatorias, que contribuyen a la defensa del organismo. La activación del complemento puede ocurrir por medio de una respuesta inmunitaria o, de forma más directa, por microorganismos invasores. Cuando ocurre la activación del complemento, se forman grandes complejos proteicos, denominados **complejos de ataque de membrana**, que producen la muerte osmótica de la célula al alterar su permeabilidad.



▲ Representación de la activación del complemento.

- **La respuesta inflamatoria:** cuando la piel o la mucosa se lesionan, los patógenos pueden ingresar al organismo. No obstante, la infección puede ser detenida por una segunda línea defensiva. Esta se activa cuando el tejido conjuntivo genera una respuesta inflamatoria que conduce a la fagocitosis. Además, se puede activar el sistema del complemento, cuya activación secuencial potencia la inflamación y produce lisis de los patógenos.



Habrás notado que el área afectada se hincha, enrojece, aumenta su temperatura y, por supuesto, duele. Todo lo anterior forma parte de la inflamación, un proceso básico en la inmunidad innata que interviene también en la inmunidad adaptativa. Consiste en la formación de un exudado inflamatorio (responsable de la hinchazón), compuesto de células fagocíticas y plasma, debido al aumento de la permeabilidad y dilatación de los capilares (esto causa el enrojecimiento y el calor que sientes); esto permite una mayor afluencia de sangre y, por lo tanto, un aumento de leucocitos en el área. Los fagocitos salen por entremedio de las células de los capilares (diapédesis) y se dirigen, siguiendo un rastro químico (quimiotaxis), hacia el lugar donde están los patógenos, los reconocen y los fagocitan. El proceso es regulado por polimorfonucleares eosinófilos y basófilos, células cebadas y por citoquinas, las que capacitan a las células dendríticas y macrófagos para que inicien la respuesta adaptativa.

- ▲ Representación de la respuesta inflamatoria ocasionada por el pinchazo de una espina.

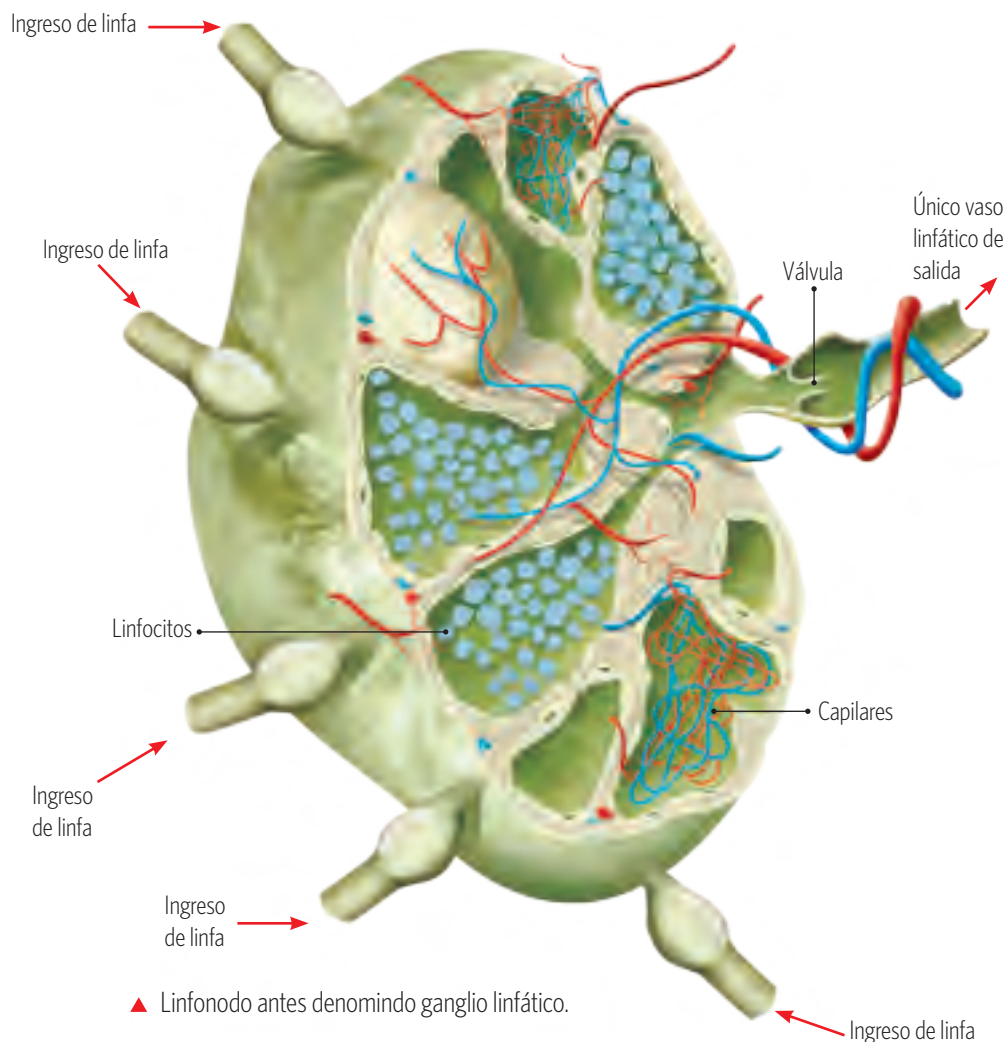
## Para saber +

- Los linfonodos actúan como estaciones de filtrado; sus abundantes linfocitos captan antígenos, proliferan y se diferencian en estos órganos. Los linfonodos pueden crecer como respuesta a una infección, en este caso lo hacen en forma rápida y dolorosa. También pueden crecer debido a algún tipo de cáncer, en cuyo caso el crecimiento es lento e indoloro.

## 2.2 Inmunidad adaptativa

La tercera línea defensiva es responsabilidad del **sistema inmune**, que genera una respuesta altamente específica para cada patógeno y sus antígenos. Sus funciones son: **detectar** y **eliminar** a los agentes patógenos o células alteradas y **prevenir** una nueva infección por parte del mismo agente patógeno, ya que tiene **memoria**.

- Componentes del sistema inmune:** El sistema inmune está compuesto por células capaces de reconocer antígenos en forma específica, denominadas linfocitos T y B, y células accesorias que participan en la inducción, regulación y fase efectora de la respuesta inmune. Todas estas células se organizan en órganos linfoides conectados entre sí, y con los tejidos, a través de vasos linfáticos y sanguíneos. En los **órganos linfoides primarios**, timo y médula ósea, se desarrollan y maduran los linfocitos adquiriendo inmunocompetencia. En los **órganos linfoides secundarios**, tales como linfonodos, bazo y amígdalas, se generan las respuestas inmunes efectoras. Las células del sistema inmune presentan un comportamiento altamente dinámico al recircular constantemente entre los órganos linfoides a través de linfa y sangre, pudiendo captar la presencia de antígenos en todo el organismo.



## Órganos linfoides secundarios

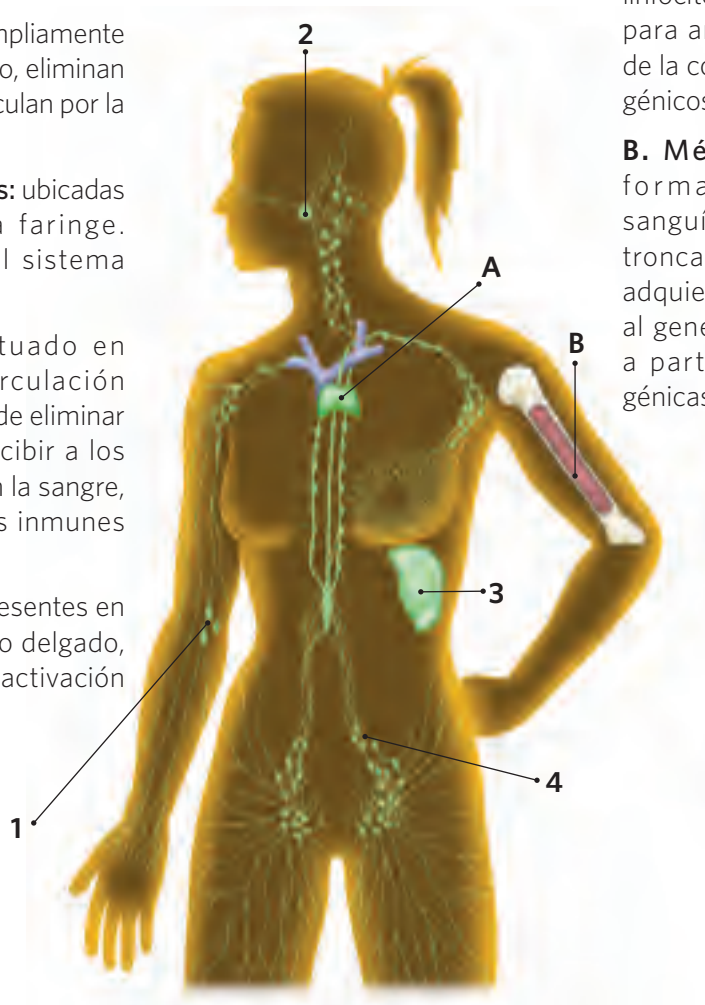
**Tejido linfoide:** se ubica en los lugares donde suelen ingresar los patógenos; por ejemplo, en la entrada del sistema respiratorio y digestivo.

**1. Linfonodos:** están ampliamente distribuidos en el cuerpo, eliminan a los patógenos que circulan por la linfa.

**2. Tonsilas o amígdalas:** ubicadas en la entrada de la faringe. Aportan linfocitos al sistema circulatorio.

**3. Bazo:** órgano situado en el trayecto de la circulación sanguínea, encargado de eliminar eritrocitos viejos y recibir a los antígenos presentes en la sangre, generando respuestas inmunes frente a ellos.

**4. Placas de Peyer:** presentes en la mucosa del intestino delgado, en ellas se produce la activación de los linfocitos.



## Órganos linfoides primarios

**A. Timo:** en él se produce la proliferación y maduración de linfocitos que irán a poblar los órganos periféricos. Allí, cada linfocito genera un TCR (receptor para antígeno) distinto a partir de la combinación de segmentos génicos.

**B. Médula ósea:** en ella se forman todas las células sanguíneas a partir de células troncales. Aquí los linfocitos B adquieren inmunocompetencia al generar sus receptores BCR a partir de recombinaciones génicas.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. Elabora un organizador gráfico con los mecanismos inmunológicos que previenen la infección. Clasifica en él las respuestas inespecíficas y específicas.
2. Explica la importancia de la activación del sistema de complemento y de las proteínas plasmáticas en la respuesta inflamatoria y en la respuesta adaptativa.
3. Analiza la siguiente afirmación y luego contesta la pregunta: "El fin último de toda bacteria patógena no es dañar a su hospedero, y menos aún matarlo, porque su propia población quedaría entonces desprotegida y obligada a buscar otros hospederos. Por el contrario, su mayor éxito es evolucionar para adaptarse mejor a su hospedero y multiplicarse a sus expensas causándole las mínimas molestias posibles".  
¿Es correcto inferir que tanto el desarrollo de las enfermedades infecciosas como la presencia de bacterias comensales en el intestino puede ser explicado por las teorías evolutivas? Fundamenta.

# ¿Qué hacen las células y moléculas del sistema inmune?

► **Debes recordar:** Comunicación celular - Moléculas orgánicas

## Trabaja con lo que sabes

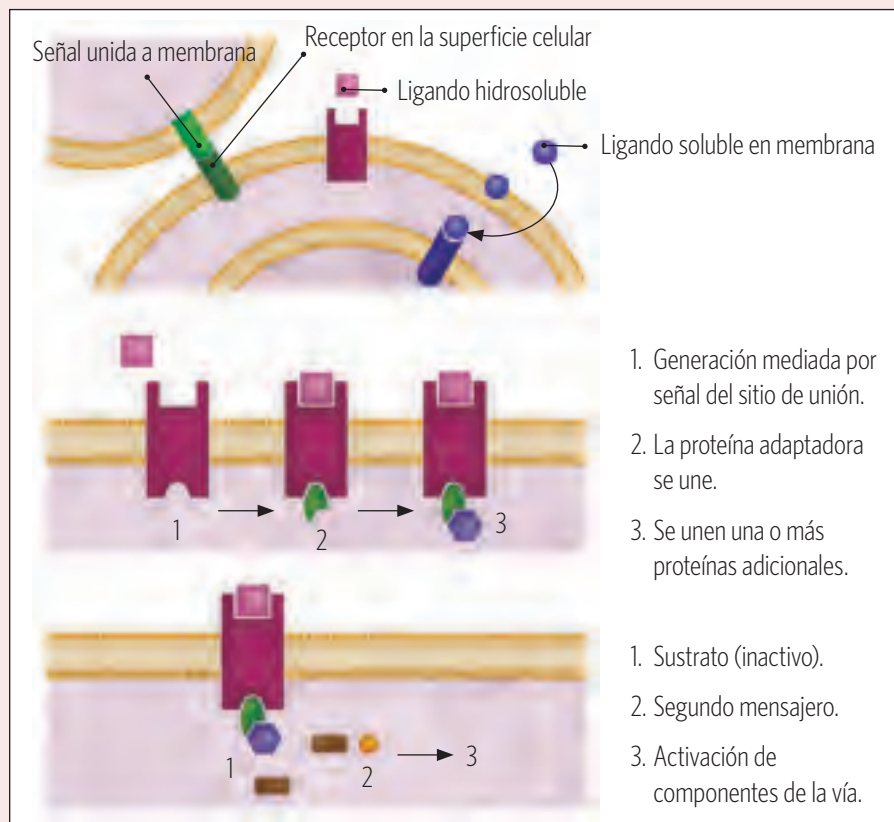
Revisa las funciones de comunicación de la membrana, en la lección nº 1 de la primera unidad, observa la figura y responde las preguntas que se plantean a continuación.

1. ¿Por qué es importante la comunicación celular?
2. ¿Qué requieren las células para comunicarse?
3. ¿Cómo se comunican las células entre sí?
4. ¿Qué determina el hecho de que una célula responda a una señal y no a otra?
5. ¿Qué ocurre cuando una célula recibe un mensaje en un receptor de membrana?

**1. Recepción de la señal:** las vías de señalización se inician cuando una señal se une a su receptor.

**2. Transducción:** la unión del ligando al receptor induce el ensamblaje de componentes de la vía de señalización.

**3 Generación de segundo mensajero:** molécula que lleva la señal al interior de la célula.



## Propósito de la lección

La función de la inmunidad adaptativa depende de la capacidad de identificar lo que es propio y lo que es no propio, para lo cual se requiere de una comunicación eficaz entre las células a cargo de ejecutarla. En esta lección aprenderás en qué radica nuestra identidad molecular y las funciones de las principales células y moléculas que participan en la respuesta inmune.

## 1. La respuesta inmunológica

Los componentes de la inmunidad innata y adaptativa impiden normalmente el ingreso de microorganismos y otros elementos ajenos a nuestro cuerpo y los eliminan si logran ingresar. Los acontecimientos centrales de la respuesta inmunológica son el **reconocimiento**, la **activación** y la **respuesta efectora**; en ellos participan diferentes moléculas y células defensivas.

La respuesta inmune comienza con el reconocimiento del elemento extraño, como, por ejemplo, un organismo patógeno que ha ingresado al organismo. Para un reconocimiento efectivo es fundamental la capacidad del sistema inmune de distinguir entre lo propio y lo ajeno.

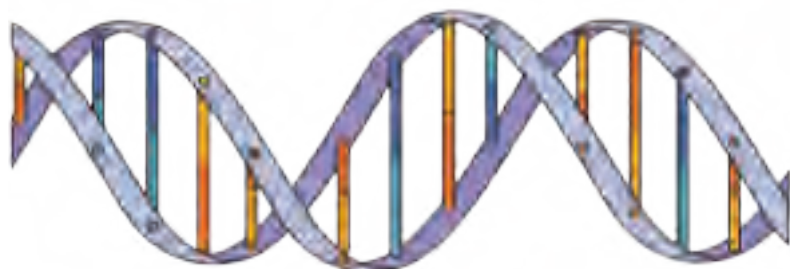
### 1.1 El origen de nuestra individualidad macromolecular

Si consideramos nuestra calidad de seres vivos constituidos por un conjunto de moléculas complejamente organizadas y nos preguntamos: ¿qué nos diferencia de otras personas?, concluiremos que en la base de nuestras diferencias se encuentran las moléculas de ADN y la regulación de la síntesis de proteínas.

Como aprendiste en la lección 5 de la unidad anterior, el análisis del genoma humano mostró que todos los humanos compartimos el 99,8 % de nuestra secuencia de bases en el ADN y que casi todos los genes que contiene codifican proteínas que son estructuralmente iguales en todas las personas.

Sin embargo, existen genes que presentan diferencias en su secuencia en más del 1 % de los individuos de la población. A estos genes se les llama genes polimórficos. Los genes que presentan el mayor grado de polimorfismo corresponden a los del **Complejo Mayor de Histocompatibilidad (CMH)**. Este complejo es además poligénico y codominante.

El CMH humano, denominado **HLA**, contiene genes clase I, clase II y clase III. Los dos primeros se expresan en la membrana celular y se encargan de presentar el antígeno a los linfocitos T, que reconocen la combinación CMH-Ag. Los genes clase III codifican proteínas solubles que participan en la respuesta inmune; por ejemplo, algunas citoquinas e como las interleucinas (IL).



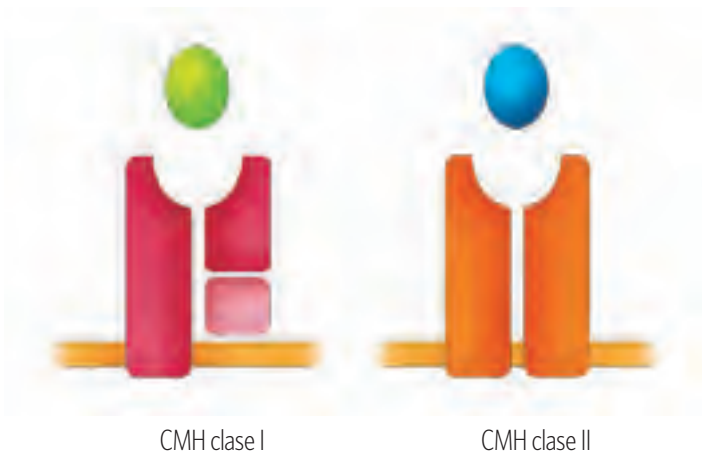
#### Apunte

Poligénico: un complejo que posee múltiples genes relacionados entre sí.

Polimórfico: genes que presentan múltiples alelos en la población.

Codominante: en cada célula se expresan los dos alelos de un gen.

◀ Existen genes en el ADN de cada individuo que le confieren su individualidad macromolecular.

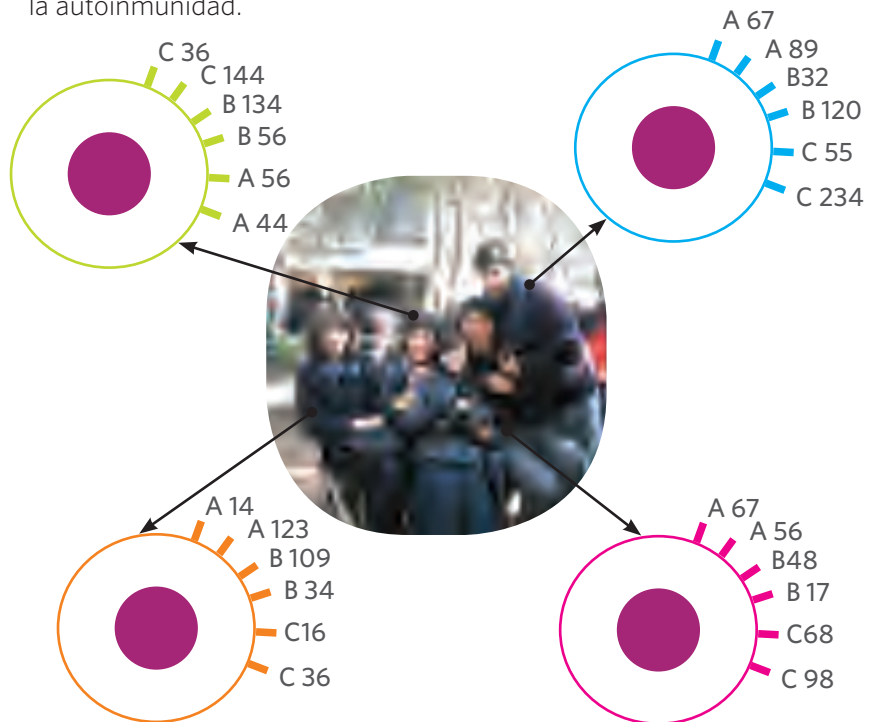


CMH clase I

CMH clase II

- **CMH clase I:** están presentes en todas nuestras células nucleadas. Al ser codificadas por diversos alelos en combinación única para cada persona, representan “**lo propio**” para el sistema inmune. Unen antígenos propios o no propios y son reconocidos solo por los linfocitos T CD8+.
- **CMH clase II:** se expresan solo en las células presentadoras de antígeno profesionales, es decir, en células dendríticas, macrófagos y linfocitos B. Presentan antígenos que han sido incorporados a estas células mediante endocitosis o fagocitosis, y son reconocidos solo por linfocitos T CD4+.

Por lo tanto, la identidad molecular radica en los antígenos codificados por el CMH clase I, porque cada persona tiene una combinación de alelos única e irrepetible. La principal tarea del **sistema inmune adaptativo** es mantener esta identidad inalterada; dicho en otras palabras, mantener la **homeostasis macromolecular**. Para lograrlo, sus células están en constante circulación vigilando que estas moléculas no cambien. Como veremos, su acción es clave no solo para defendernos de los microorganismos patógenos, sino que también son responsables del rechazo de tejidos u órganos trasplantados, y participan en la autoinmunidad.



▲ Somos únicos debido a que la combinación de alelos de CMH que tenemos es única. Considerando la gran cantidad de alelos del CMH que existe en la población, la probabilidad de que se expresen los mismos seis alelos en dos personas diferentes, a menos que sean gemelos univitelinos, es mínima.



## 1.2 Principales células que participan en la respuesta inmune

Como todos los elementos figurados de la sangre, los leucocitos o glóbulos blancos se forman en la médula ósea a partir de células madre pluripotenciales llamadas hematopoyéticas.

Según su rol en las respuestas inmunes innata y adaptativa, los leucocitos se pueden clasificar en **células en permanente vigilancia** y **células presentadoras de antígenos profesionales (CPA)**.

### a. Células en permanente vigilancia

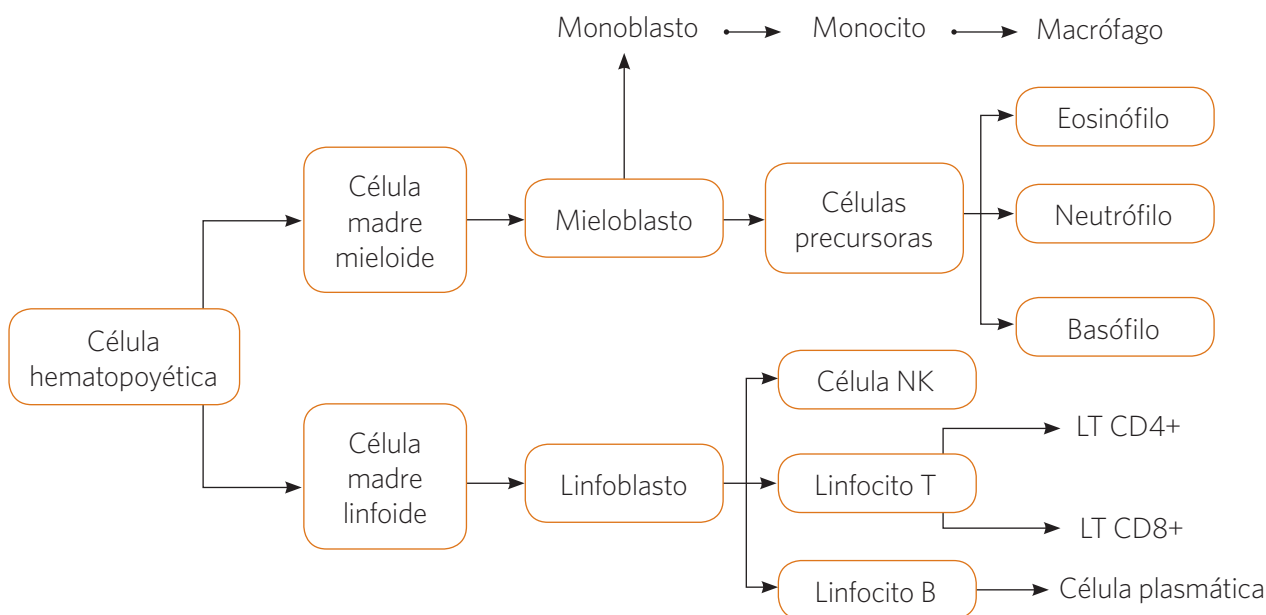
- **Linfocitos T (LT):** existen dos subpoblaciones principales, **LT CD4+**, a cargo de la cooperación con las respuestas humorales de linfocitos B y responsables de activación de macrófagos en la **respuesta efectora celular retardada (DTH)**; y **LT CD8+** o **citotóxicos**, a cargo de la **inmunidad celular citotóxica**. Los LT CD8+ destruyen células infectadas por patógenos y para hacerlo unen su membrana a la de la célula que será eliminada y liberan proteínas como la perforina y la granzima, que causan la lisis.
- **Linfocitos B (LB):** una vez que son activados por LT CD4+ colaboradores, se dividen por mitosis y se diferencian a **células plasmáticas** y **células de memoria**. Las primeras están a cargo de la inmunidad humoral que consiste en la producción de anticuerpos, y las células de memoria permanecen circulando después de que el patógeno ha sido eliminado.
- **Células NK o asesinas naturales:** son linfocitos de gran tamaño que están permanentemente circulando y vigilando nuestras células. A diferencia de los LT, son inespecíficos, por lo que participan de la inmunidad innata. Si alguna célula se ha vuelto tumoral o está infectada por virus es eliminada por un proceso semejante al que realizan los LT citotóxicos.

### Para saber +

- La cantidad normal de leucocitos en un microlitro de sangre oscila entre 4 500 y 10 000. Cuando su cantidad es inferior a lo normal existe leucopenia, la que puede deberse a una insuficiencia de la médula ósea, lupus eritomatoso, enfermedades del hígado o del bazo, entre otras causas. Por el contrario, si su número es mayor, se tratará de una leucocitosis y puede deberse a tumores en la médula ósea, leucemia o infecciones, entre otros motivos.



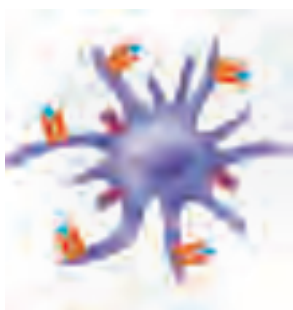
▲ La proporción de leucocitos en la sangre es de uno por cada 660 eritrocitos.



▲ Formación de los diferentes tipos de leucocitos.

**b. Células presentadoras de antígenos profesionales (CPA)**

Se denominan profesionales debido a que, en rigor, todas nuestras células presentan antígenos a los linfocitos T, sin dedicarse principalmente a ello, como sí lo hacen estas células.



**Células dendríticas:** están en los epitelios de revestimiento y el tejido conjuntivo de la piel y de las mucosas. Captan Pamps de patógenos mediante receptores de reconocimiento de patrones (Prr), y los fagocitan. Luego viajan a los linfonodos más cercanos y presentan antígenos proteicos a linfocitos T vírgenes en el contexto de CMH clase II.

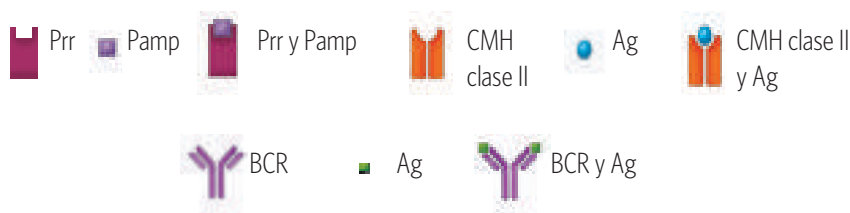
**Macrófagos:** residen en los tejidos o se diferencian a partir de monocitos durante la inflamación, captan a los patógenos mediante el reconocimiento de Pamps con Prr o bien de opsoninas tales como el factor C3b del complemento o el fragmento Fc de anticuerpos. Luego los fagocitan y presentan sus antígenos a los linfocitos T. Además se encargan de fagocitar células muertas en los tejidos inflamados.

**Linfocitos B:** recirculan entre los órganos linfoides periféricos, a través de la linfa y la sangre, o están en los linfonodos. Reconocen al epítipo de los antígenos mediante el BCR, lo endocitan y presentan a los linfocitos T, que les ayudan a generar su respuesta humoral. Por lo tanto, reconocen antígeno en forma directa y son también CPA.

**Apunte**

Pamps: moléculas presentes en diversos patógenos y ausentes en sus hospederos, por ejemplo, lipopolisacáridos; flagelina, peptidoglicano y el ácido lipoteicoico de las bacterias o el material genético viral.

Epítipo: o determinante antigénico, es la región del antígeno que se une a los anticuerpos, a los receptores de los linfocitos B (BCR) o a los de los linfocitos T (TCR) en un sitio complementario de estas moléculas llamado paratopo.



**1.3 Moléculas que participan en la respuesta inmune**

Son proteínas sintetizadas por algunas células inmunitarias, sus funciones generales son la activación de células inmunitarias y la destrucción de agentes patógenos. Algunas se encuentran en la membrana celular de ciertas células inmunitarias, otras están en el citoplasma o bien son sintetizadas y secretadas a la sangre o la linfa durante la respuesta inmune. Se distinguen moléculas que participan en el reconocimiento, en la activación y en la respuesta efectora.

**a. Moléculas que participan en el reconocimiento**

Son receptores de membrana que se unen a un antígeno con diferentes grados de especificidad. Tras esta unión se desencadenan procesos que conducen a la activación.

Inmunidad innata

**Receptores de reconocimiento de patrones (Prr):** son receptores codificados por la línea germinal, lo que implica que su especificidad es heredada genéticamente. Estos receptores evolucionaron por selección natural y permiten reconocer componentes altamente conservados en los patógenos. Se ubican principalmente en la membrana de células dendríticas y macrófagos. Los principales son los receptores tipo Toll, que son específicos para los Pamps. Cuando Prr y Pamp se unen se produce la transducción de la señal y se activa una vía que conduce a la expresión de genes de citoquinas que influyen en la determinación de estrategias de eliminación del patógeno, tanto en la inmunidad innata como en la adaptativa.



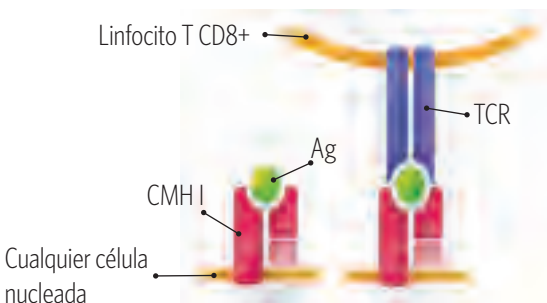
▲ Interacción entre Pamps y Prr.

Inmunidad adaptativa

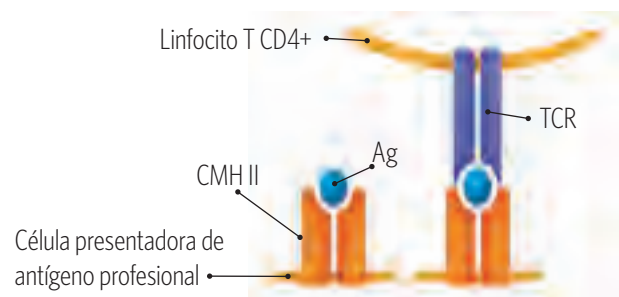
**BCR:** son receptores codificados por la línea somática, lo que los hace altamente específicos. Se ubican en la membrana de los linfocitos B. Reconocen directamente un epítipo o determinante antigénico presente en un patógeno u otro tipo de moléculas unidas o no a estructuras celulares. Tiene la conformación de un anticuerpo, formado por dos cadenas pesadas y dos cadenas livianas. Está unido a membrana por las cadenas pesadas y tiene el sitio que reconoce al antígeno hacia el exterior del linfocito B.



**TCR:** al igual que los BCR, son receptores altamente específicos codificados por la línea somática. Están en la membrana de los linfocitos T y reconocen antígeno solo si les es presentado por una molécula codificada por el complejo mayor de histocompatibilidad (CMH). Presentan dos cadenas polipeptídicas con una zona hipervariable en la región superior que reconoce con gran especificidad al complejo CMH-antígeno.



▲ CMH clase I



▲ CMH clase II

Reflexiona

Prevención del cáncer

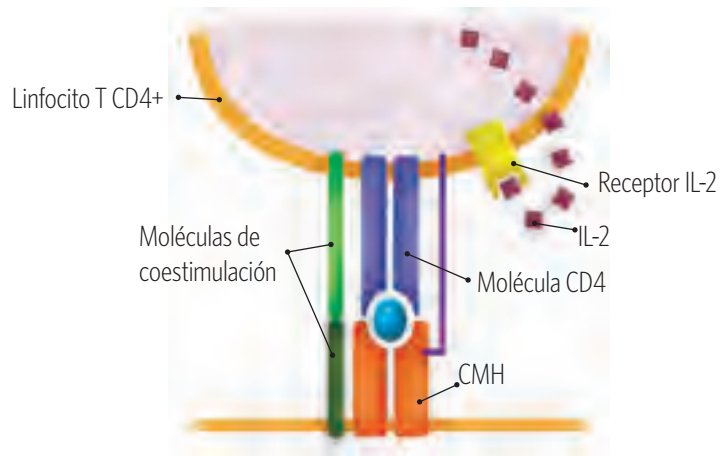
Aunque contamos con una variedad de defensas celulares y moleculares contra el desarrollo del cáncer, esta enfermedad puede manifestarse de todas maneras. Por lo tanto, la prevención siempre es la mejor alternativa. Esta consiste en evitar conductas de riesgo, como fumar, consumir alcohol o exponerse a los rayos solares sin la protección adecuada. También es necesario realizar exámenes preventivos, especialmente si existen antecedentes de cáncer en la familia. Las mujeres deben realizarse periódicamente el papanicolau, que permite diagnosticar el cáncer del cuello del útero, y mamografías, que detectan alteraciones en la glándula mamaria. A los hombres de más de 45 años se les recomienda realizar exámenes a su próstata. ¿Tienes conductas riesgosas que pudieran causarte cáncer?



▲ El melanoma es el tipo de cáncer de piel más peligroso. Ante cambios en la textura, forma, color y tamaño de un lunar se debe consultar al médico.

b. Moléculas que participan en la activación

La activación linfocitaria requiere de al menos dos señales; la primera es internalizada a la célula por el receptor TCR cuando contacta al antígeno, mientras que la segunda corresponde a moléculas de coestimulación, y su acción consiste en la expresión de un receptor para una citoquina, la IL-2, y la secreción de dicha citoquina; de esta manera, el linfocito se autoestimula para proliferar. Posteriormente, otras citoquinas, las IL-5,6 y 7, inducen la diferenciación a célula efectora. Estos mensajes se incorporan al núcleo utilizando las vías de transducción de señales que ya has conocido, permitiendo que se expresen los genes necesarios para cumplir la función requerida.

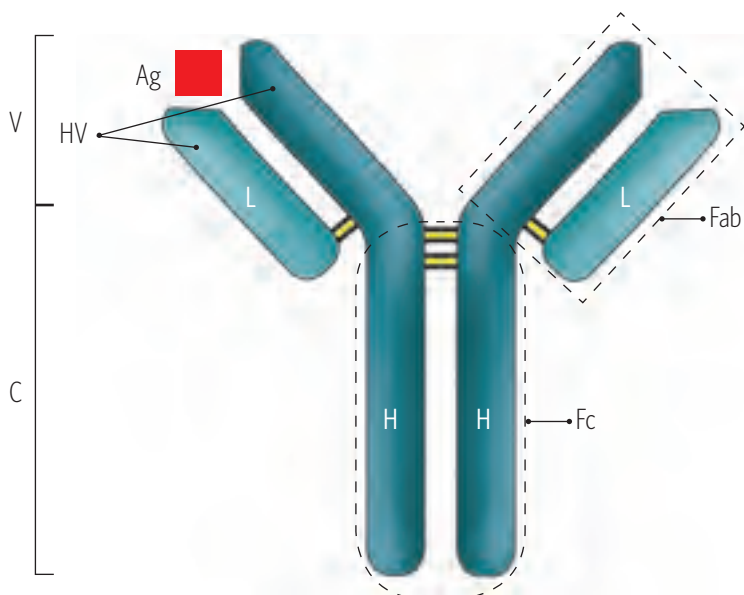


▲ Moléculas de coestimulación (1), IL-2 (2) e IL-2R (3).

c. Moléculas que participan en la respuesta inmune efectora

- **El sistema complemento:** genera algunos fragmentos que pueden opsonizar patógenos, y otros que inducen inflamación que conduce a su fagocitosis.
- **Perforinas y granzimas:** que son proteínas citotóxicas secretadas por los LT CD8+ citotóxicos y por células NK directamente sobre células tumorales o infectadas por virus. La perforina forma canales proteicos en la membrana de la célula diana que alteran su permeabilidad, produciendo una lisis osmótica, y además permiten el ingreso de las granzimas que fragmentan su ADN.
- **Citoquinas:** participan en la respuesta celular DTH, activando a los macrófagos.

- **Las inmunoglobulinas o anticuerpos:** se unen específicamente a los antígenos, neutralizándolos o marcándolos para ser eliminados por células; también pueden activar al sistema del complemento. Especial importancia tiene el anticuerpo IgA, que se ubica en la mucosa del tracto digestivo, respiratorio, urinario y vaginal, impidiendo el ingreso de patógenos.



- ▲ Anticuerpo o inmunoglobulina (Ig). Formados por dos cadenas polipeptídicas pesadas (H) y dos livianas (L), unidas por enlaces disulfuro. Ambos tipos de cadena tienen una zona constante (C), una zona variable (V) y, en esta, una zona hipervariable (HV), que es el lugar de combinación con el antígeno (Ag). El fragmento que se une al antígeno se denomina Fab y aquel formado por las cadenas pesadas se conoce como Fc.

### Apunte

Opsonización: ocurre cuando los anticuerpos o algunos elementos del sistema de complemento se unen al patógeno, marcándolo para facilitar su fagocitosis por parte de PMn y macrófagos.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

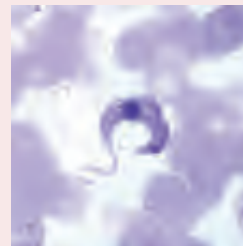
1. ¿En qué consiste nuestra identidad macromolecular?, ¿de qué depende?
2. Crea una analogía que te permita explicar las características y la importancia de la identidad macromolecular.
3. Explica con tus palabras las fases de reconocimiento, activación y de respuesta efectora.
4. Agrupa, en un organizador gráfico, las moléculas que participan en las fases de reconocimiento, activación y de respuesta efectora.
5. Compara en una tabla la inmunidad celular y la inmunidad humoral.
6. ¿Cuáles son las funciones que distinguen a las células en permanente vigilancia de aquellas que son presentadoras de antígenos profesionales?
7. ¿Por qué son tan especiales los linfocitos B?

# ¿Cómo se desarrolla la respuesta inmune adaptativa?

► Debes recordar: **Antígeno - Epítopo - TCR - BCR - CHM**

## Trabaja con lo que sabes

- El *Trypanosoma cruzi* es un protozoo responsable de la enfermedad de Chagas. Acerca de este patógeno, responde:
  - ¿De qué tipo de moléculas está formado?
  - ¿Cuáles de esas moléculas están expuestas en su membrana plasmática?
  - ¿Estas moléculas son iguales en todas las especies del género *Trypanosoma*? Explica.
  - Un inmunólogo explica que ese protozoo es un “mosaico antigénico”. ¿Qué crees que quiere decir con eso?
- Las proteínas tienen diferentes niveles de complejidad estructural. En la imagen se representa la estructura terciaria de una de ellas; al respecto, responde:
  - ¿Qué relación existe entre ADN y proteínas?
  - Si la proteína representada es antigénica, identifica tres posibles epítomos en ella y fundamenta tu elección.



▲ *Trypanosoma cruzi*.  
Crédito: Wikimedia Commons.



▲ Estructura terciaria de una proteína.  
Crédito: Wikimedia Commons.

## Propósito de la lección

Las estrategias que utilizan las células y moléculas del sistema inmune adaptativo dependen en gran medida de la naturaleza del antígeno que la genera, del lugar y modo de su ingreso al organismo y de la capacidad de respuesta del sistema. En esta lección conocerás distintas estrategias de respuesta inmune frente a diferentes patógenos y otros antígenos. Integrarás las respuestas efectoras adaptativas con las de la inmunidad innata y comprenderás en qué consiste la memoria inmunológica.

## Conexión con

### Arte

Los mosaicos se han encontrado en Creta, Mesopotamia y, por supuesto, en Grecia y Roma. En inmunología, el término mosaico se usa en analogía con estas obras de arte para referirse al hecho de que un antígeno complejo como un protozoo o una bacteria está conformado por múltiples antígenos y cada antígeno posee múltiples epítomos.



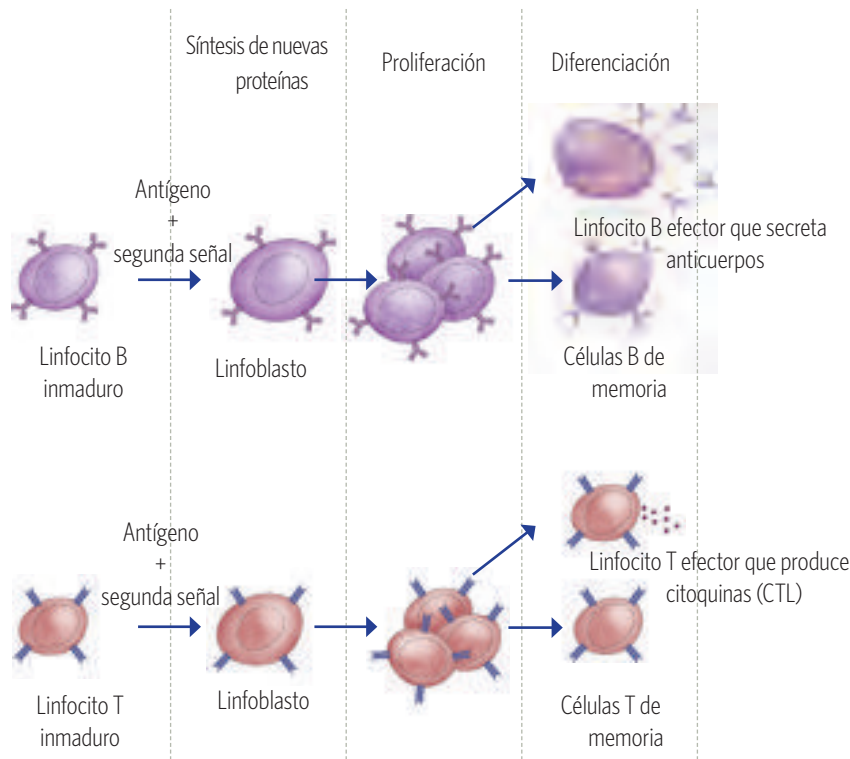
▲ Mosaico hallado en Venecia.  
Crédito: Wikimedia Commons

# 1. Desarrollo de la respuesta inmune adaptativa

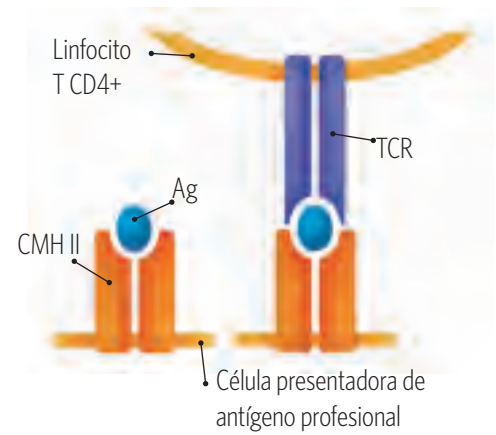
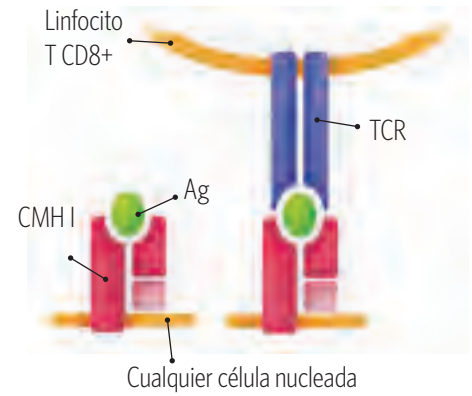
El tipo de respuesta inmune dependerá de la ubicación de los antígenos; estos pueden ser **exógenos**, si están en el espacio extracelular o dentro de vacuolas fagocíticas, o **endógenos**, cuando se encuentran libres en el citosol.

Tanto el reconocimiento como la activación ocurren en los linfonodos para antígenos provenientes de los tejidos a través de la linfa, y en el bazo cuando el antígeno está en la circulación sanguínea. Los antígenos endógenos solo son reconocidos por los LT citotóxicos o LT CD8+ y los exógenos, por los LT cooperadores o LT CD4+. El reconocimiento es directo en el caso de los linfocitos B.

- Activación de los linfocitos:** consiste en el inicio de la síntesis de proteínas específicas. Requiere de dos señales diferentes. La **presencia de antígeno** (primera señal) asegura que la respuesta inmune sea específica, mientras que alguna manifestación de la respuesta inmune innata (segunda señal), como por ejemplo la secreción de citoquinas, garantiza que la respuesta inmune sea oportuna. Una vez activados, los linfocitos **proliferan** y se **diferencian**.



- ▲ Fases de la respuesta producida por linfocitos y producción de células de memoria durante la proliferación.



- ▲ Cuando una célula somática, con excepción de los eritrocitos, tiene un antígeno endógeno, lo presenta a los LT CD8+ mediante su CMH I, el cual es reconocido por el TCR de estos linfocitos. Mientras que los antígenos exógenos son presentados por las células presentadoras de antígenos profesionales a los LT CD4+.

## Para saber +

- Existen cinco clases de inmunoglobulinas que se diferencian entre sí por la cadena pesada que portan. Cada clase tiene funciones que la caracterizan. La IgM es la mejor activadora del complemento junto con la IgG, y participan en todo tipo de infecciones, la IgA impide el ingreso de patógenos en las mucosas, la IgE es responsable de la respuesta antiparasitaria e interviene en las reacciones alérgicas y la IgD activa los linfocitos B.



▲ Inmunoglobulina M (IgM).  
Crédito: Wikimedia Commons

- Expansión clonal:** los linfocitos **prolifera**n, multiplicándose por mitosis, en un proceso que se denomina **expansión clonal**. De esta manera se obtiene un contingente monoespecífico de linfocitos activados.
- Diferenciación:** los linfocitos activados se **diferencian** a células efectoras y a células de memoria.

Todo este proceso está regulado por citoquinas, que direccionan la respuesta de acuerdo a la estrategia más eficiente para eliminar al antígeno, y tarda entre tres y cinco días. Dada la lentitud en montar la inmunidad adaptativa, la inmunidad innata es vital para controlar las infecciones cutáneas y de las mucosas y estimular la inmunidad adaptativa.

En la inmunidad innata la respuesta efectora está constituida por la eliminación del patógeno mediante fagocitosis, activación del complemento y células NK, principalmente. En la inmunidad adaptativa las respuestas efectoras son de dos tipos fundamentales: **humoral** y **celular**; en esta última se distingue la inmunidad celular citotóxica y la inmunidad celular DTH.

### 1.1 Respuesta humoral

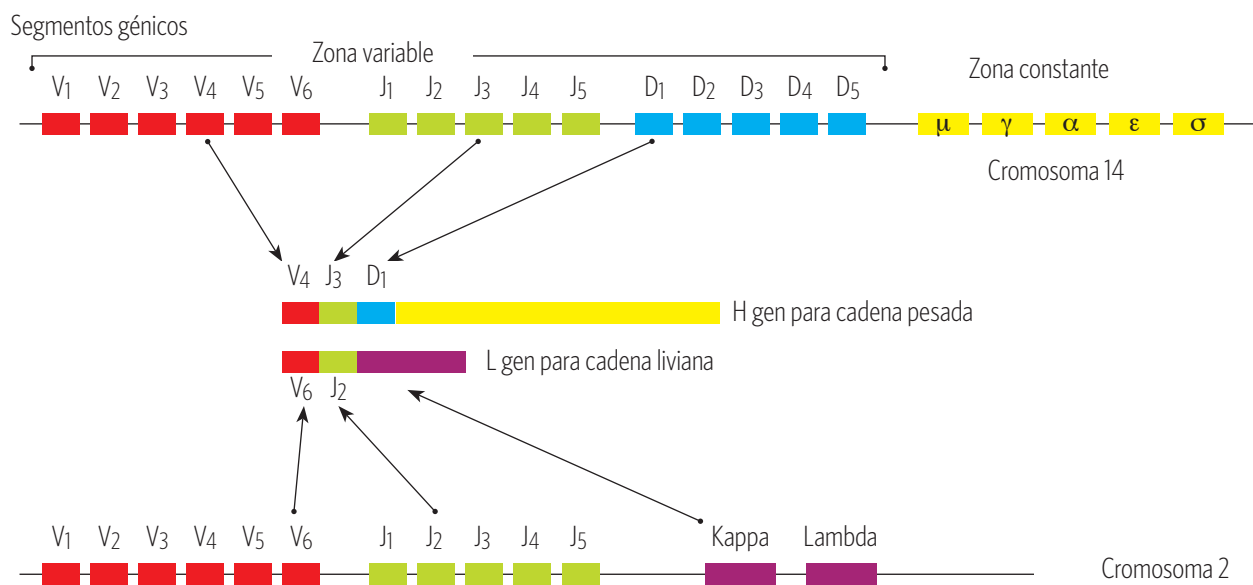
Está a cargo de las inmunoglobulinas (Ig) o anticuerpos, que son complejas moléculas multifuncionales sintetizadas por las células plasmáticas que se diferencian a partir de LB activados.

Las inmunoglobulinas están codificadas en genes de la línea somática y cada linfocito B presenta estas moléculas unidas a su membrana constituyendo un BCR de una determinada especificidad; una vez activados, los LB se diferencian a células plasmáticas que secretan millones de moléculas de la misma especificidad.

Llama la atención que la cantidad de genes de nuestro genoma, cerca de 30 000, sea mucho menor que la cantidad de tipos de proteínas (BCR, TCR e Ig) posibles, los que se cuentan por millones. La gran diversidad, en cuanto a las regiones variable e hipervariable de las moléculas de inmunoglobulinas y de los receptores BCR y TCR, se obtiene mediante la **recombinación de segmentos génicos** presentes en la línea somática. De esta manera, durante la diferenciación de cada linfocito se construye un gen para cadena pesada y uno para cadena liviana.

Gracias al proceso de recombinación se explica la existencia de millones de receptores y anticuerpos distintos, por lo que, ante el ingreso de un agente patógeno, hay una gran posibilidad de que uno de los millones de linfocitos producidos sea capaz de neutralizarlo.





▲ Recombinación de segmentos génicos. Las zonas variables e hipervariables están formadas por los segmentos V, J y D, por lo que cada célula tiene y mantiene una especificidad única. Los genes de zona constante asignan la clase a la inmunoglobulina IgM, IgG, IgA, IgE e IgD con su cadena pesada. En las cadenas livianas la zona constante puede ser kappa o lambda.

**Inter@ctividad**

- Ingresa a [www.recursocti.cl/lbm287](http://www.recursocti.cl/lbm287). Analiza la animación de la selección clonal que encontrarás e indica qué aspectos están bien explicados y cuáles merecen un mejor desarrollo.

**a. ¿Cómo logramos disponer de anticuerpos específicos y exclusivos para cada antígeno?**

Este tema tan crucial para la inmunología era de difícil solución. Hasta mediados del siglo pasado se pensaba que los antígenos funcionaban como moldes para la construcción de anticuerpos. En 1955, el inmunólogo británico Niels Jerne publicó un artículo donde afirmaba que el antígeno elige el anticuerpo más específico en el organismo y promueve su producción. En 1957, los inmunólogos australianos Frank Burnet y David Talmage desarrollaron la idea de Jerne y postularon la **teoría de la selección clonal**, según la cual el antígeno selecciona los linfocitos con receptores específicos para él y los induce a formar un clon de células secretoras de ese anticuerpo. Según ello, cada célula debe tener una sola especificidad. En 1958, el inmunólogo australiano Gustav Nossal y el estadounidense Joshua Lederberg hicieron un extraordinario experimento que comprobó esta teoría, una de las más importantes de la inmunología.



- ▲ Modelo computacional de un anticuerpo. Se distinguen las cadenas pesadas (azul) y livianas (verde claro). Crédito: Wikimedia Commons

## Minitaller

**Análisis del experimento de Nossal y Lederberg**

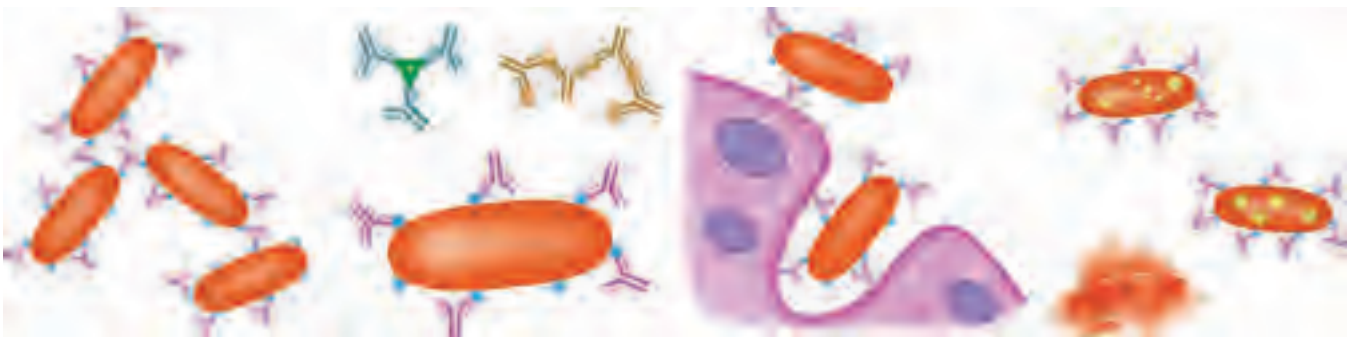
Nossal y Lederberg inmunizaron ratas con dos cepas diferentes de *salmonella*, *S. adelaide* y *S. typhi*, inactivadas con formol. Después de tres inyecciones sucesivas del antígeno (una cada tres semanas) se sacrificó a las ratas y se procesó los linfonodos para aislar células individuales, las que fueron incubadas para permitir la síntesis de anticuerpos. Luego, se añadió a cada cultivo salmonellas vivas de una u otra cepa. Tras unos minutos se observó en el microscopio el grado de movilidad de las bacterias. Se consideró como inhibición la detención del movimiento de todas las bacterias. Los cultivos positivos para inhibición fueron sometidos a la otra cepa de la bacteria y se comprobó que no tenían efecto inmovilizante sobre estas. Los científicos asumieron que los anticuerpos presentes en el cultivo lograban inmovilizar a las bacterias y que eran altamente específicos para una sola de las cepas.

**Lo que debes hacer**

1. Elabora un esquema o un dibujo que represente la teoría de la selección clonal.
2. ¿Por qué usaron cepas bacterianas de la misma especie y no bacterias de distinta especie?
3. ¿Por qué inyectaron tres veces a las ratas con el antígeno?
4. ¿Por qué concluyeron que los anticuerpos son altamente específicos?
5. ¿Por qué sus resultados apoyan la teoría de la selección clonal?

**b. Anticuerpos en acción**

Los anticuerpos se unen al antígeno por su fragmento Fab y de esa manera lo neutralizan o lo marcan. Además de las acciones representadas en las ilustraciones, los anticuerpos marcan una célula y sus fragmentos Fc son reconocidos por células NK o eosinófilos, los que liberan diversas sustancias que la matan, proceso denominado citotoxicidad dependiente de anticuerpos o (ADCC).



▲ **Agglutinación:** los anticuerpos inmovilizan a los patógenos haciendo más fácil su eliminación.

▲ **Neutralización:** los anticuerpos se unen a toxinas e impiden que estas interactúen con los tejidos.

▲ **Oponización:** los anticuerpos marcan al patógeno y los fagocitos los ingieren.

▲ **Complemento:** los anticuerpos activan este sistema que origina inflamación y produce lisis del patógeno.

## 1.2 Respuesta celular

Los patógenos intracelulares, como los virus y algunas bacterias, protozoos y hongos, pueden sobrevivir y proliferar en el interior de los fagocitos y otras células, donde no llegan los anticuerpos circulantes. En este caso, la defensa contra estos agentes es responsabilidad de la respuesta celular en su versión citotóxica o bien en la versión DTH. Este tipo de respuesta se caracteriza por la participación de los LT CD8 o CD4, respectivamente.

### a. Respuesta celular citotóxica

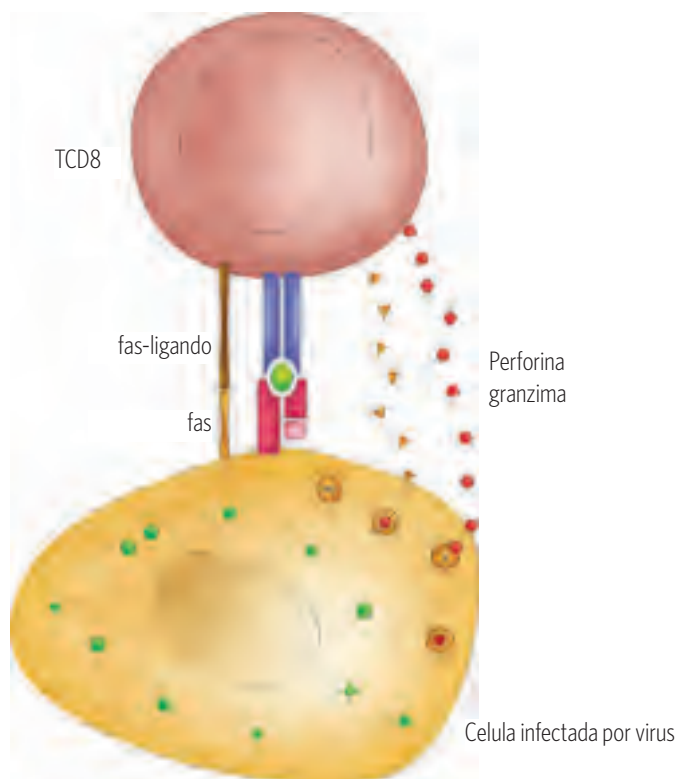
Se pone en marcha cuando el antígeno es sintetizado por la célula afectada, como es el caso de las células cancerosas y las células infectadas por virus. El ADN viral se ha incorporado al genoma celular y obliga a la célula a fabricar proteínas virales, o bien, la célula ha sufrido cambios en su genoma y expresa proteínas distintas a las propias. Presenta los péptidos de estas proteínas en CMH clase I a los LT CD8+, los cuales, una vez activados, reconocen al antígeno en la superficie celular. Se acercan, la tocan y la matan mediante la liberación de perforinas y granzimas, las que inducen la apoptosis en la célula afectada. Además, el linfocito expresa una proteína denominada **fas ligando** que se une a la proteína **fas** ubicada en la membrana de la célula que debe morir. Al contactar ambas moléculas se induce la apoptosis celular. Esta respuesta opera también en los trasplantes de tejidos.

### Para saber +

- En los enfermos de sida, la disminución de LT CD4+ impide la respuesta celular DTH, por lo que están expuestos a infecciones que no suelen ser mortales en la población sana, pero que en ellos son graves.

### Apunte

Apoptosis: o muerte celular programada, es un proceso normal de autodestrucción que regula el crecimiento celular y de los tejidos. Sin embargo, la apoptosis es también inducida en las células infectadas y tumorales por las células NK y los LT CD8+.



- ▲ El beso de la muerte; los LT CD8+ inducen la apoptosis de células infectadas y tumorales.

Para saber +

- ¿Por qué nos resfriamos tantas veces? El resfrío es causado por un grupo de retrovirus denominados rinovirus, de los cuales hay más de cien variedades. Además, al ser retrovirus tienden a mutar más que los virus de ADN, lo que ocasiona que cambien sus epítomos y el sistema inmune no los reconozca. Por lo tanto, nunca nos resfriamos con el mismo tipo de virus. Además, el daño que pueda causar el virus dependerá de nuestra edad, de nuestro estado nutricional, entre otras cualidades personales; eso explica por qué el mismo virus puede afectar de manera tan distinta a dos personas. Para su tratamiento no deben emplearse antibióticos, pues estos no afectan a los virus.



▲ Los antibióticos son medicamentos útiles contra bacterias y solo deben consumirse con prescripción médica.

Memoria inmunológica. La producción de anticuerpos es más rápida e intensa ante una segunda exposición al antígeno. ▶

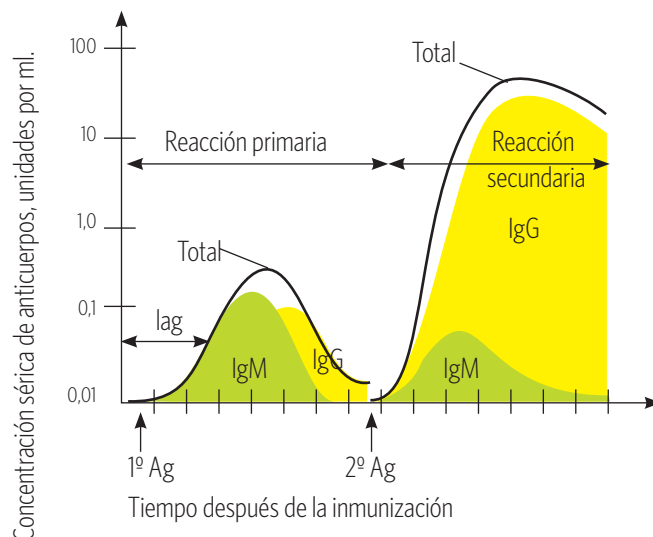
b. Respuesta celular DTH o de tipo hipersensibilidad retardada

Es una respuesta inflamatoria local intensa (hipersensibilidad) que tarda dos o tres días en manifestarse (retardada). Participan los LT CD4+ activados, los que reconocen el antígeno en CMH clase II de fagocitos infectados y, en consecuencia, liberan citoquinas que atraen a la zona infectada muchos más macrófagos y otras células inflamatorias, aumentan su eficiencia bactericida y activan la inflamación. Esta respuesta es eficiente frente a una gran variedad de patógenos, entre ellos el bacilo que produce la tuberculosis, hongos intracelulares como *Candida* y virus entre otros microorganismos.

2. Memoria inmunológica

Junto con su propiedad de ser **específica**, pues logra distinguir entre agentes patógenos diferentes pero estrechamente emparentados, la inmunidad adaptativa también tiene **memoria**, ya que puede recordar y responder a repetidas exposiciones a un mismo microbio.

La memoria inmunológica se obtiene cuando se produce una respuesta inmune adaptativa frente a cualquier antígeno. Durante esta respuesta se generan linfocitos efectores, ya sea T o B, que lo eliminan directa o indirectamente en la denominada **respuesta primaria**, en la que también participa una serie de linfocitos reguladores. Después de concluida la respuesta quedan circulando linfocitos **T y B de memoria** con especificidad para ese antígeno. Ante un segundo o posterior contacto con el mismo antígeno, estos linfocitos de memoria responden con mayor celeridad y eficiencia, en un proceso llamado **respuesta secundaria**. El tiempo que demora en aparecer la respuesta primaria y secundaria varía según el antígeno utilizado, la vía de ingreso y la presencia o no de inflamación. Este fenómeno es la base en la que se sustenta la **vacunación**.



### Para saber +

- Nuestra dieta afecta el funcionamiento de nuestro sistema inmune. Así, quienes están desnutridos u obesos tienen un mayor riesgo de contraer infecciones. Se ha observado que si se reduce el consumo de grasas saturadas y se aumenta el de grasas polinsaturadas, como las presentes en la palta, jurel, salmón, atún, nueces, entre otros alimentos, la respuesta inmunológica mejora. También, el consumo de yogur u otros alimentos con probióticos, vale decir, con microorganismos beneficiosos, también aumenta las defensas inmunológicas intestinales. El consumo de frutas y verduras crudas es muy recomendado, pues aportan las vitaminas y minerales necesarios para el funcionamiento del sistema inmune.



### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. Los antígenos, al ocupar diferentes lugares dentro o fuera de la célula que los presenta, definen la estrategia que utiliza el sistema inmune. Observa y completa la siguiente tabla:

	Antígenos exógenos	Antígenos endógenos
Ejemplos		
Péptidos unidos a		
Presentado a		
Tipo de respuesta efectora		

2. Construye una tabla comparativa entre inmunidad humoral e inmunidad celular en los siguientes aspectos: tipos celulares involucrados, ubicación del antígeno, proteínas secretadas y señales necesarias para iniciar su desarrollo.
3. ¿Cómo es posible que exista una mayor diversidad de proteínas con rol de anticuerpos que genes en el genoma?
4. ¿Qué fenómeno explica la teoría de la selección clonal?
5. Compara la respuesta efectora de los LT CD8+, LT CD4+ y LB en los siguientes aspectos: receptores de membrana presentes, tipo de proteínas secretadas, efectos sobre la célula diana.
6. ¿Cuál es la importancia de la inmunidad innata para el desarrollo de la inmunidad adaptativa?
7. ¿Por qué se dice que el sistema inmune tiene memoria?, ¿de qué le sirve?



### Organiza lo que sabes

En tu cuaderno, diseña un organizador gráfico usando al menos diez de los conceptos de esta lista. Este organizador representará lo que has aprendido.

anticuerpos	hongos	LT CD8+	protozoos
bacterias	inmunidad adaptativa	memoria inmunológica	respuesta celular
células en permanente vigilancia	inmunidad adquirida	microorganismo patógeno	
respuesta humoral	células fagocíticas	inmunidad innata	moléculas inmunes
respuesta inflamatoria	células inmunitarias	linfocitos B	
moléculas inmunitarias	respuesta inmunológica	CHM	
linfocitos T	patogenicidad	selección clonal	etapas de infección
LT CD4+	proteínas plasmáticas	sistema inmune	

### Evaluación de proceso

1. Establece semejanzas y diferencias entre los siguientes pares de agentes patógenos: bacterias y virus, bacterias y protozoos, bacterias y hongos, protozoos y hongos, y entre virus y priones. (10 puntos).
2. ¿Qué tienen en común y en qué se diferencian los ciclos reproductivos de virus de ADN con respecto a los retrovirus? (3 puntos).
3. ¿Qué adaptaciones tienen las bacterias para invadir y proliferar en nuestro organismo? (2 puntos).
4. Indica para cada elemento defensivo el rol que cumple tanto en la inmunidad innata como en la inmunidad adaptativa: macrófago, sistema de complemento, célula dendrítica y citoquinas. (6 puntos).
5. ¿Qué células y moléculas participan de la respuesta inflamatoria?, ¿Cuál es la importancia de este proceso? (4 puntos).
6. ¿Qué diferencia a los órganos linfoides primarios de los secundarios? Ejemplifica cada categoría. (2 puntos).
7. ¿Qué significa el término homeostasis macromolecular? ¿Cómo el sistema inmune distingue lo propio de lo ajeno? (4 puntos).

8. Agrupa en un organizador gráfico las moléculas y células que participan en las fases de reconocimiento, activación y de respuesta efectora. (5 puntos).
9. ¿Qué diferencia funcional existe entre células dendríticas y células NK; entre anticuerpos y citoquinas y entre linfocitos TCD4+ y linfocitos T CD8+? (6 puntos).
10. ¿Qué fenómeno explica la teoría de la selección clonal? ¿Qué evidencias experimentales la apoyan? (4 puntos).
11. ¿Qué se requiere para que se inicien las respuestas inmunes celular y humoral? ¿Qué células y moléculas participan en cada respuesta? ¿Sobre qué agentes patógenos operan? (8 puntos).
12. ¿Qué es la memoria inmunológica y cuál es su importancia? (2 puntos).

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Caracterizar las principales categorías de agentes patógenos.	1 y 2	_____/13	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #fff9c4; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
Describir la interacción entre los agentes patógenos y los sistemas defensivos del organismo.	3, 4, 5 y 6	_____/14	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #fff9c4; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
Explicar en qué radica nuestra identidad molecular y las funciones de las principales células y moléculas que participan en la respuesta inmune.	7, 8 y 9	_____/15	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #fff9c4; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
Explicar la correspondencia entre las cualidades de la respuesta adaptativa y las características del agente patógeno.	10, 11 y 12	_____/14	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #fff9c4; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

## Análisis de un experimento clásico para estudiar la selección clonal

Muchos conceptos biológicos pueden ser aprendidos mediante el análisis de experimentos clásicos. Esta práctica es interesante, entre otros aspectos, porque ayuda a aprender a hablar y escribir sobre ciencia, ya que se ejercita el planteamiento de preguntas, hipótesis, diseño de procesos, inferir, explicar relaciones, entre otras.

### Antecedentes

La teoría de la selección clonal, propuesta por Frank Macfarlane Burnet y David Talmage, intenta explicar el problema de la formación de anticuerpos y su diversidad. Postula la presencia de una gran cantidad de receptores antigénicos preexistentes y originados al azar en ausencia del antígeno. Tras el ingreso de un antígeno, la célula portadora del receptor adecuado comenzaría a reproducirse, formando múltiples copias de sí misma o clones. Las proteínas receptoras, al ser secretadas por las células, constituirían los anticuerpos que se encuentran en circulación. Tras los experimentos iniciales de Gustav Nossal y Joshua Lederberg, otros investigadores reafirmaron de manera experimental la teoría.

### Experimento y resultados

En 1969, los inmunólogos australianos G.L. Ada y Pauline Byrt realizaron un experimento para poner a prueba la teoría de la selección clonal.

El antígeno que usaron fue la proteína flagelina, un Pamps extraído del flagelo de una cepa de la bacteria *Salmonella adelaide* (antígeno A en el esquema). Los investigadores marcaron el antígeno con el isótopo  $^{125}\text{I}$ , haciéndolo altamente radiactivo. Como control, usaron una preparación de flagelina aislada de una cepa distinta de *Salmonella* (antígeno B).

A continuación, mezclaron el antígeno A radiactivo con una suspensión de células de bazo de ratones que nunca habían sido expuestos al antígeno, y después de eliminar cualquier antígeno que no se unió, usaron la suspensión en el siguiente experimento:

- Los investigadores inyectaron la suspensión en ratones cuyos sistemas inmunes habían sido destruidos mediante rayos X.
- La actividad de la flagelina marcada con  $^{125}\text{I}$  fue tan alta que cualquier célula que se unía al antígeno moría después de 16-20 horas a causa de la radiación.
- Como controles, también inyectaron a animales irradiados:
  - células de bazo que habían sido tratadas con antígeno A no-radiactivo, y
  - células de bazo que no recibieron tratamiento.

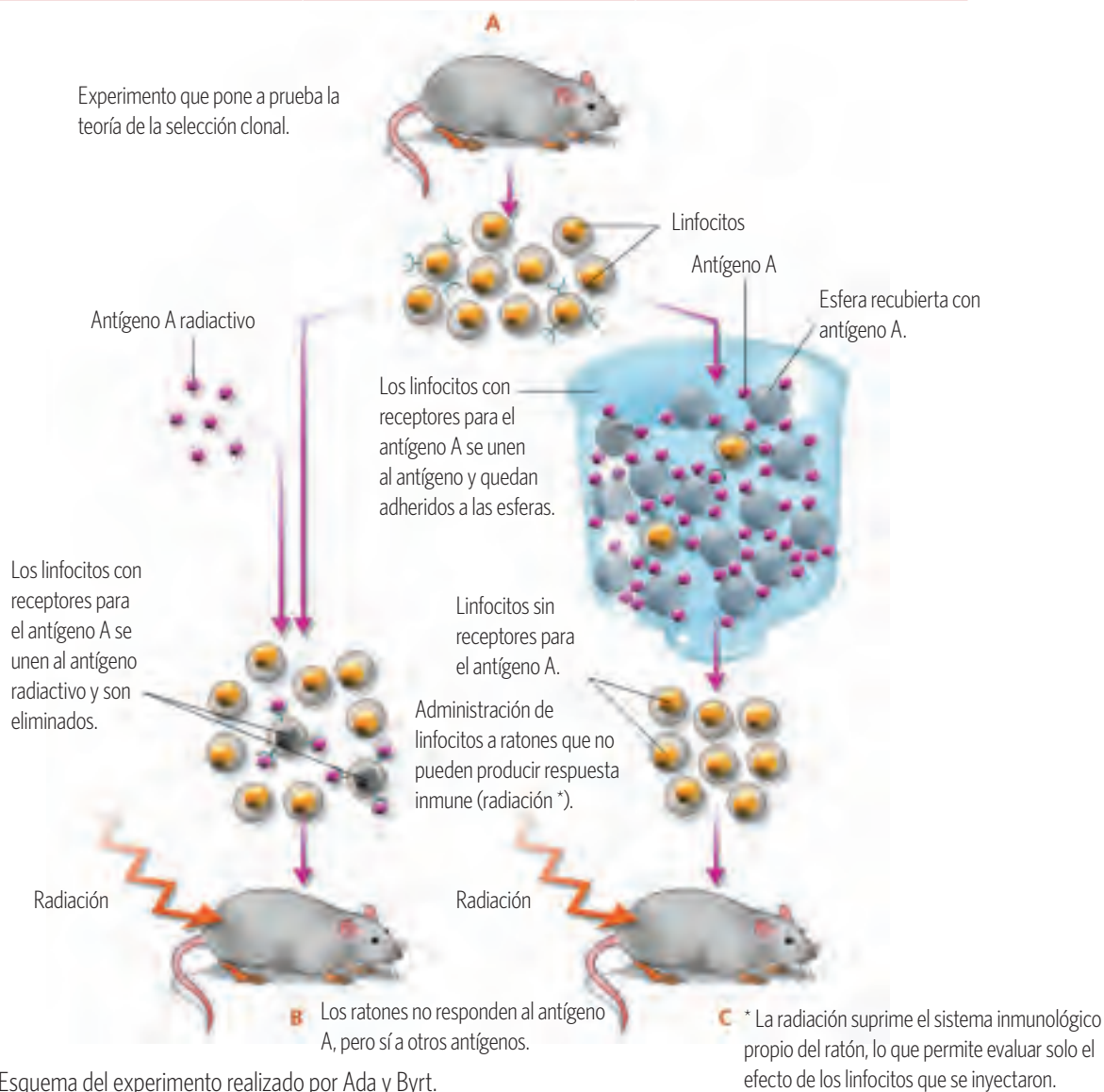
Luego, los tres grupos de animales fueron inyectados con antígeno A y antígeno B, en ambos casos no radiactivos.

Si bien los ratones experimentales fueron capaces de responder al antígeno B, no pudieron producir cantidades significativas de anticuerpo para el antígeno A. Ambos grupos control respondieron a los dos antígenos.



**Tabla 1:** Resultados experimentales.

Pretratamiento de las células de bazo	Producción de anticuerpos anti-antígeno A	Producción de anticuerpos anti-antígeno B
<sup>125</sup> I-antígeno A	+ -	++++
Antígeno A no radiactivo	+++	++++
Ninguno	+++	++++



### Análisis de resultados

1. ¿Qué lograron demostrar Ada y Byrt con este experimento?
2. Describe los controles que usaron los investigadores. ¿Por qué es importante tener uno?
3. ¿Cuál fue el propósito de tratar con rayos X a los ratones?
4. ¿Por qué los ratones experimentales no fueron capaces de producir anticuerpos anti-A?

# ¿Cómo podemos prevenir y tratar las enfermedades infecciosas?

➔ **Debes recordar:** Agentes patógenos - Respuesta inmune adaptativa

## Trabaja con lo que sabes

1. Analiza la siguiente tabla y responde las preguntas.

**Tabla 2:** Comparación entre morbilidad anual representativa del siglo XX y morbilidad en 2004 de enfermedades prevenibles por vacunación (EE.UU.).

Enfermedad	Casos anuales siglo XX*	Casos 2004	Disminución (%)
Viruela	48 164	0	100
Difteria	175885	0	100
Sarampión	503 282	37	99,99
Paperas	152 209	236	99,85
Tos convulsiva	147 271	18 957	87,13
Poliomielitis	16 316	0	100
Rubeola	47 745	12	99,97
Tétano	1 314	26	98,02
Influenza	20000	172	99,14

Adaptada de: Orenstein, W., Gordon, R., Rodewald, L., et col. (2005). "Immunizations In The United States: Success, Structure, And Stress". Health Affairs, 24, nº.3:599-610

- a. ¿Qué importancia ha tenido la vacunación para la salud de la población?
- b. ¿Cuáles son las vacunas más y las menos efectivas?
- c. ¿Para qué tipo de enfermedades se emplean vacunas?

## Propósito de la lección

Las enfermedades infecciosas han sido responsables de gran morbilidad y mortalidad en la historia de la humanidad. Aún hoy es un serio problema de salud pública en muchos países, especialmente en relación a los niños. En esta lección conocerás cómo se transmiten y comprenderás las principales medidas preventivas y terapéuticas para este tipo de enfermedades.

### Apunte

Morbilidad: es un dato estadístico que indica la cantidad de personas consideradas enfermas o víctimas de una enfermedad en un lugar y tiempo determinados.

## 1. Enfermedades infecciosas

Son causadas por microorganismos que alteran la salud de una persona. En contraste, una **infección** corresponde a la invasión y la replicación en el organismo de alguno de los diversos tipos de microorganismos, así como la reacción de los tejidos a su presencia y a la de sus toxinas. Si ello ocurre sin manifestaciones clínicas como malestar, fiebre o erupciones, el proceso se denomina **infección subclínica**. Así entonces, una persona puede estar infectada sin estar enferma.

- **Desarrollo de la enfermedad infecciosa:** constituye la patogenia e incluye tanto los mecanismos de infección como los de respuesta del hospedero. La susceptibilidad del hospedero a una determinada infección depende de su condición fisiológica e inmunológica y de la **virulencia** del microorganismo, que es una medida de su nivel de **patogenicidad**, esto es, la capacidad de un patógeno de provocar enfermedad. La virulencia se relaciona con variables cuantitativas (número de microorganismos) y cualitativas (ruta de ingreso, producción de toxinas, mecanismos específicos e inespecíficos de defensa, características del huésped, entre otras).

### 1.1 ¿Cómo se transmiten las enfermedades infecciosas?

El gran poder de multiplicación de los microorganismos y su resistencia a condiciones desfavorables los hace estar presentes en alimentos, agua, suelo y fluidos corporales. Por otra parte, algunos tienen complejos ciclos vitales y requieren residir en hospederos intermedios como mosquitos, pulgas, moscas y perros, entre otros, que los transmiten al ser humano. Por lo tanto, es muy fácil tomar contacto con ellos en muchas actividades de nuestro diario vivir.

La transmisión de enfermedades infecciosas se traduce especialmente en mortalidad infantil, que afecta más a países de bajos ingresos, en donde su propagación se facilita por las dificultades inherentes a la pobreza, tales como ausencia de agua potable y alcantarillados, falta de servicios de recolección de basura y de atención primaria de salud.

En el contexto de la microbiología, la **epidemiología** es la disciplina que estudia la ocurrencia, causalidad y prevención de enfermedades infecciosas en la población. Estas enfermedades pueden ser esporádicas, y tomar la forma de **epidemias**, cuando el número de casos en una región supera los esperados estadísticamente, o de **pandemias**, si se propagan por varios países y continentes, como la gripe o el sida; o bien, pueden ser habituales y permanentes en una región, es decir, endémicas, como el mal de Chagas en el norte o centro de Chile.

La frecuencia de su ocurrencia o morbilidad se describe como su incidencia o prevalencia. El término mortalidad se refiere a la cantidad de muertes que provoca un agente infeccioso en una determinada población. La letalidad es una medida de cuán peligrosa para la vida es una infección. Las fuentes más importantes de infección son los portadores, las personas infectadas y los vectores.

#### Inter@ktividad

- Ingresa a [www.rekursostic.cl/lbm297](http://www.rekursostic.cl/lbm297) y encontrarás una descripción de las etapas de una enfermedad infecciosa. Selecciona una de estas enfermedades y aplica lo aprendido preparando una breve presentación para tus compañeros.



#### Para saber +

- Los mecanismos de contagio para algunas enfermedades infecciosas son la ingestión (cólera, fiebre tifoidea, hepatitis A), inhalación (resfrío común, influenza), exposición a fluidos corporales (sífilis, mononucleosis, hepatitis B y C, sida, resfrío común e influenza) y a través de un organismo intermedio (peste bubónica, rabia, enfermedad de Lyme).

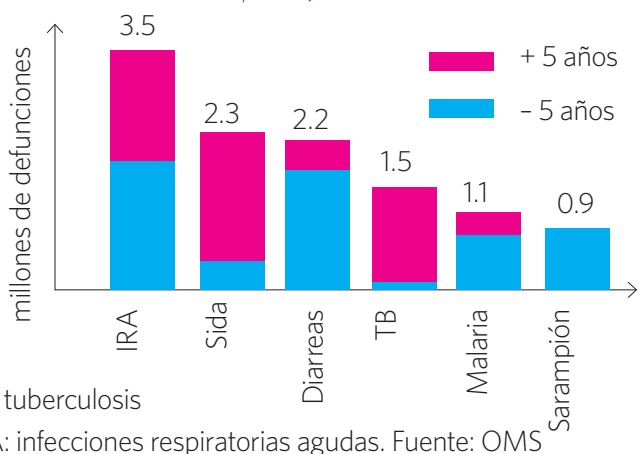
**Actividad 2** Analizar e interpretar un gráfico sobre...

**Enfermedades infecciosas mortales**

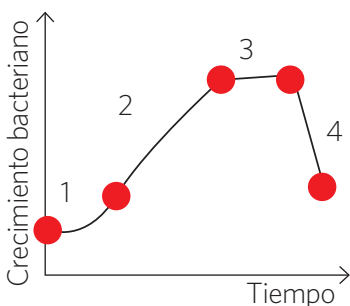
Analiza el gráfico 1 y responde las preguntas:

1. ¿Cuál es el tipo de enfermedad que más afecta a la población? Piensa en dos explicaciones para este hecho.
2. ¿Cuáles son los dos tipos de enfermedades más virulentas y letales para los menores de cinco años?
3. ¿Por qué los mayores de cinco años no mueren de sarampión?
4. ¿Qué medidas preventivas deben tomar los adultos a cargo y la sociedad para evitar que los niños se contagien?

**Gráfico 1:** Principales enfermedades infecciosas mortales (millones de defunciones en todo el mundo, en todas las edades, 1998).



**Gráfico 2:** Fases del crecimiento bacteriano.



▲ Número de individuos en función del tiempo Logaritmo del número de células.

- **Proliferación bacteriana:** si se observa el crecimiento de bacterias en un cultivo, se registra cada cierto tiempo la cantidad de organismos presentes en el medio, y si se realiza un gráfico del número de individuos en función del tiempo, se obtiene una curva de crecimiento en la que se pueden reconocer diferentes etapas o fases.

**Fase de latencia (1):** las bacterias se están adaptando a las condiciones ambientales. **Fase exponencial (2):** las bacterias se multiplican aceleradamente, debido a que las condiciones del medio son óptimas. **Fase estacionaria (3):** el crecimiento de la población experimenta una reducción debido al agotamiento de los nutrientes y por la acumulación de desechos metabólicos producidos por las propias bacterias. **Fase de declinación (4):** período caracterizado por el aumento sostenido de la mortalidad de la población, lo que determina su extinción.

**Actividad 3** Graficar e interpretar datos de...

**Proliferación bacteriana**

Analiza la siguiente situación y luego grafica los datos y responde las preguntas.

Diego se preparó un sándwich de pollo al mediodía y lo mantuvo en su mochila hasta que lo comió, a las ocho de la noche. A las pocas horas, Diego vomitaba y tenía diarrea. Ocurrió que cuando Diego preparó su sándwich, este se contaminó con dos bacterias de *Salmonella*; dos horas después ya eran 128, a las cuatro de la tarde eran 8 192 y cuando lo comió, ya sumaban más de 33 millones de bacterias.

1. Grafica la proliferación de las bacterias en relación con el tiempo y clasifica a qué tipo de crecimiento corresponde.
2. ¿Qué medidas son necesarias para preparar y mantener los alimentos en condiciones adecuadas de consumo?

## 1.2 ¿Cómo podemos prevenir la ocurrencia de enfermedades infecciosas?

La manera más sencilla y obvia de prevenir las enfermedades es evitar el contagio, ya sea por parte del portador o enfermo, que debe evitar acercarse, estornudar o toser cerca de otra persona, o por parte del individuo sano, que debe **evitar** acercarse al enfermo, comer en lugares poco higiénicos y mantener una actividad sexual promiscua y sin uso de preservativo. Además, se debe cuidar el correcto lavado de manos antes de preparar alimentos o después de ir al baño o mudar a un bebé, entre otras medidas.

Otra manera de prevenir es mediante la **inmunización**, la que puede ser **activa** o **pasiva**, ambas en forma **natural** o **artificial**.

- **Inmunización activa:** el sistema inmune **genera** una respuesta específica que deja memoria inmunológica, de manera que ante un posterior contacto con el patógeno hay una respuesta más vigorosa y más rápida que impide que el individuo contagiado desarrolle la enfermedad. Se produce en forma natural a través de la estimulación de la respuesta inmune adaptativa cuando el individuo contrae la enfermedad, y en forma **artificial** por medio de la **vacunación**, en la que el antígeno se introduce atenuado o muerto en el organismo para conferirle protección inmunológica.
- **Inmunización pasiva:** la persona **recibe** anticuerpos producidos por otro organismo. Lo hace de manera **natural** por traspaso transplacentario y a través de la leche durante la lactancia; y de forma **artificial**, cuando recibe inyecciones de inmunoglobulinas.

### Para saber +

- La lactancia, además de aportar anticuerpos y nutrientes al bebé, también favorece su desarrollo intelectual y emocional. Además disminuye en la madre el riesgo de adquirir ciertos tipos de cáncer.



- ▲ Las campañas de vacunación han prevenido muchas muertes en el mundo.

### Actividad 4 Organizar la información e inferir acerca de...

#### Los tipos de inmunización

1. Diseña un organizador gráfico en el que clasifiques los tipos de inmunización y sus ejemplos.
2. ¿Por qué es importante la lactancia durante el desarrollo de un bebé?
3. ¿Qué tipo de inmunización será más duradera, la artificial o la natural? Explica.

Conexión con

Historia

Un ejemplo de cómo la ciencia se vale de la observación y la experiencia popular es lo que sucedió con el desarrollo de la vacunación. Esta nació formalmente en 1790 con la publicación del médico inglés Edward Jenner sobre la vacuna contra la viruela o antivariólica hecha con material orgánico obtenido de pústulas de ordeñadoras de vacas. Sin embargo, muchos siglos antes ya se practicaba en China y Turquía, donde los individuos aspiraban o ponían en contacto con pequeñas abrasiones hechas en su piel, con tejido proveniente de las lesiones de los enfermos con viruela.



▲ Edward Jenner vacunando a James Phipps, un muchacho de ocho años, el 14 de mayo de 1796. Litografía del artista francés Gaston Mélingue, de fines del siglo XIX. Crédito: Wikimedia Commons

1.3 ¿En qué consiste la vacunación?

La persona recibe por vía intradérmica, subcutánea u oral un compuesto que presenta dos componentes básicos: **antígenos** de un patógeno y una sustancia llamada **adyuvante**, que provoca una leve inflamación para mejorar la presentación de ese antígeno al sistema inmune. Los principales tipos de vacunas se muestran en la tabla que sigue:

Tabla 3: Tipos de vacunas para diferentes enfermedades.

Tipo de vacuna	Enfermedades
<b>Viva atenuada:</b> son microbios sometidos a distintos métodos que conducen a la pérdida de su patogenicidad, conservando su capacidad de reproducción de manera transitoria en el hospedero.	Sarampión, paperas, poliomielitis (Sabin), rotavirus, rubeola, tuberculosis, varicela y fiebre amarilla.
<b>Desactivada o muerta:</b> son patógenos a los que se desactiva su capacidad de multiplicación mediante calor o sustancias químicas manteniendo los epítopos de sus moléculas antigénicas.	Cólera, gripe, hepatitis A, poliomielitis (Salk) y rabia.
<b>Toxoide:</b> utiliza exotoxinas bacterianas que han sido desactivadas mediante formaldehído originando un toxoide. Al vacunar con ellas se producen anticuerpos llamados antitoxinas que las neutralizan.	Difteria y tétanos.
<b>Subunidad:</b> se usan polisacáridos de la cápsula para generar anticuerpos opsonizantes.	Hepatitis B, tos ferina, neumonía estreptocócica.
<b>Conjugada, ADN y virus recombinante:</b> son vacunas aún en proceso de validación y no se han inoculado al ser humano.	En ensayo clínico.

**Tabla 4:** Calendario actual de vacunaciones en Chile.

Edad	Vacuna	Protege contra
Recién nacido	B.C.G.	Tuberculosis
Dos, cuatro y seis meses	D.T.P.	Hepatitis B, difteria, tétanos, tos convulsiva e infecciones por <i>Hemophilus influenzae</i> B (influenza y meningitis)
	Antipolio	Poliomielitis
1 año	Tresvívica	Sarampión, rubéola y paperas
18 meses	Antipolio (refuerzo) D.T.P. (primer refuerzo)	
4 años	D.T.P. (segundo refuerzo)	
6 años (1° básico)	Tresvívica (refuerzo)	
2° básico Mujeres de 10 a 29 años	Toxoide DT Antirrubéola (refuerzo)	Difteria y tétanos

**Reflexiona****Inmunización**

Considera la información referente a la vacunación y a la importancia de la lactancia para obtener inmunidad y discute con un compañero las siguientes preguntas: ¿Cuál es la importancia de los consultorios en cada comuna?, ¿cuál puede ser el efecto en la salud de las siguientes generaciones que el postnatal se haya extendido hasta los seis meses?

- ◀ Los refuerzos de las vacunas tienen por objetivo mantener la inmunidad frente a las enfermedades.

## 2. ¿Cuál es el tratamiento de las enfermedades infecciosas?

En general, las de origen bacteriano se tratan con antibióticos y las infecciones de origen viral con ciertos medicamentos específicos que inhiben diversos pasos de la replicación viral. Todos los fármacos antimicrobianos y los antiinflamatorios deben ser recetados por un médico, ya que son distintos para cada caso y algunos pueden tener efectos secundarios. Es importante respetar el tiempo de tratamiento y hacerse los exámenes solicitados, puesto que muchos microorganismos crean resistencia a los antibióticos.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. ¿Cuál es la diferencia entre infección subclínica y enfermedad infecciosa?
2. Analiza el gráfico 1 y contesta: ¿A qué tipos de enfermedades infecciosas corresponden los agentes patógenos más virulentos? Fundamenta.
3. ¿Qué actitudes y condiciones ambientales o culturales facilitan la propagación de una enfermedad infecciosa y el desarrollo de epidemias y pandemias?
4. ¿Cuál es la diferencia entre inmunización activa y pasiva, y entre inmunización natural y artificial? Ejemplifica.
5. ¿De qué sirven las vacunas, qué contienen y cómo funcionan?
6. ¿Para qué tipo de enfermedades infecciosas son útiles los antibióticos?, ¿qué precauciones se deben considerar para su empleo?

# ¿Qué sucede cuando se altera el sistema inmune?

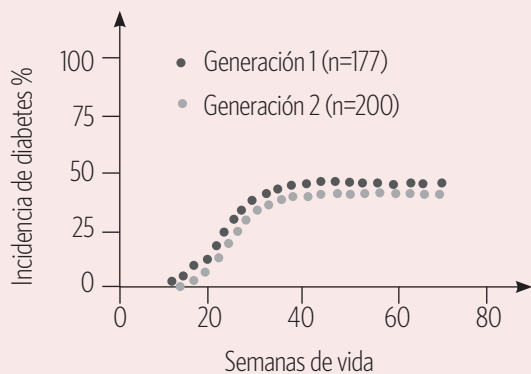
➡ **Debes recordar:** Método científico - Interpretación de datos - Obtención de conclusiones

## Trabaja con lo que sabes

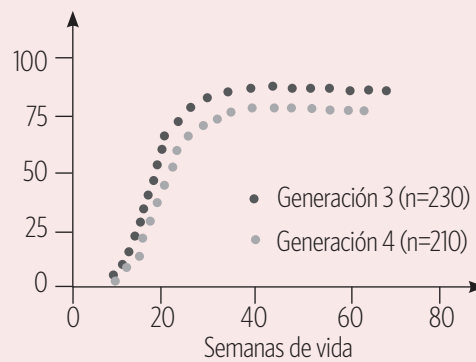
1. Analiza e interpreta la siguiente información y luego responde las preguntas.

Se ha postulado que el contacto temprano del sistema inmune con microorganismos es un factor que previene la ocurrencia de enfermedades de origen inmunológico durante la vida. Al respecto, se efectuó un experimento con ratas diabéticas de la cepa NOD, que son animales que desarrollan tempranamente diabetes tipo I, enfermedad autoinmunitaria en la que se destruyen las células productoras de insulina del páncreas. Las ratas fueron criadas en dos modalidades, con y sin contacto con gérmenes. Los resultados se muestran en los siguientes gráficos.

**Gráfico 3:** Ratas criadas en condiciones normales.



**Gráfico 4:** Ratas criadas en un ambiente libre de gérmenes.



- a. ¿Qué grupo de ratas presentó una mayor incidencia de diabetes tipo I?
- b. ¿Qué hipótesis puedes plantear para explicar los resultados?
- c. ¿Qué otros estudios podrías efectuar para comprobar tu hipótesis?
- d. ¿Qué importancia para la población tiene efectuar este tipo de estudios?

## Propósito de la lección

Los mismos mecanismos que nos protegen de los microbios pueden ser responsables del desarrollo de graves enfermedades. En esta lección conocerás las alergias y enfermedades autoinmunitarias en las que el propio sistema inmune produce daño en los tejidos. También aprenderás sobre situaciones en las que el sistema inmune es deficiente, provocando que los pacientes padezcan enfermedades infecciosas recurrentes.

### 1. ¿Cómo daña la respuesta inmune a nuestro organismo?

Las respuestas efectoras adaptativas humoral y celular, con la complicidad de mecanismos de la inmunidad innata, pueden dañar los tejidos al generar una inflamación liberando histamina, mediante la activación del complemento o por efecto de los linfocitos T. Cuando esta respuesta es consecuencia del reconocimiento de antígenos no propios se produce **hipersensibilidad (HS)**, y cuando ocurre a raíz del reconocimiento de antígenos propios se trata de **enfermedades autoinmunitarias (EAI)**.



## 1.1 ¿Cómo produce daño el sistema inmune?

Se han descrito cuatro mecanismos de daño inmunológico. En el **tipo I**, anticuerpos IgE se unen a células cebadas, las que liberan histamina provocando una inflamación aguda. En el **tipo II**, los anticuerpos se unen a células propias que presentan el antígeno y las destruyen mediante el sistema complemento. En el **tipo III**, se forman complejos antígeno-anticuerpo solubles (por ejemplo, ADN-anti ADN) que, al quedar atrapados en los vasos sanguíneos pequeños, activan al complemento y producen inflamación. Finalmente, en el **tipo IV**, el daño es producto de la acción de los LT CD4+ que activan macrófagos y de los LT CD8+ que matan células propias. Estos cuatro mecanismos de daño operan en HS mientras que en enfermedades autoinmunitarias solo participan los mecanismos de daño tipos II, III y IV.

### a. Hipersensibilidad

La hipersensibilidad más frecuente en la población es la alergia o **reacción tipo I anafiláctico-reagínica**, que afecta a individuos **atópicos**, es decir, aquellos que tienen una predisposición genética a padecer alergias. Cerca del 25 % de la población chilena presenta esta condición. Entre las enfermedades producidas por este mecanismo de daño inmunológico están la rinitis alérgica o fiebre de heno, el asma bronquial alérgico, la urticaria y el shock anafiláctico. Los antígenos responsables de estas respuestas se denominan **alérgenos**.

### Conexión con

#### Historia de la ciencia

En 1900, los científicos franceses Charles Robert Richet y Paul Portier investigaban buscando la vacuna contra la toxina transmitida por la picadura de la medusa “carabela portuguesa” o “agua mala”. Inyectaron pequeñas dosis de la toxina en perros y vieron con estupor que luego de inyectarles una segunda dosis de refuerzo, los animales presentaban vómitos, diarrea, asfixia y morían. Llamaron a esta reacción anafilaxis, para señalar el efecto contrario a la profilaxis o protección. En 1913, C. Richet recibió el Premio Nobel por la descripción de la anafilaxis.



### Para saber +

- Las células cebadas o mastocitos se forman en la médula ósea y se ubican cerca de los vasos sanguíneos. Su citoplasma contiene gránulos de diversas sustancias, entre ellas histamina y heparina.



▲ Células cebadas. Se pueden observar los gránulos en su citoplasma.

### Apunte

Alergia: reacción de los tejidos ante la presencia de histamina liberada en el contexto de una respuesta inmune de hipersensibilidad que provoca daño tisular y que se gatilla por la presencia de antígenos no dañinos.

- ◀ En un individuo que ha sido previamente picado por abejas puede ocurrir un shock anafiláctico, ya que ha quedado sensibilizado a moléculas que acompañan al veneno de este insecto. Debe ser atendido con prontitud en un centro asistencial.



▲ Pelos de gatos y sustancias de los mariscos son algunos alérgenos comunes.



▲ La dermatitis por contacto de tipo IV es causada por LT CD4+ y CD8+, no por anticuerpos. Surge a raíz del uso de objetos metálicos, guantes de goma, cosméticos, cremas y detergentes. Crédito Wikimedia commons

• **¿Cómo desarrollamos una reacción alérgica?**

En una primera **etapa de sensibilización**, una persona aspira, traga o recibe un alérgeno por vía cutánea. Este es captado en el lugar de ingreso por células presentadoras de antígeno que viajan a linfonodos cercanos. Allí, linfocitos TCD4 vírgenes lo reconocen y se diferencian del linfocito TCD4 H2, el cual interactúa con un linfocito B que ha captado el mismo alérgeno. Mediante la liberación de una citoquina (IL-4), lo induce a transformarse en célula plasmática y secretar IgE. Este anticuerpo se une a receptores para su fragmento Fc ubicados en las células cebadas de los tejidos, generalmente cercanos al lugar de ingreso del antígeno. En esta etapa no hay síntomas; sin embargo, la persona queda sensibilizada a ese antígeno. Cuando esa persona se pone nuevamente en contacto con el mismo alérgeno se producen diversos síntomas, dependiendo de la vía de ingreso del alérgeno y de la zona que quedó sensibilizada.

**Tabla 5:** Algunas manifestaciones de las alergias.

Presentación	Síntoma	Alérgenos
Asma	Dificultad respiratoria momentánea causada por la obstrucción de las vías respiratorias, debido a la contracción de los músculos lisos bronquiales e hipersecreción de mucus.	Ácaros, pelos de perros y gatos, algunas variedades de polen, plumas, polvo, entre otros.
Rinitis	Descarga nasal, estornudos, lagrimeo, conjuntivitis.	
Eczema	Afección cutánea, con placas rojas más o menos edematosas, y con descamación.	
Urticaria	Erupción cutánea relativamente evolutiva y prurito.	Alimentos como leche, fresas, mariscos, productos químicos, (colorantes o polivinilos), variados medicamentos (antibióticos, anestésicos).

Fuente: Programa de Estudio Biología Cuarto Medio. MINEDUC, 2001. Página 122.

- **¿Cómo ocurren sus síntomas?**

Si el alérgeno ingresa nuevamente en el organismo de la persona sensibilizada, entonces se inicia la **etapa sintomática**. El alérgeno es captado por los anticuerpos IgE, ubicados en la membrana de las células cebadas. Esta unión produce cambios bioquímicos en su interior, los que conducen a la liberación de la histamina contenida en sus gránulos. Este compuesto dilata los capilares y aumenta su permeabilidad, causando la salida del plasma y de células inflamatorias, especialmente polimorfonucleares neutrófilos y muchos eosinófilos, hacia el tejido circundante. Además, la histamina produce una fuerte contracción de la musculatura lisa y aumenta la secreción de mucus. A raíz de este proceso se produce una inflamación que lleva a la formación de gran cantidad de exudado. Estos cambios dan cuenta de los signos y síntomas de las enfermedades que hemos nombrado.



▲ Edema de la conjuntiva debido a la fiebre del heno.  
Crédito: Wikimedia Commons



▲ Urticaria en la espalda de un hombre.  
Crédito: Wikimedia Commons

### Para saber +

- Los individuos que tienen predisposición a desarrollar alergia se denominan atópicos. Esta condición está determinada por un componente hereditario y por factores ambientales. Los hijos de atópicos tienen una alta probabilidad de ser también atópicos, lo que aumenta aun más si toman contacto a temprana edad con alérgenos. Los atópicos sintetizan mayores cantidades del anticuerpo IgE y tienen un predominio de respuestas mediadas por el linfocito TCD4 H2. La cantidad de individuos atópicos en la población está aumentando, especialmente en los países de altos ingresos y se relaciona inversamente con la incidencia de enfermedades infecciosas.

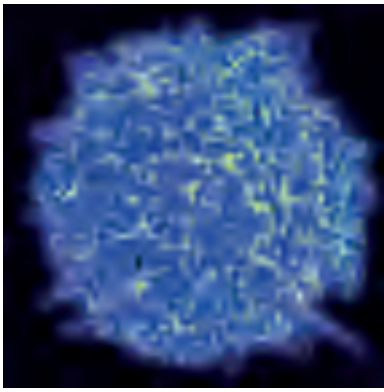
### Actividad 5

Organizar la información sobre...

#### Las alergias

Elabora un organizador gráfico o un dibujo en el que estén presentes, al menos, los siguientes fenómenos descritos para la alergia:

- Activación de linfocitos por células presentadoras de antígenos.
- Transformación del linfocito B en célula plasmática y secreción de IgE.
- Interacción entre IgE y células cebadas.
- IgE de las células cebadas captan el alérgeno.
- Las células cebadas liberan histamina.
- Inicio de una respuesta inflamatoria.



▲ Microscopía electrónica de barrido de linfocito T.  
Crédito: Wiki Commons

### Apunte

Ontogenia: desarrollo del individuo, referido en especial al período embrionario.

Clon de linfocitos: conjunto de linfocitos que comparten la misma información genética y, por ende, reconocen al mismo antígeno.

## b. Tolerancia inmunológica y enfermedades autoinmunitarias (EAI)

La tolerancia inmunológica es un tipo de respuesta inmune que consiste en no eliminar a los antígenos propios. Esto se traduce en que, normalmente, el sistema inmune no genera respuestas efectoras humorales y/o celulares frente a células y moléculas propias. El hecho de que el sistema inmune no ataque a las células del propio cuerpo se produce porque el sistema inmune no elimina antígenos propios ya que los reconoce y genera una respuesta de tolerancia frente a ellos, es decir, no se manifiesta en anticuerpos o células efectoras capaces de eliminarlos. La tolerancia a lo propio se adquiere mediante dos mecanismos: **tolerancia central**, que se produce por eliminación de linfocitos autorreactivos durante la ontogenia, y **tolerancia periférica**, que consiste en la no activación de clones autorreactivos inducida por el antígeno o por acción de linfocitos reguladores que inhiben la respuesta efectora.

La tolerancia, al ser una respuesta inmunológica, es específica, radica en los linfocitos T y B y es transitoria. Esto quiere decir que linfocitos autorreactivos que están en tolerancia frente a antígenos propios pueden dejar de estarlo y generar respuestas autoinmunitarias que suelen producir enfermedades de mucha gravedad.

La **autoinmunidad** es una respuesta inmune adaptativa con especificidad para antígenos propios. Se produce cuando linfocitos T y/o B, al reconocer a antígenos propios, generan una respuesta inmune efectora que se manifiesta como daño a los tejidos. Estas enfermedades afectan a entre el 3 % y el 5 % de la población, y con mayor frecuencia a las mujeres. Son enfermedades crónicas, progresivas y producen daño en algunos órganos específicos, o bien, en el organismo en general.

En la mayoría de las enfermedades autoinmunes se desconoce la causa de la pérdida de tolerancia de los linfocitos hacia algunos antígenos propios; sin embargo, se han descrito varios mecanismos posibles:

- exposición de antígenos que normalmente están ocultos a los linfocitos por lo que no se ha generado tolerancia a ellos. Por ejemplo, el humor vítreo del ojo, el tejido testicular y el tejido del sistema nervioso central;
- mimetismo molecular, al presentar algunos tejidos propios antígenos muy similares a los de patógenos. El sistema inmune se confunde y al responder frente a los microorganismos daña también dichos tejidos.

**Tabla 6:** Algunos ejemplos de enfermedades autoinmunes y sus consecuencias.

Enfermedad autoinmune	Auto anticuerpos	Consecuencia
Tiroiditis de Hashimoto.	Anti-TPO o anti- tirope- roxidasa; anti-TG o anti-tiroglobulina.	Inflamación de la glándula tiroides, hipotiroidismo.
Enfermedad de Graves.	Anti-TSH-R (receptor para la hormona estimu- ladora de tiroides).	Hiperestimulación del receptor para TSH que lleva a hipertiroidismo.
Miastenia grave.	Anti-receptor de acetilcolina en placa neuromotora.	Debilidad muscular progresiva.
Diabetes tipo I.	Anti-células beta (productoras de insulina).	Escasa o nula producción de insulina, por lo que no ingresa glucosa (energía) a las células.
Lupus eritematoso sistémico.	Anticuerpos anti-ADN, anti-eritrocitos, anti- plaquetas, anti- fosfolípidos y otros.	Glomerulonefritis, anemia, artritis, lesiones a la piel, alteraciones del sistema nervioso central, del sistema digestivo y otros.

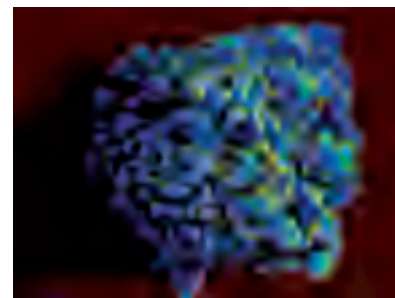


▲ La tiroiditis de Hashimoto, una enfermedad autoinmune, puede manifestarse con bocio: un abultamiento en la base del cuello, debido al aumento de volumen de la tiroides. Gentileza doctor Nelson Wohllk.

## 2. Inmunodeficiencias

El sistema inmune puede presentar deficiencias en su estructura y/o función. En las **inmunodeficiencias congénitas**, se producen alteraciones durante el desarrollo intrauterino que conducen a la falta o falla de componentes del sistema inmune. Se puede afectar la respuesta humoral, la respuesta celular o ambas. Asimismo, puede haber fallas en los mecanismos propios de la respuesta innata. Los recién nacidos con estas alteraciones sufren infecciones repetitivas que, en ocasiones, son incompatibles con la vida.

Las **inmunodeficiencias adquiridas** pueden ser **transitorias** o **progresivas**. Entre las transitorias se cuentan las deficiencias presentes después de infecciones virales, como el sarampión y la varicela, o como consecuencia de tratamientos médicos inmunosupresores. La infección por el VIH que conduce al síndrome de inmunodeficiencia adquirida es la inmunodeficiencia progresiva más relevante debido a la alta tasa de mortalidad que presenta.



▲ Linfocito T infectado con VIH.

**Para saber**

- El sida se describió por primera vez en 1981 en poblaciones de homosexuales en California. Desde entonces se ha constituido en pandemia. La OMS estimó el año 2008 que en el mundo existen 33,4 millones de personas VIH positivas, cerca de 20 % más que el año 2000. Ese año fallecieron por esta enfermedad 1,7 millones de adultos y 280 000 niños menores de 15 años, siendo las regiones más afectadas África y Asia.



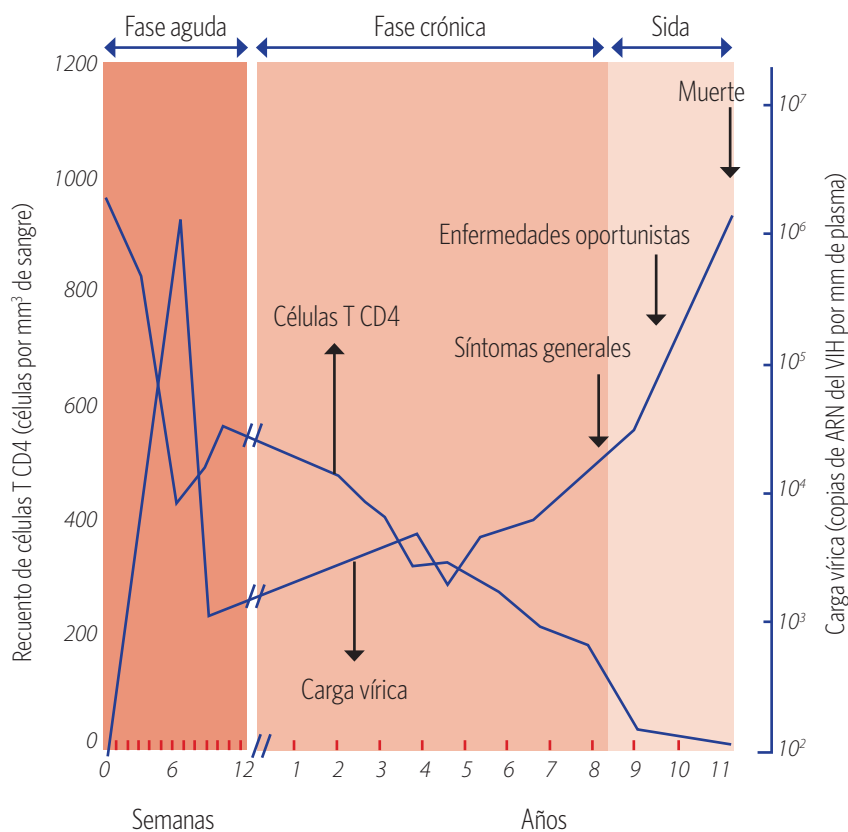
▲ El 1° de diciembre es el Día Mundial de la Lucha contra el Sida. El lazo rojo es su símbolo.

• **Infección y desarrollo del sida**

Las personas se pueden infectar con el VIH a través de relaciones sexuales, compartiendo jeringas en el uso de drogas endovenosas o verticalmente durante el embarazo. La transmisión del virus se produce por contacto con sangre, leche, semen o exudado vaginal de un individuo infectado.

El retrovirus VIH compromete al sistema inmune al infectar a linfocitos TCD4+, células dendríticas y macrófagos. Ingresa a estas células a través del receptor CD4, se transcribe de ARN a ADN y se integra al genoma celular. Ante la presencia del virus se producen respuestas humorales y celulares citotóxicas que mantienen una viremia baja durante ocho a diez años. Sin embargo, el VIH permanece en estos reservorios durante toda esta etapa de latencia clínica hasta que el número de linfocitos TCD4 se hace tan escaso que ya no es posible eliminar a los patógenos que usualmente invaden al organismo. Los pacientes comienzan a padecer diversas enfermedades infecciosas que los conducen a la etapa de sida y, finalmente, a la muerte.

**Gráfico 5:** Curso clínico de la infección por VIH.



- **Prevención del sida**

La forma más importante de prevenir infecciones por VIH, a gran escala, es la modificación de las conductas de riesgo de la población, tales como las prácticas sexuales no protegidas y la inyección de drogas endovenosas.

Si bien la única conducta totalmente eficaz para prevenir el contagio del virus del sida es la abstinencia sexual, estudios demuestran que muchos adolescentes mantienen una vida sexual activa. Por esto, es necesario comprender la importancia de llevar a cabo una sexualidad segura, que promueva una pareja sexual única y el uso correcto del preservativo, como medidas que disminuyen el riesgo de contagio con el VIH.



- ◀ La identificación de genes de resistencia, junto con el conocimiento aportado por el proyecto genoma humano y las técnicas del ADN recombinante, aparecen como una nueva alternativa de tratamiento para el sida.

### Reflexiona

#### Prevención del sida

Las campañas informativas dirigidas hacia los grupos de riesgo, como por ejemplo la población heterosexual adolescente o las personas que abusan de las drogas, dan buenos resultados. Sin embargo, toda la población debe estar bien informada y, para obtener mejores resultados, las campañas preventivas deben también considerar la influencia que pueden tener los líderes de grupo al respecto. ¿Crees que si los alumnos que son líderes en tu curso, quizás tú mismo, son instruidos sobre el sida, podrán transmitir lo aprendido al resto del grupo y lograr una reducción de las conductas de riesgo?

140



Opina, en no más de 140 caracteres, acerca del valor del respeto a sí mismo y a los demás como base de las conductas que ayudan a prevenir el sida.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. ¿Qué tienen en común y en qué se diferencian las respuestas de hipersensibilidad y la respuesta autoinmunes?
2. Si los padres son atópicos, ¿qué medidas podrían tomar para evitar que sus hijos desarrollen episodios alérgicos?
3. ¿Por qué el contacto con gérmenes en las primeras etapas de la vida parece disminuir el riesgo de contraer enfermedades autoinmunes?
4. ¿Es posible que alguien, saludable hasta este momento, comience a generar una enfermedad autoinmune? Fundamenta.
5. ¿Cuál es la diferencia entre inmunodeficiencias congénitas y adquiridas?
6. En conjunto con tus compañeros, inventa la historia completa de un joven que se infecta con el VIH. Considera el trato que le da la familia y el entorno social al joven, y cómo su nueva condición cambia su proyecto de vida.

# ¿Cómo es posible evitar el rechazo de los tejidos trasplantados?

➡ **Debes recordar:** Tolerancia inmunológica - CMH

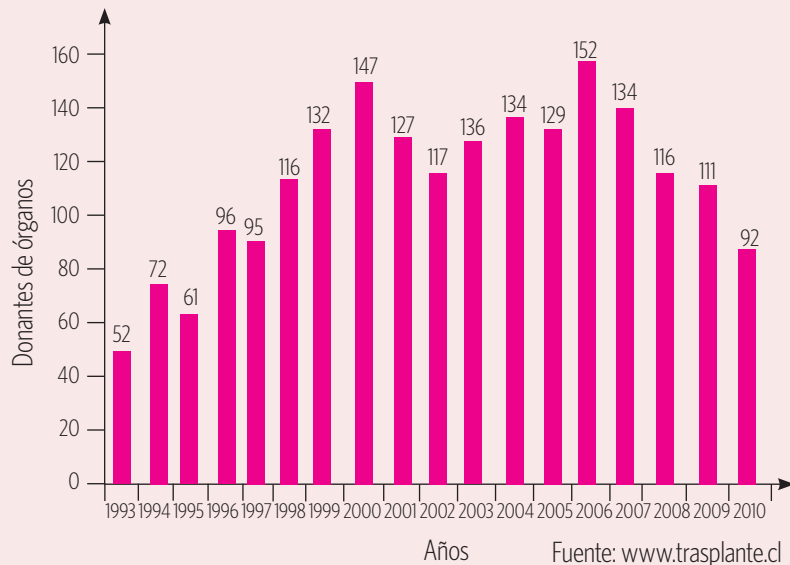
## Trabaja con lo que sabes

1. Observa el gráfico que muestra la cantidad de donantes de órganos que ha habido en Chile en los últimos años, y la tabla de los tipos de trasplantes realizados, y responde las preguntas en tu cuaderno.

**Tabla 7:** Total de trasplantes acumulados por órgano en Chile entre 1992 y 2010 (donante cadáver).

Órgano	Total
Riñón	3 657
Hígado	828
Corazón	218
Pulmón	100
Páncreas	19
Intestino	1

**Gráfico 6:** Donantes de órganos (Chile, 1992-2010).



- a. Propón una hipótesis que explique la disminución en el número de donantes a partir de 2006.
- b. ¿Qué importancia tienen las campañas que promueven la donación de órganos?
- c. ¿Qué factores médicos y sociales piensas que explican el hecho de que el número de trasplantes de riñón supere significativamente al de otros órganos, como hígado, corazón o pulmones?

## Propósito de la lección

En esta lección conocerás la relevancia del conocimiento acumulado por la inmunología y del desarrollo de la medicina para permitir al ser humano trasplantar órganos y tejidos, sin que el sistema inmune los rechace.

### Inter@ktividad

- Ingresa a [www.recursostic.cl/lbm310](http://www.recursostic.cl/lbm310). Conocerás aspectos generales de la ley de donación de órganos. Analízala y utiliza una red social para comunicar tus comentarios.

## 1. Trasplante de órganos y rechazo inmune

Algunas enfermedades que afectan a determinados órganos del cuerpo son tan severas y agresivas que la única solución para el paciente es un trasplante. El éxito del trasplante de un órgano o del implante de un tejido depende, en primer lugar, de los genes del CHM que comparten el donante y el receptor. Mientras más emparentados estén, menor es la probabilidad de rechazo del trasplante, es decir, que el sistema inmune del receptor ataque al tejido trasplantado.



- **¿De qué manera se trata el rechazo de órganos trasplantados?**

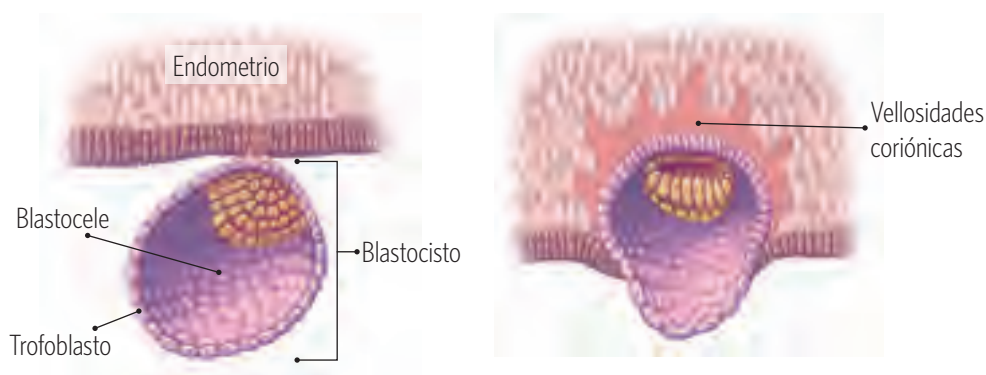
El tratamiento incluye el uso de **drogas inmunosupresoras**, es decir, drogas que disminuyen la intensidad de la respuesta inmune del organismo al detectar un elemento extraño, en este caso, el órgano trasplantado. Uno de los modelos que mayor atención han recibido en el último tiempo para elaborar nuevas estrategias que impidan el rechazo de órganos es el **feto humano**. El feto es un **injerto de tejido extraño** (o **aloinjerto**) a la madre que, a pesar de tener genes CMH de origen paterno, es tolerado por el sistema inmune de esta última.

Entre las causas que explican la tolerancia inmunológica del feto por parte de la madre se encuentran la estructura y función de la **placenta**. La zona de contacto placentaria entre los tejidos materno y fetal (trofoblasto) no expresa las proteínas del CMH, lo que impide su reconocimiento por los linfocitos T maternos y, consecuentemente, el rechazo del tejido fetal. Además, las células del trofoblasto participan activamente en la inhibición indirecta de la actividad de las células T maternas, gracias a la secreción de una enzima, la indolamindioxigenasa, que cataboliza triptófano, un aminoácido esencial para la nutrición de los linfocitos T.

### Reflexiona

#### Biotecnología

La biotecnología permite desarrollar, a partir de células indiferenciadas (como las células del cordón umbilical o de otros tejidos embrionarios), tejidos que pueden ser luego trasplantados a los pacientes que los necesiten. La meta es generar órganos completos. Revisa la lección 3 de la unidad anterior y comenta: ¿Cuáles son los pros y los contras de la aplicación de este tipo de técnicas?



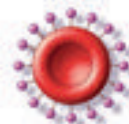









▲ Implantación del blastocisto en el endometrio.

## 2. Transfusiones sanguíneas, un caso especial de trasplante

Cuatro grupos sanguíneos resultan de la combinación de dos antígenos (A y B) y de la presencia de anticuerpos en el plasma. El grupo sanguíneo O carece de antígenos A y B. A partir de esta información, se pueden llevar a cabo transfusiones compatibles, evitando las combinaciones que reúnan al antígeno del donante con el respectivo anticuerpo del receptor.

**Tabla 8:** Compatibilidad sanguínea en el sistema ABO.

Fenotipo (grupo sanguíneo)	Genotipo (alelos presentes)	Antígenos específicos de los glóbulos rojos	Anticuerpos en el plasma sanguíneo	Reacción del antígeno con:	
				Anticuerpo anti A	Anticuerpo anti B
 O	OO	No	 Anticuerpo anti A Anticuerpo anti B	No	No
 A	AA, AO	 A	 Anticuerpo anti B	No	Sí
 B	BB, BO	 B	 Anticuerpo anti A	Sí	No
 AB	AB	 A y B	No	Sí	Sí



▲ El 14 de junio de cada año es el Día Mundial del Donante de Sangre.

▲ De la tabla se desprende que, por ejemplo, una persona del grupo A no puede donar sangre a otra del grupo B, pues en el plasma del receptor hay ciertas sustancias proteicas (anticuerpos) llamadas aglutininas anti A, que causan la unión irregular (aglutinación) de los glóbulos rojos con el antígeno A, lo que puede producir trastornos graves y, eventualmente, la muerte.

• **¿Qué otros antígenos presentan las células sanguíneas?**

Luego del descubrimiento del sistema ABO, se han identificado otros antígenos que también se deben tener en cuenta al llevar a cabo una transfusión sanguínea, para reducir la posibilidad de rechazo por incompatibilidad. Entre los antígenos más importantes se encuentra el factor Rh. Su nombre se debe a que fue identificado en la superficie de los eritrocitos de un tipo de mono, el macaco Rhesus. Dependiendo de la presencia o ausencia de este antígeno, las personas se clasifican como Rh positivas (Rh+) o Rh negativas (Rh-), respectivamente. En condiciones normales, las personas no tienen anticuerpos contra este antígeno en el plasma.

### • Eritroblastosis fetal, un caso especial de incompatibilidad

Una situación especial es la incompatibilidad sanguínea durante el embarazo. Para entenderla, se debe considerar que la herencia del factor Rh sigue un patrón mendeliano, en que la condición Rh<sup>+</sup> domina sobre la Rh<sup>-</sup>. Sucede cuando una madre Rh<sup>-</sup> gesta un hijo Rh<sup>+</sup>. En estos casos, durante el embarazo, principalmente en los últimos meses en que parte de los glóbulos rojos del feto pueden pasar a la circulación materna por pequeños defectos de la membrana placentaria, o en el momento del parto, cuando la sangre materna y la fetal se mezclan, existe la posibilidad de que la madre se inmunice, a causa del factor Rh presente en los eritrocitos fetales y ausente en los de la madre, lo que determina la producción de anticuerpos anti factor Rh.

Los anticuerpos anti Rh producidos por la madre pueden atravesar la placenta y destruir los glóbulos rojos del feto. El desenlace de esta situación puede ser fatal, incluso poco antes del nacimiento o tiempo después de ocurrido este. Este problema se conoce como **eritroblastosis fetal** o **anemia hemolítica del recién nacido**. El riesgo de esta condición de incompatibilidad materno-fetal aumenta en los próximos embarazos, si es que los nuevos hijos también son Rh<sup>+</sup>. Esto se debe a que la madre ha producido anticuerpos contra el factor Rh, los que pueden cruzar la placenta y destruir los glóbulos rojos del siguiente hijo, e incluso desencadenar una respuesta inmune más intensa. En casos extremos, las alternativas terapéuticas consideran la realización de **transfusiones de sangre intrauterinas**.

Actualmente, la estrategia que se emplea es preventiva y consiste en tratar a la madre Rh<sup>-</sup> que ha dado a luz un hijo Rh<sup>+</sup> con un **suero (antisuero)**, que contiene anticuerpos contra los antígenos de los glóbulos rojos fetales. De esta manera, se destruyen las células sanguíneas fetales que quedan en el torrente sanguíneo materno y que tienen el antígeno, y con ello se evita la estimulación del sistema inmune de la madre. El plazo máximo para inyectar el antisuero es de 72 horas después del parto, ya que después de este período la madre ya ha sido sensibilizada.

A



Glóbulos rojos que llevan el antígeno Rh



Anticuerpos maternos contra el antígeno Rh

B



- ▲ Representación de la eritroblastosis fetal. A. Última etapa del primer embarazo. B. Última etapa del segundo embarazo.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

1. ¿Por qué se deben restringir las visitas al trasplantado y usar mascarillas cuando se comparte con él?
2. ¿Por qué para realizar un trasplante se recurre a parientes cercanos del paciente? Explica.
3. Analiza la tabla 8 y responde las preguntas.
  - a. ¿Cuántas combinaciones genéticas determinan a cada grupo sanguíneo?
  - b. ¿Qué grupo sanguíneo corresponde al dador universal?, ¿y cuál al receptor universal?
  - c. ¿Por qué no son importantes los anticuerpos del donante en una transfusión?
4. ¿Cuáles son las causas de la eritroblastosis fetal, sus riesgos y tratamientos?



## La utilización de anticuerpos monoclonales en el tratamiento del cáncer de mama femenina

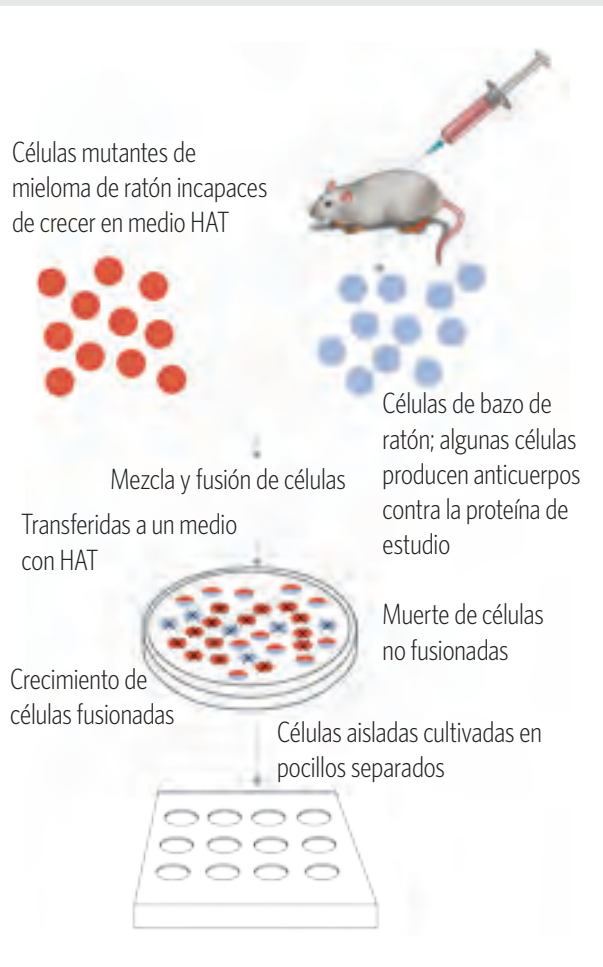
### ¿Cuál es la situación de las mujeres chilenas con respecto al cáncer de mamas?

El cáncer es la segunda causa de muerte en términos globales en Chile, lo que significa que es responsable de la muerte de una de cada cinco personas. El cáncer de mama ocupa el segundo lugar de mortalidad por cáncer en la mujer, después del cáncer de vesícula biliar, y presenta una tasa de 13 por cada 100 000 habitantes. Para graficarlo más certeramente, digamos que cada día mueren alrededor de 26 mujeres por algún tipo de cáncer, cada tres horas se diagnostica un nuevo caso de cáncer de mama y cada año se producen alrededor

de 3 000 casos nuevos. El tratamiento convencional de esta enfermedad se basa en la cirugía, la radioterapia y la quimioterapia. A estos procedimientos se ha sumado una nueva alternativa basada en la aplicación de anticuerpos monoclonales (AcM). Esta nueva terapia biotecnológica está dirigida contra un tipo de cáncer que afecta a cerca de un tercio de las pacientes, en las que las células malignas tienen abundantes receptores para factores de crecimiento en su membrana, llamados HER2. Al unirse el receptor con el factor de crecimiento, las células cancerosas crecen y se multiplican de manera descontrolada.

**Tabla 9:** Pasos para la producción de anticuerpos monoclonales.

1.	Inmunización. Se inyecta la proteína de estudio a un animal de laboratorio, en este caso el receptor HER2 o el factor de crecimiento. De esta manera, los linfocitos B del animal se activan y comienzan a dividirse y a generar células plasmáticas capaces de producir anticuerpos específicos contra la proteína inyectada.
2.	Producción de hibridomas. Las células plasmáticas son fusionadas con células tumorales del mieloma -cáncer de médula-, el que conserva la propiedad del linfocito B de producir anticuerpos específicos y la capacidad de la célula del mieloma de replicarse en cultivo, pudiendo mantenerse en forma indefinida.
3.	Selección de células híbridas. Los hibridomas son cultivados en un medio denominado HAT. En este medio, solo las células híbridas pueden sobrevivir, por lo tanto, se eliminan las células tumorales y las células plasmáticas no fusionadas.
4.	Identificación de células productoras de anticuerpos. Todas las células sobrevivientes en el medio de cultivo HAT son híbridas. De esta manera, se obtienen grandes cantidades de anticuerpos de ratón con una única especificidad (anticuerpos monoclonales).



Utilizando la ingeniería genética, se puede reemplazar gran parte de la región constante del anticuerpo de ratón por secuencias de anticuerpos humanos, generando las quimeras y los anticuerpos humanizados.

**Tabla 10:** Distribución porcentual de incidencia del cáncer de mama en el sistema público según estadio, Chile 2000-2009.

Estadio al diagnóstico	Año									
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
In situ	3,6	3,6	4,9	5,0	4,8	7,2	8,1	8,5	8,4	8,6
Etapa I y II	43,1	64,0	58,4	64,8	64,6	63,8	62,0	63,5	60,6	60,8
Etapa III	33,9	24,1	23,4	23,9	23,7	22,2	23,8	21,4	23,6	23,3
Etapa IV	19,1	6,7	11,9	5,1	5,4	5,6	5,1	5,5	5,5	5,3
Sin inf.	0,4	1,6	1,3	1,2	1,4	1,2	1,0	1,1	1,9	2,0
N° de casos año	1 693	1 803	2 105	2 160	2 222	2 453	2 635	2 436	2 764	2 729

Fuente: Ministerio de Salud. (2009). *Pauta de Evaluación Programa Cáncer de Mama, Unidad de Cáncer.*

▪ **¿Cómo actúan los anticuerpos monoclonales (AcM)?**

Al unirse específicamente al receptor HER2 o a su ligando, el factor de crecimiento, los AcM inhiben o retrasan el crecimiento de las células cancerosas. Pueden también mejorar la respuesta inmune contra las células cancerosas al permitir la citotoxicidad mediada por anticuerpos. También aumenta la presentación de antígenos cancerosos al sistema inmune al estar opsonizados por estos anticuerpos, obteniéndose una respuesta inmune

que rechace las células malignas. Finalmente, se puede unir fármacos anticancerosos o radioisótopos (moléculas radiactivas) para que su acción sea específica para las células malignas. Algo así como un misil teledirigido.

El resultado de este y de todos los tratamientos en términos de sobrevida dependen en gran medida de la etapa en que se encuentra el desarrollo de la enfermedad, lo que acentúa la necesidad de su diagnóstico precoz.

**Actividad**

1. Analiza la tabla 10 e indica qué proporción de las mujeres está siendo diagnosticada precozmente. ¿Cómo se podría mejorar esta estadística?
2. ¿Cómo es posible obtener grandes cantidades de anticuerpos específicos contra células cancerosas en laboratorio?
3. Busca en la página [www.canceronline.cl](http://www.canceronline.cl) y en la Guía Clínica del Cáncer de Mama, publicada por el Ministerio de Salud, información acerca de los factores de riesgo y sobre el autoexamen del cáncer de mama y, junto con un par de compañeros, preparen un afiche o un tríptico informativo para distribuir en el colegio o la comunidad.



### Organiza lo que sabes

Revisa en tu cuaderno el organizador gráfico que creaste en la sección *Evalúo mi progreso* anterior, y utilízalo como base para diseñar un nuevo organizador. Incluye en él, al menos, diez de los conceptos de la siguiente lista. Esta vez, hazlo en una cartulina o papelógrafo, para que lo puedas exponer y discutir con tus compañeros.

agente patógeno	enfermedades infecciosas	inmunización pasiva	alergia	
receptor universal	epidemias	inmunodeficiencias	rechazo inmune	
autoinmunidad	eritroblastosis fetal	inmunodeficiencias adquiridas		
sida	células cebadas	hipersensibilidad	inmunodeficiencias congénitas	
tolerancia	donante universal	histamina	lactancia	tratamiento
drogas inmunosupresoras	inmunización activa	pandemia	vacunación	
endemia	inmunización artificial	patogenicidad	VIH	virulencia
enfermedades autoinmunitarias		inmunización natural	prevención del sida	

### Evaluación de proceso

1. ¿Qué acciones cotidianas ayudan a prevenir el contagio de enfermedades? (2 puntos).
2. Indica a qué tipos de inmunización corresponden los siguientes ejemplos: inyección de inmunoglobulinas, producción de anticuerpos al estar enfermo, traspaso de anticuerpos de la madre al feto a través de la placenta. (3 puntos).
3. Propón un ejemplo para la categoría faltante en la pregunta anterior y explica su funcionamiento. (6 puntos).
4. ¿Qué significan los conceptos alérgeno e individuo atópico? (4 puntos).
5. Describe las siguientes interacciones: alérgeno y linfocito T CD4+; linfocito T CD4 H2 y linfocito B y entre las IgE y las células cebadas. (3 puntos).
6. ¿Por qué se producen los síntomas típicos de las alergias? (3 puntos).
7. ¿Por qué nuestro sistema inmune, en condiciones normales, no ataca a las células del organismo? (3 puntos).
8. ¿Cuál de las enfermedades autoinmunes descritas te parece más grave? Fundamenta. (3 puntos).
9. Responde las siguientes preguntas acerca del sida. (4 puntos).
  - a. ¿Qué tipo de inmunodeficiencia es?
  - b. ¿Cómo se transmite?
  - c. ¿A qué células ataca el virus?
  - d. ¿Cómo se puede prevenir?

10. ¿Por qué el sistema inmune rechaza los órganos y tejidos trasplantados? ¿Cómo se puede disminuir la posibilidad de que esto ocurra? (4 puntos).
11. ¿Qué consecuencias puede tener en la salud de una persona A Rh- que se le transfunda sangre en las siguientes situaciones? Explica cada caso. (6 puntos).
- Recibe sangre, por segunda vez, de un dador O Rh+.
  - Recibe sangre de un dador AB Rh-.
  - Recibe sangre de un dador B Rh-.

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Describir la utilización de terapias preventivas y curativas para la erradicación y tratamiento de las enfermedades infecciosas.	1, 2 y 3	_____/11	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #fff9c4; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
Explicar el funcionamiento de la respuesta inmune en las alergias, la autoinmunidad y el sida.	4 a 9	_____/20	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #fff9c4; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>
Explicar el funcionamiento de los mecanismos defensivos en los trasplantes de órganos y de sangre.	10 y 11	_____/10	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #f44336; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #fff9c4; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4caf50; margin-bottom: 5px;"></div> </div>

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

### Lección 1: ¿Cuáles son los principales microorganismos patógenos?

- Un microorganismo patógeno puede provocar enfermedades infecciosas en el hospedero. Entre ellos hay algunas bacterias (unicelulares procariontes), hongos y protozoos (unicelulares eucariontes), además de virus (agregados moleculares de ácidos nucleicos y proteínas) y priones (proteínas).
- La patogenicidad de las bacterias y su resistencia a los antibióticos están ligadas a procesos que aumentan su variabilidad genética. Su pared celular contiene moléculas que desencadenan la respuesta inmune.



- Los virus son parásitos obligados, por esto son responsables de una gran cantidad de enfermedades. Los virus están formados por material genético rodeado por una cápside y un manto. Contienen las enzimas necesarias para copiar su material genético y para ensamblar las nuevas partículas virales. Los retrovirus como el VIH contienen ARN y transcriptasa inversa.

### Lección 2: ¿Cuáles son nuestras defensas?

- Nuestra especie y los patógenos hemos coevolucionado: nosotros para defendernos y ellos para burlar nuestras defensas.

- El cuerpo tiene tres líneas de defensa contra los ataques microbianos. La primera consiste en barreras externas e inespecíficas, como la piel y las mucosas. La segunda incluye la fagocitosis, la inflamación y la fiebre. La tercera es el sistema inmune. Las dos primeras corresponden a la inmunidad innata inespecífica y la tercera, a la inmunidad adaptativa específica.

### Lección 3: ¿Qué hacen las células y las moléculas del sistema inmune?

- La capacidad del sistema inmune de distinguir entre lo propio y lo no propio, el origen de nuestra individualidad macromolecular, radica en el Complejo Mayor de Histocompatibilidad (CMH). Los genes de clases I y II se expresan en la membrana celular y los de clase III codifican proteínas solubles que participan en la respuesta inmune.
- La identidad molecular radica en los antígenos codificados por el CMH clase I porque cada persona tiene una combinación de alelos única e irrepetible.
- Se distinguen células inmunes en permanente vigilancia (LT, LB y células NK) y células presentadoras de antígenos (dendríticas, macrófagos y LB).
- Entre las moléculas inmunes están las de reconocimiento; en la inmunidad innata son los Prr y en la inmunidad adaptativa, los BCR y TCR. En la activación participan las citoquinas y en la respuesta efectora, los anticuerpos, citoquinas y sistema de complemento.



### Lección 4: ¿Cómo se desarrolla la respuesta inmune adaptativa?

- El tipo de respuesta inmune dependerá de la ubicación de los antígenos (exógenos o endógenos).
- La activación de los linfocitos requiere de dos señales diferentes, la presencia de antígeno y citoquinas. Luego, en la fase de proliferación se multiplican y después se diferencian en células efectoras y de memoria.
- La respuesta humoral está a cargo de las inmunoglobulinas (Ig) o anticuerpos. Gracias al proceso de recombinación existen millones de receptores y anticuerpos distintos, entonces un antígeno selecciona los linfocitos con receptores específicos para él y los induce a formar un clon de células secretoras de ese anticuerpo (teoría de la selección clonal).
- La respuesta celular ataca a patógenos intracelulares, donde no pueden llegar los anticuerpos. Se caracteriza por la participación de los LT CD8, en la respuesta celular citotóxica, y los LT CD4 en la DTH.
- La memoria inmunológica se obtiene cuando se produce una respuesta inmune adaptativa frente a cualquier antígeno.

### Lección 5: ¿Cómo podemos prevenir y tratar las enfermedades infecciosas?

- La prevención consiste en aplicar medidas de cuidado e higiene y de inmunización. Esta última puede ser activa o pasiva, ambas en forma natural o artificial.
- En la vacunación se reciben antígenos de un patógeno y una sustancia llamada adyuvante, lo que genera inmunidad artificial activa.

### Lección 6: ¿Qué sucede cuando se altera el sistema inmune?

- Un sistema inmune alterado puede ocasionar hipersensibilidad (alergia) o enfermedades autoinmunes, las que ocurren cuando se ha perdido la tolerancia inmunológica.
- El sistema inmune puede presentar deficiencias en su estructura y/o función. Las inmunodeficiencias pueden ser congénitas o adquiridas, y estas últimas transitorias o progresivas, como el sida.

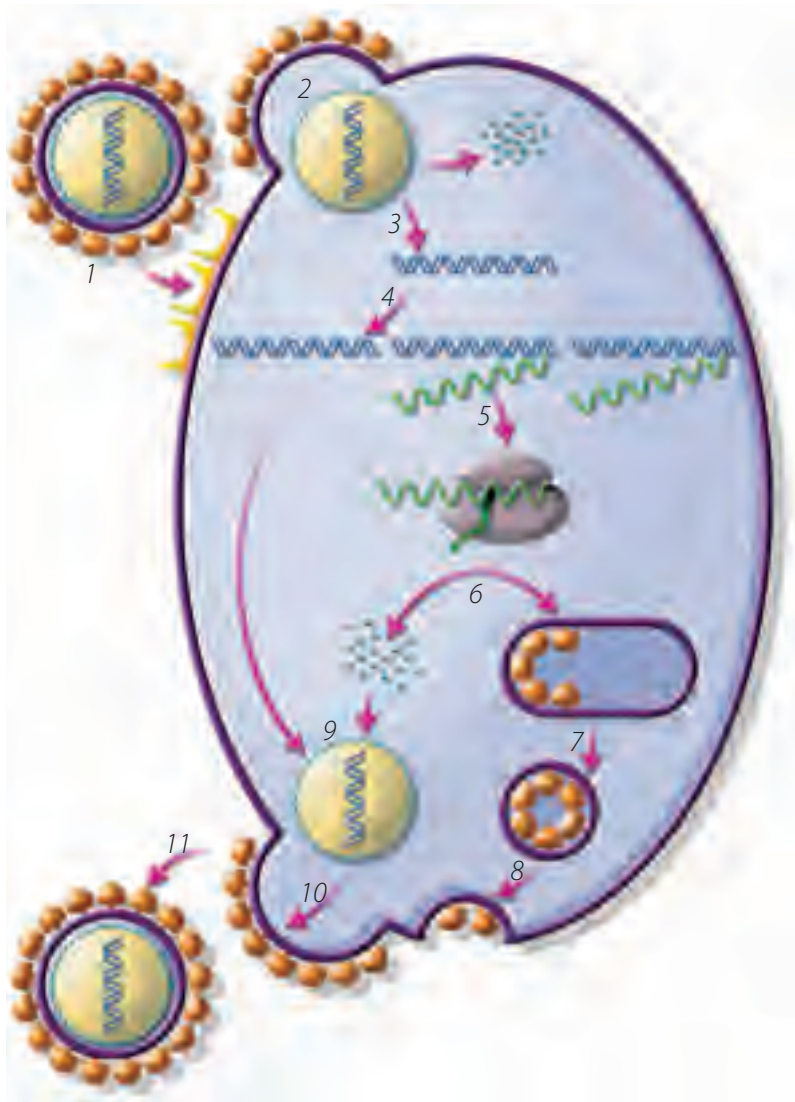


### Lección 7: ¿Cómo es posible evitar el rechazo de los tejidos trasplantados?

- El éxito del trasplante depende de los genes del CMH que compartan el donante y el receptor. Mientras más emparentados estén, menor es la probabilidad de rechazo.
- Los eritrocitos carecen de proteínas del CMH, pero tienen antígenos específicos que determinan cada uno de los grupos sanguíneos.
- Un caso especial de rechazo es la eritroblastosis fetal que afecta a hijos Rh+ de madres Rh-.

Utiliza lo aprendido durante esta unidad para contestar las siguientes preguntas:

1. A partir de lo que conoces acerca de las bacterias, responde. (6 puntos).
  - a. ¿Qué estructuras son comunes en las células procariontes y eucariontes? ¿En cuáles difieren?
  - b. ¿Dónde están, de preferencia, los componentes bacterianos que son reconocidos por el sistema inmune?
2. Compara la estructura de la pared celular de bacterias Gram positivas y Gram negativas, señalando diferencias y semejanzas. (3 puntos).
3. Observa el esquema y responde las preguntas. (12 puntos).
  - a. ¿Cuál es el proceso representado?
  - b. Describe lo que sucede en las etapas indicadas con números.
  - c. ¿Por qué se dice que los virus son parásitos obligados?
  - d. El mismo tipo de virus de la ilustración, ¿puede infectar a cualquier célula del organismo? Explica.
  - e. ¿Qué le sucede al funcionamiento de la célula, mientras está siendo infectada?
  - f. ¿Cuál es el final que le espera a una célula infectada?
  - g. ¿Qué diferencia al ciclo representado del que corresponde a un retrovirus?



4. En la siguiente tabla, compara la inmunidad innata y la adaptativa. (4 puntos).

	Inmunidad innata	Inmunidad adaptativa
Tiempo que tarda en responder		
Específica o inespecífica		
Tipos de receptores		
Tiene memoria		

5. Indica en qué caso actúa la respuesta inmunitaria inespecífica y en cuál la específica, y explica cada proceso mediante un esquema. (6 puntos).

- a. Una infección local de una bacteria Gram negativa que causa una inflamación.
- b. Un herpes labial causado por el virus herpes simple tipo 1.

6. Acerca del complejo de histocompatibilidad mayor (CMH), responde. (6 puntos).

- a. ¿Por qué es diferente en cada ser humano?
- b. ¿Cuáles son los aspectos comunes y los diferentes entre CMH clase I y CMH clase II?

7. En tu cuaderno, realiza un cuadro resumen que señale la función de cada uno de los siguientes componentes de la inmunidad: piel, membranas mucosas, citoquinas, interferones, sistema del complemento, células dendríticas, linfocitos T, linfocitos B, anticuerpos y células asesinas. (10 puntos).

8. ¿Cómo influye la ubicación de los antígenos en el desarrollo de la respuesta inmune? (2 puntos).

9. ¿Qué tipos celulares tienen CMH clase I y cuáles CMH clase II? ¿Con qué linfocitos interactúan? (3 puntos).

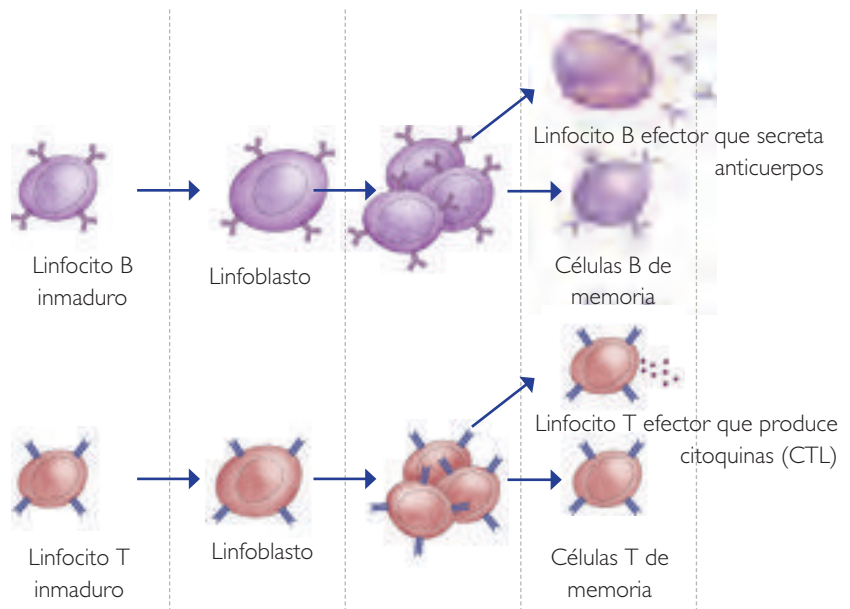
10. Analiza el esquema que representa las fases de las respuestas producidas por linfocitos y luego responde las preguntas. (5 puntos)

a. Describe cómo se produce la activación de los linfocitos.

b. ¿Qué sucede en la fase de proliferación?

c. ¿Qué células se forman en la etapa de diferenciación?

d. ¿Cuál es la función de las células diferenciadas?



## Evaluación final de Unidad

11. ¿Cómo nuestro sistema inmune logra producir anticuerpos específicos para cada antígeno? (4 puntos).
12. Describe los efectos de los anticuerpos sobre el antígeno. (3 puntos).
13. Compara la inmunidad humoral y la inmunidad celular en los siguientes aspectos: células inmunes que participan, moléculas defensivas que producen y tipo de célula sobre la que operan. (3 puntos).
14. ¿En qué consiste la memoria inmunológica?, ¿por qué es tan importante para nuestra sobrevivencia? (3 puntos).
15. Explica qué acciones generales, que involucren al medio y a tu organismo, puedes realizar para prevenir infecciones. (3 puntos).
16. Elabora un esquema que represente las etapas de producción de una vacuna, compara tu esquema con el de otros compañeros y elaboren en conjunto uno que recoja el aporte de todos. Generen un debate en torno a las limitantes que enfrentan estos procedimientos. (8 puntos).
17. Se sabe que una persona nace con la predisposición genética para ser alérgica; sin embargo, es el medio ambiente el que determina los alérgenos a los que estamos expuestos y, así, a qué sustancias nos sensibilizamos. ¿Se puede ser alérgico a sustancias con las que nunca se ha tenido contacto?, ¿cómo podrían explicarse las alergias en los recién nacidos?, ¿se puede presentar una reacción alérgica a un medicamento que se toma por primera vez? (6 puntos).
18. ¿Cuáles son las características de la diabetes tipo I y del lupus?, ¿cuáles pudieran ser sus causas? (4 puntos).
19. ¿Cuáles pueden ser las causas y consecuencias de la inmunodeficiencia? (2 puntos).
20. Analiza el gráfico 5 de la página 308 y contesta: ¿Qué ocurre con la cantidad de linfocitos T CD4 y la cantidad de virus (carga vírica) en cada una de las etapas?, ¿cómo se explican estas variaciones?, ¿qué valor aproximado debe alcanzar el recuento de linfocitos T CD4 para diagnosticar el sida?, ¿qué factores pueden influir en la extensión de la fase crónica? (8 puntos).
21. ¿Por qué se produce el rechazo inmune en los trasplantes de órganos? (4 puntos).
22. Analiza lo que sucede en la eritroblastosis fetal. ¿Por qué la producción de anticuerpos de la madre se restringe principalmente a los últimos meses del embarazo o al momento del parto?, ¿por qué el segundo hijo Rh positivo tiene mayor probabilidad que el primero de ser atacado por los anticuerpos maternos? (4 puntos).

## Me evaluó

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos
Caracterizar las principales categorías de agentes patógenos.	1, 2 y 3	12 o menos	13 a 17	18 o más
Describir la interacción entre los agentes patógenos y los sistemas defensivos del organismo.	4 y 5	4 o menos	5 a 7	8 o más
Explicar en qué radica nuestra identidad molecular y las funciones de las principales células y moléculas que participan en la respuesta inmune.	6 y 7	9 o menos	10 a 13	14 o más
Explicar la correspondencia entre las cualidades de la respuesta adaptativa y las características del agente patógeno.	8 a 14	13 o menos	14 a 19	20 o más
Describir la utilización de terapias preventivas y curativas para la erradicación y tratamiento de las enfermedades infecciosas.	15 y 16	5 o menos	6 a 8	9 o más
Explicar el funcionamiento de la respuesta inmune en las alergias, la autoinmunidad y el sida.	17 a 20	11 o menos	12 a 16	17 o más
Explicar el funcionamiento de los mecanismos defensivos en los trasplantes de órganos y de sangre.	21 y 22	3 o menos	4 a 5	6 o más



Por lograr



Logrado parcialmente




Logrado totalmente

Unidad

# 8

# Biodiversidad

A person wearing a blue raincoat and a hood is standing in a dense, lush green forest. The person is looking upwards and to the right. The forest is filled with various types of trees and ferns, creating a rich, textured background.

El bosque valdiviano posee una belleza singular, constituida por especies únicas que atraen tanto a turistas como a científicos. También es una fuente importante de recursos naturales, los que han sido explotados desde siempre por las comunidades. En el siglo pasado se inició un incremento de la actividad forestal sobre este bosque, la que ha influido en el desarrollo económico del país, pero también ha generado cambios que amenazan su existencia. Por tal motivo, se han creado áreas de protección y normativas que intentan preservarlo. En esta unidad aprenderás qué es la biodiversidad y cómo y por qué debemos protegerla.

## ¿Qué piensas?

Reúnete con tres compañeros y discute las siguientes preguntas. Luego, un representante del grupo comunicará sus conclusiones ante el curso.

- ¿Por qué es importante evitar que el bosque valdiviano desaparezca?
- ¿Qué medidas tomarías tú para cuidar este bosque, pero al mismo tiempo permitir el desarrollo económico?
- ¿Sabes de algún otro lugar de Chile cuya existencia también esté amenazada? Describe la situación.



## Aprenderás a ...

### Lecciones

- 1** ¿Cuál es nuestra biodiversidad? — Explicar el concepto de biodiversidad y su importancia para diferentes ámbitos humanos.  
Describir las características generales de la biodiversidad en Chile.
- 2** ¿Está amenazada la biodiversidad? — Identificar las principales amenazas que afronta la biodiversidad.  
Explicar el concepto de desarrollo sustentable.
- 3** ¿Afecta el crecimiento poblacional humano al desarrollo sustentable? — Analizar el problema del crecimiento poblacional humano a nivel mundial, en relación con las tasas de consumo y los niveles de vida.
- 4** ¿Cómo el cambio climático afecta a la biodiversidad? — Describir los efectos del calentamiento global en el ambiente y en las relaciones entre los organismos.

# ¿Cuál es nuestra biodiversidad?

► **Debes recordar:** **Evolución - Biodiversidad - Ecosistema**

## Trabaja con lo que sabes

1. Revisa la lección 1 de la unidad 4 y la lección 4 de la unidad 5 y explica la relación entre el concepto de biodiversidad y los conceptos de evolución y de especiación.
2. Observa las imágenes asociadas, ¿las dos corresponden a ecosistemas?
3. Piensa en un ecosistema de tu región y realiza las siguientes actividades:
  - a. Nombra cinco poblaciones presentes en él y describe su relación con elementos bióticos y abióticos.
  - b. Describe los usos que da el ser humano a algunos de los componentes del ecosistema.



▲ Bosque del sur de Chile.



▲ Halcón.

## Propósito de la lección

En las unidades 4 y 5 aprendiste cómo la evolución ha permitido la formación de nuevas especies y es, por lo tanto, el origen de la biodiversidad de especies. En esta lección conocerás sus niveles, su importancia y las características que presenta en Chile.

### 1. ¿Qué entendemos por biodiversidad o diversidad biológica?

La biodiversidad es una característica de la vida, relacionada con la variedad y variabilidad de todos los organismos vivos. Incluye tres niveles: **genético**, **taxonómico** y **ecológico**.

- **Diversidad genética:** corresponde a la variación de los genes de una población biológica y entre poblaciones.
- **Diversidad taxonómica:** se refiere a la cantidad de especies y número de individuos de cada una de estas.
- **Diversidad ecológica:** compuesta por los diferentes ecosistemas que conforman la biosfera, poseen un flujo característico de energía y materia entre ecosistemas.



## 1.1 ¿Cuál es la importancia de la biodiversidad?

Nuestra especie, como todas, forma parte de una compleja red de relaciones con otros componentes de la biodiversidad; su progreso sociocultural siempre ha dependido y dependerá de su interacción con el ambiente y con otras especies. Debido a lo anterior, las consecuencias de las alteraciones en la organización de los elementos que constituyen la biodiversidad son difíciles de predecir.

Además de su valor intrínseco, la biodiversidad entrega beneficios directos e indirectos, estos últimos surgen a partir del flujo de materia y energía de los ecosistemas.

- **Beneficios directos:** fuente de alimentos, materias primas y recursos genéticos (biotecnología).
- **Beneficios indirectos:** control de la erosión, purificación y almacenamiento de agua por plantas y microorganismos y polinización y dispersión de semillas.

### Minitaller

#### Proponer preguntas de investigación acerca de la biodiversidad

Formular preguntas puede ser el inicio de futuras investigaciones científicas, gracias a las cuales será posible comprender los fenómenos naturales. Muchas veces, producto de esa comprensión, el ser humano modifica su manera de relacionarse con la naturaleza.

#### Lo que debes hacer

Resuelve la primera pregunta y, luego, junto con un compañero, desarrolla las otras dos actividades.

1. Identifica a qué nivel de la biodiversidad corresponde cada una de las siguientes preguntas de investigación:
  - a. ¿Qué genes alelos se reconocen en una población?
  - b. ¿Cuál es la densidad y distribución de las poblaciones?
  - c. ¿Cómo son los hábitats de las poblaciones?
  - d. ¿Cómo fluye el nitrógeno en el ecosistema?
  - e. ¿Cómo es el flujo genético entre poblaciones?
2. Piensa en la biodiversidad que te rodea y formula una pregunta de investigación para cada uno de sus tres niveles.
3. ¿Cuál podría ser la importancia de responder las preguntas de investigación planteadas?

### Para saber +

- La importancia de la biodiversidad, en términos económicos, se ve reflejada en los aportes a la economía nacional. De acuerdo con el documento Estrategia Nacional de Biodiversidad Febrero 2005, emanado por la Comisión Nacional de Medio Ambiente, cerca del 20 % del Producto Interno Bruto (PIB) corresponde a los sectores primarios de minería, agricultura y pesca.

Las exportaciones representan un 30 % del PIB, de ellas un porcentaje importante son recursos naturales o derivados de ellos, de este modo la minería representa el 44 %, la agricultura el 14 %, el sector forestal el 13 % y la pesca el 9 %, totalizando 80 % frente a solo el 20 % correspondiente al sector industrial.

Se suma a lo anterior una creciente industria turística basada en la gran diversidad de ecosistemas de nuestro país.

Adaptado de:

<http://www.mma.gob.cl>



- ▲ La actividad forestal es una importante fuente de divisas para el país.

## Para saber +

- El humedal Batuco, es un humedal continental ubicado al norponiente de la Región Metropolitana; en él habitan muchas aves acuáticas residentes y migratorias. Mientras que el humedal Tubul-Raqui, ubicado en la Provincia de Arauco, Región del Biobío, es uno de los humedales costeros más grandes. Este humedal tiene una gran variedad de aves migratorias en la primavera y una abundante fauna residente. La población vecina cultiva el pelillo (*Gracilaria spuntosa*), un alga empleada en la industria alimenticia, farmacológica y cosmética. Además, alberga yacimientos fosilíferos y sitios arqueológicos.



▲ Humedal de Batuco.

## 2. Biodiversidad de ecosistemas

Un ecosistema no es un fenómeno natural en sí mismo, sino que es una unidad de estudio cuyos límites los establece quien realiza la investigación de los procesos naturales que en él suceden. Esta unidad de estudios ecológicos se compone de un complejo dinámico de comunidades biológicas y su medio abiótico, que interactúan intercambiando materia y energía.

Usualmente, los ecosistemas se clasifican en los siguientes tipos generales:

- **Humedales:** un humedal es un área donde el suelo está inundado permanente o estacionalmente, el agua tiene poca profundidad y puede ser salada o dulce. Son ecosistemas muy importantes debido a que cumplen con muchas funciones, entre ellas: depurar el agua, reponer las aguas subterráneas, mitigar el cambio climático, proteger contra las tormentas, estabilizar las costas, retener y exportar sedimentos y nutrientes, controlar las inundaciones y constituir grandes reservas de biodiversidad. En Chile, los humedales son **costeros** o **continentales**.
- **Terrestres:** ocupan solo el 29 % de la superficie de nuestro planeta y son el hábitat principal de nuestra especie. Su clasificación es compleja, pero en general, se acepta que la vegetación predominante es la que los define, debido, entre otras razones, a que permite el ingreso de energía al ecosistema y son los organismos productores. Por ejemplo, en nuestro país se encuentra el ecosistema de bosque y matorral esclerófilo, ubicado en Chile central. Se caracteriza por su clima mediterráneo y por albergar la mayor parte de la población del país.



▲ Desierto de Atacama.



▲ Bosque lluvioso del sur de Chile.

- **Marinos y costeros:** entre los ecosistemas terrestres costeros y marinos existe un continuo intercambio de materia y energía, por ejemplo, a través de los sedimentos que llegan al mar o de la fauna que vive en ambos ambientes. Los ecosistemas costeros se expanden hasta treinta metros de profundidad y están muy influenciados por fenómenos terrestres y por las actividades humanas. Chile tiene una de las líneas costeras más extensas del mundo: sumadas todas las irregularidades de su contorno se superan los 50 000 kilómetros, donde hallamos playas, bahías, fiordos y desembocaduras de ríos.

Las cualidades de los ecosistemas marinos dependen en gran medida de la topografía submarina y de las corrientes marinas, pues influyen en las especies que los habitan. Se clasifican de distinta manera, por ejemplo según las principales corrientes marinas (como el ecosistema de la corriente de Humboldt), o bien por su profundidad, por ejemplo, pelágicos, neríticos, bentónicos y abisales.



- ▲ Representantes de la fauna de un ecosistema costero, uno de los más afectados por la actividad humana.

### Para saber +

- Las especies marinas se clasifican en bentónicas, si viven en el fondo marino, y en pelágicas, si habitan el océano abierto, las que pueden ser planctónicas, si flotan a la deriva o nectónicas, si nadan.



- ▲ Las ballenas son especies marinas pelágicas y nectónicas.

### Inter@ctividad

- Ingresa a [www.recursostic.cl/lbm329](http://www.recursostic.cl/lbm329) e identifica los ecosistemas marinos según su profundidad y busca ejemplos de especies chilenas para cada categoría. Luego, realiza un esquema de los diferentes ecosistemas descritos y sus especies representativas.

## Actividad 1 Identificar e investigar los...

### Tipos de ecosistemas de tu región

1. Identifica en un mapa de tu región la ubicación de al menos dos de los tipos generales de ecosistemas descritos. Luego, busca cinco ejemplos característicos de su fauna y flora.

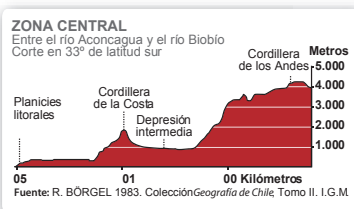
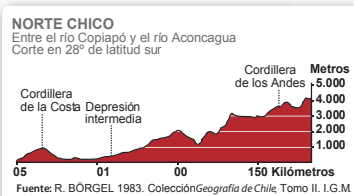
**Apunte**

Especies nativas: son aquellas que se formaron y pertenecen a una determinada región o ecosistema, por lo que están bien adaptadas a él. Una especie nativa es endémica solo si se encuentra en una región específica.

**Conexión con**

**Geografía**

Las cualidades físicas del ambiente influyen decisivamente en las características de la biodiversidad de la región; por ejemplo, en una misma latitud el gradiente de altitud o la cercanía al mar influyen en la distribución o características de una población. En un corte transversal del relieve de nuestro país se identifican cuatro macroformas, las que varían sus características a lo largo del país. Estas son la cordillera de los Andes, la depresión intermedia, la cordillera de la Costa y las planicies litorales.



▲ Perfil transversal del Norte Chico y de la Zona Central de Chile. Fuente: R. Börgel 1983. Colección Geografía de Chile, Tomo II. I.G.M.

**3. Biodiversidad taxonómica de Chile**

Chile, debido a su amplio rango de latitudes, su relieve y variedad de climas, presenta una vasta diversidad de ambientes que sustentan múltiples ecosistemas. El aislamiento geográfico en el que naturalmente se han desarrollado las poblaciones que ocupan el territorio, ha limitado el flujo génico entre ellas y ha posibilitado que en nuestro país exista una particular riqueza de **especies endémicas**, es decir, especies que son exclusivas de un área geográfica. De este modo, de las poco más de 30 000 especies nativas presentes en Chile, cerca de un 25 % de ellas son endémicas.

**Tabla 1:** Cantidad aproximada de especies nativas descritas para Chile.

Grupo de organismos	Nº de especies descritas
Diatomeas	563
Dinoflagelados, silicoflagelados	300
Hongos	3 300
Líquenes	1 074
Plantas no vasculares (musgos y hepáticas)	1 400
Plantas vasculares	5 000
Invertebrados	15 726
Vertebrados	2 003

Fuente: www.mma.gob.cl (Adaptación).

**3.1 Hotspot chileno**

Un *hotspot* o punto caliente de biodiversidad es un área geográfica en la que abundan especies endémicas y que está experimentando un rápido deterioro de sus hábitats. En el mundo se han definido treinta y cuatro *hotspots*, nueve de los cuales están en América y uno de ellos en Chile y parte de Argentina. El *hotspot* chileno se extiende desde la Región de Atacama hasta la Región de Aysén, e incluye el archipiélago Juan Fernández. En él se encuentran, entre otros ecosistemas, el bosque lluvioso valdiviano, los bosques de *Nothofagus*, el bosque esclerófilo y los matorrales típicos del área climática mediterránea de Chile central, los desiertos del Norte Chico y la flora altoandina.



▲ Las araucarias crecen en los suelos rocosos de la cordillera de los Andes, en condiciones ambientales muy rigurosas.

**Tabla 2:** Resumen de la biodiversidad taxonómica en el *hotspot* chileno.

Grupo de organismos	Total de especies	Especies endémicas
Plantas vasculares	3 893 (*)	1 957
Anfibios	43	29
Reptiles	41	27
Mamíferos	64	13
Aves	226	12
Peces	43 (*)	2 (**)

Cantidad de especies presentes el *hotspot* chileno. (\*) Especies nativas (\*\*) Familias endémicas.

Fuente: [www.mma.gob.cl](http://www.mma.gob.cl) (Adaptación).



▲ Los líquenes se forman por la asociación mutualista de algas y hongos.



▲ Las alpacas, las vicuñas, llamas y guanacos son camélidos sudamericanos.



▲ El pájaro carpintero es un habitante de los bosques nativos de Chile.  
Gentileza de Florentino Alvarado F.



▲ Muchas especies de anfibios chilenos están amenazadas, debido a que los humedales y lagunas donde suelen habitar son alterados por el ser humano.

**Antes de seguir,** utiliza lo aprendido

1. ¿Qué es la biodiversidad y cuáles son sus tres dimensiones?
2. ¿Por qué es importante la biodiversidad? Expresa tres razones.
3. Comparte tus resultados de la actividad 1 con un grupo de compañeros y completa la información acerca de los tipos de ecosistemas que hay en tu región. Clasifica las especies investigadas según los criterios de la tabla 1 y las especies que los habitan.
4. ¿Por qué una parte importante de nuestro territorio es considerado un *hotspot*?

# ¿Está amenazada la biodiversidad?

► **Debes recordar:** Extinciones masivas - Evolución

## Trabaja con lo que sabes

Observa los animales de las fotografías y contesta las preguntas.

1. Revisa el gráfico 7 de la página 170 y describe cómo ha variado la biodiversidad a lo largo de la historia del planeta.
2. ¿Cuáles son las posibles causas de las cinco extinciones masivas registradas?
3. Aplica tus conocimientos sobre la evolución para analizar la siguiente cita y luego responde las preguntas: “El cambio climático producirá probablemente algunos impactos irreversibles. Con un grado de confianza medio, entre el 20 % y el 30 % aproximadamente de las especies consideradas hasta la fecha estarán probablemente más amenazadas de extinción si el calentamiento promedio mundial aumenta en más de 1,5-2,5 °C (respecto del período 1980-1999). Si el promedio de la temperatura mundial aumentara en más de 3,5 °C, las proyecciones de los modelos indican que podrían sobrevenir extinciones masivas (entre el 40 % y el 70 % de las especies estudiadas) en todo el mundo”.

Fuente: IPCC (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pág. 14.

- a. ¿Cuál es la causa de una probable sexta extinción masiva?
- b. ¿Cuántas especies podrían extinguirse?
- c. ¿Cuáles son las probables presiones de selección que actuarán sobre las especies?
- d. ¿Todas las especies correrán el mismo riesgo de extinguirse? Explica.

## Propósito de la lección

En la lección precedente ampliaste tu concepto de biodiversidad y conociste lo especial y valiosa que es, particularmente la de nuestro país. En esta lección conocerás sus principales amenazas y el concepto de manejo sustentable.



▲ Los volcanes son una poderosa fuerza transformadora, en Chile hay cerca de 3 000, volcanes y 500 de ellos están activos. Foto: ONEMI

## 1. Factores que inciden en la pérdida de biodiversidad

Desde su origen, nuestro planeta ha sufrido constantes cambios, debidos, entre otras causas, a su actividad geológica, a variaciones en la inclinación del eje de rotación y a la actividad de los seres vivos. Algunos de estos cambios han significado glaciaciones, elevaciones de cadenas montañosas, variaciones en el nivel y temperatura de los océanos y cambios climáticos en general.

La magnitud y dinámica de los cambios ambientales que sufre el planeta ocasiona una permanente alteración de las condiciones de vida de los organismos que lo habitan y de las relaciones que establecen en el ecosistema, impulsando la evolución de las especies y también su **extinción**.

Al igual que la adaptación y la especiación, la extinción es un proceso natural y más común de lo que pensamos, se estima que el 99,9 % de las especies que poblaron alguna vez el planeta están extintas. Cada vez que se extingue una especie o desaparece una población, se pierde para siempre su patrimonio genético, afectando la biodiversidad genética.

### 1.1 Incidencia humana en la pérdida de la biodiversidad taxonómica

Aunque existen diferentes estimaciones, diversos estudios coinciden en que desde el siglo pasado la tasa de extinción se ha acelerado. Hay coincidencia entre los científicos al afirmar que las principales causas de este incremento en la pérdida de la biodiversidad son la **destrucción** y **fragmentación de hábitats**, la **contaminación**, la **introducción de especies exóticas** y el **cambio climático**. Este último lo estudiaremos en la lección 4.

- **Deforestación:** la deforestación es un proceso que destruye la superficie forestal. Puede deberse a causas naturales, pero generalmente se debe a las talas de bosques, por la industria maderera o para la obtención de suelo para uso agrícola o urbano. Provoca un importante daño al equilibrio de los ecosistemas, pues los bosques son el hábitat de muchas especies, permiten el flujo génico entre las poblaciones y son reguladores del clima, entre otras cualidades.
- **Actividad agropecuaria:** el crecimiento poblacional ocasiona la necesidad de producir más alimento. Como consecuencia de ello, se destruyen hábitats para conseguir terreno cultivable y para la producción animal.

#### Para saber +

- Se estima que en los últimos 500 años, por lo menos 80 especies de mamíferos se han extinguido, de un total de 5 570 especies. Según investigaciones, para las que se han estudiado fósiles de hasta 65 millones de años, la Tierra perdió menos de dos especies de mamíferos por cada millón de años; bastante menos que el ritmo de extinción actual de un mamífero cada seis años.



- ▲ La tala de los bosques provoca la deforestación y la pérdida de hábitat de varias especies.



- ◀ La producción de carne para consumo humano genera diferentes tipos de contaminantes, derivados de los desechos de los animales, los que deben ser tratados adecuadamente.

Para saber +

- Los principales peligros que afronta la biodiversidad del *hotspot* chileno derivan de la ocupación territorial que hace el ser humano; cerca del 17 % de la superficie total del *hotspot* está ocupada por zonas urbanas, plantaciones o terrenos agrícolas.



- ▲ El desarrollo de la agricultura ha provocado un impacto importante en los ambientes naturales.



- ▲ En Chile los incendios forestales son una importante causa de destrucción de hábitats.

- **Especies invasoras:** de manera natural, una especie puede moverse de un ecosistema a otro, pero también el ser humano, intencional o accidentalmente, transporta especies a lugares fuera de su área de distribución natural, a los que difícilmente hubiera llegado por sus propios medios debido a la existencia de barreras geográficas. Una vez establecidas, las especies invasoras pueden dispersarse en la nueva región, donde causan daños o tienen la potencialidad de hacerlo, ya que alteran la composición, estructura y/o procesos de los ecosistemas donde se establecen, por ejemplo interviniendo en las relaciones de depredación y competencia.
- **Contaminación:** la contaminación ambiental es la presencia de cualquier sustancia que provoque algún daño o desequilibrio en un ecosistema, impactando directamente sobre los seres vivos que en él habitan. La presencia de contaminantes en el ambiente tiene relación directa con el aumento de la población humana y su creciente demanda de energía y de bienes de consumo, además de la utilización de combustibles fósiles, producción de basura y desechos industriales, entre otros productos de la actividad humana.



- ▲ La sobreexplotación que hizo la industria ballenera puso en riesgo a esta especie en Chile y en el mundo.



- ▲ El conejo es una especie introducida o exótica en nuestro país.

**Actividad 2** Recopilar información sobre...

**Las causas que afectan la biodiversidad de tu región**

1. Revisa distintas fuentes de información y describe cómo la actividad humana está dañando la biodiversidad taxonómica de tu región.



## 2. Estado de conservación de las especies chilenas

Conocer el estado de conservación en que se encuentran las especies es fundamental para tomar las medidas que permitan su preservación. En Chile y el mundo se emplean criterios técnicos y objetivos para clasificar las especies en diferentes categorías de conservación. En nuestro país, este proceso está regulado por ley y le corresponde a un comité de expertos su desarrollo.

Categoría	Definición del criterio	Ejemplo
Extinguida o extinta	Cuando prospecciones exhaustivas en su hábitat conocido y/o esperado, efectuadas en las oportunidades apropiadas y en su área de distribución histórica, no hayan detectado algún individuo en estado silvestre.	Zarapito boreal ( <i>Numenius borealis</i> ) y tuco-tuco de isla Riesco ( <i>Ctenomys magellanicus dicki</i> ).
Amenazadas	En peligro de extinción	Ruil ( <i>Nothofagus alessandrii</i> ), alerce ( <i>Fitzroya cupressoides</i> ) y loro trichahue ( <i>Cyanoliseus patagonus bloxami</i> ).
	Vulnerable	Chagual chico ( <i>Puya venusta</i> ) y carpintero negro ( <i>Campephilus magellanicus</i> ).
Insuficientemente conocida	Cuando existiendo presunciones fundadas de riesgo, no haya información suficiente para asignarla a una de las categorías de conservación anteriores.	Aguilucho de la puna ( <i>Buteo poecilochrous</i> ) y tortuga boba ( <i>Caretta caretta</i> ).
Fuera de peligro	Cuando haya estado incluida en alguna de las categorías señaladas anteriormente y en la actualidad se la considere relativamente segura por la adopción de medidas efectivas de conservación o en consideración a que la amenaza que existía ha cesado.	Puye ( <i>Galaxias maculatus</i> ) y lagartija lemniscata ( <i>Liolaemus lemniscatus</i> ).
Rara	Cuando sus poblaciones ocupen un área geográfica pequeña, o estén restringidas a un hábitat muy específico que, en sí, sea escaso en la naturaleza. También se considerará "Rara" aquella especie que en forma natural presente muy bajas densidades poblacionales, aunque ocupe un área geográfica mayor.	Pato gargantillo ( <i>Anas bahamensis</i> ) y lagartija de Atacama ( <i>Liolaemus atacamensis</i> ).

De las especies que se han podido obtener registros, cerca de 900 están amenazadas, es decir, caen en la clasificación de vulnerable o en peligro de extinción.

**Inter@ctividad**

- Ingresa a [www.recurstic.cl/lbm336](http://www.recurstic.cl/lbm336), accederás al listado de especies amenazadas y a información específica de cada una, provista por el Ministerio del Medio Ambiente. Prepara una presentación de diapositivas en la que describas las cualidades de cinco especies que habitan en tu región. Luego intercambia tus diapositivas con las de cinco compañeros y preparen una presentación en común.

### 3. Modelos de desarrollo

El estado de conservación de la biodiversidad no solo tiene implicaciones ecológicas, sino que también económicas y culturales. Hoy, el ser humano se enfrenta a un mundo superpoblado, con graves problemas ambientales y enormes desigualdades del reparto de la riqueza, pero no desea frenar su desarrollo. Para lograr este desarrollo se han propuesto diferentes estrategias o modelos: el **desarrollismo**, el **conservacionismo** y el **desarrollo sustentable**.

	Desarrollismo	Conservacionismo
Propuesta para solucionar la crisis medioambiental	No hay que modificar el modelo actual de desarrollo, ya que el ser humano creará soluciones.	Se debe detener el crecimiento económico y el desarrollo industrial y tecnológico.
Principales argumentos	El ser humano siempre ha creado tecnologías que le permiten resolver problemas, por ejemplo: antibióticos, alimentos transgénicos, cultivos hidropónicos y la energía nuclear.	El retorno a una vida menos tecnológica y más próxima a la naturaleza significa un aumento de la calidad de vida.

**Para saber +**

- El copihue (*Lapageria rosea*) es una especie amenazada en algunas regiones del país debido a la disminución de sus polinizadores, como el picaflor y el abejorro; a la fragmentación del bosque nativo, es decir, la transformación de un bosque en varios de menor tamaño aislados entre sí y al aumento de las plantaciones de *Pinus radiata*, una especie muy invasiva introducida para explotar su madera.



▲ Copihue.

### 3.1 Antecedentes del modelo de desarrollo sustentable

- En 1968, científicos se reunieron en Roma para debatir acerca de la crisis medioambiental; fundaron el Club de Roma, que actualmente está compuesto por más de 100 científicos de 53 países.
- En 1972 se celebró en Estocolmo una conferencia internacional sobre el medio humano, a la que acudieron representantes de 113 países.
- En 1987 se publica el informe “Nuestro futuro común” o “Informe Brundtland”, que recoge las conclusiones de la conferencia de 1972; en él se menciona por primera vez el concepto de desarrollo sustentable.
- En 1988 se funda el Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA).
- En 1989 la ONU, siguiendo las recomendaciones del Informe Brundtland, organizó una reunión internacional con dos objetivos centrales: debatir la crisis medioambiental y crear estrategias que permitieran llegar al modelo de desarrollo sustentable.
- La reunión se realizó en 1992 en Río de Janeiro, y es conocida como “Cumbre de Río” o “Cumbre de la Tierra”. Los 179 países asistentes firmaron un programa de acciones para llevar a cabo durante el siglo XXI denominado Agenda 21.

Agenda 21 propone, entre otros puntos, una alianza mundial para la cooperación entre los estados, los sectores claves de las sociedades y las personas, con el fin de proteger la integridad del sistema ambiental y el desarrollo mundial. Chile es uno de los países firmantes de este acuerdo y ha ratificado otros convenios internacionales que promueven el desarrollo sustentable, por lo que nuestro país ha adecuado su legislación y sus instituciones para adaptarse a este modelo de desarrollo.

#### Reflexiona

##### La Cumbre de la Tierra

El siguiente texto es el primer principio de la declaración de la Cumbre de la Tierra, léelo con atención y luego coméntalo con un compañero: “Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza”.

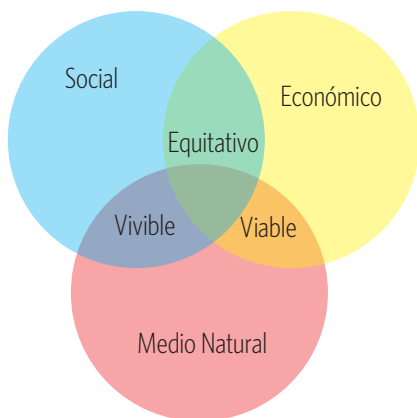
#### Inter@ctividad

- Ingresa a [www.rekursostic.cl/lbm337](http://www.rekursostic.cl/lbm337) ingresarás a la página [chiledesarrollosustentable.cl](http://chiledesarrollosustentable.cl). Debes hallar y revisar los siguientes recursos: Responsabilidad social, Campañas publicitarias, Chile imágenes, Empresas verdes y Noticia país.

140



Comenta en 140 caracteres tu apreciación acerca de uno de los recursos de la página señalada en la sección Inter@ctividad.



▲ Ciclo virtuoso del desarrollo sustentable.

### 3.2 Desarrollo sustentable

En el Informe Brundtland se afirma que el desarrollo del ser humano y la conservación del medio natural son inseparables, no opuestos, y define el desarrollo sustentable como el modelo de desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

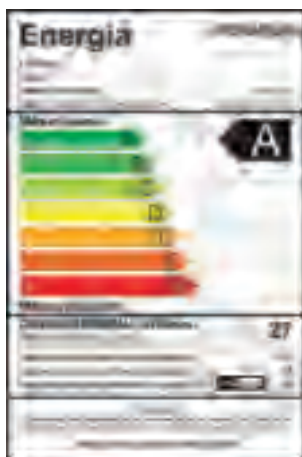
Para lograr el desarrollo sustentable se deben conciliar los aspectos económico, social y ambiental en todas las actividades humanas. Esto implica que se deben implementar cambios tendientes a disminuir la pobreza y la desigualdad social, a mejorar la participación ciudadana y a optimizar los procesos de producción y empleo de energía y de materiales, entre otras acciones. Esto significa que el modelo debe ser asumido por todos los individuos como una responsabilidad personal, y debe guiar los planes de desarrollo elaborados en todos los niveles: regional, nacional e internacional.

### 3.3 Acciones para un desarrollo sustentable

De la naturaleza obtenemos los materiales que nos suministran energía para transformar el mundo natural y hacerlo más acorde a nuestras necesidades. Gracias a ello disponemos de transporte, industrias que fabrican ropa, teléfonos, libros, alimentos, etc.

Aunque contamos con diferentes fuentes de energía, la más utilizada son los combustibles fósiles. Es una fuente no renovable y su empleo produce sustancias dañinas para la salud y para el medio ambiente. Por lo tanto, es necesario tomar medidas correctoras que reduzcan sus efectos nocivos. Por ejemplo:

- Emplear electrodomésticos y ampolletas eficientes.
- Tapar los recipientes mientras se cocina.
- No descongelar los alimentos en el horno de microondas.
- Secar la ropa al sol.
- Aprovechar, tanto como sea posible, la luz natural.
- Cerrar perfectamente las llaves de agua.
- Emplear el transporte público en lugar del automóvil individual.
- Apagar el computador cuando esté inactivo.
- Abrir el refrigerador el menor tiempo posible y no reducir demasiado su temperatura: una reducción de un grado aumenta el consumo energético en cerca de un 5 %.



▲ Etiquetado energético. Un producto clasificado como A suele ser más costoso que uno G. Sin embargo, a largo plazo, su mayor costo se compensa por el ahorro en la cuenta de electricidad.



▲ Las ampolletas de bajo consumo necesitan entre un 50 % y un 80 % menos de energía para producir la misma iluminación que una ampolleta común.

### Conexión con

#### Matemática

¿Cuánto dinero se ahorra en un hogar si usan ampolletas eficientes? Una ampolleta eficiente de 20 watts, ilumina lo mismo que una común de 100 watts.

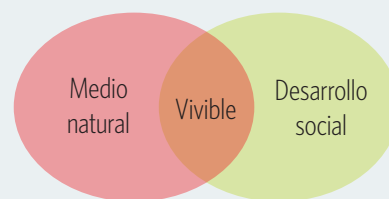
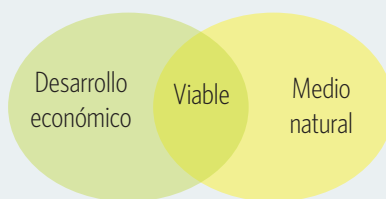
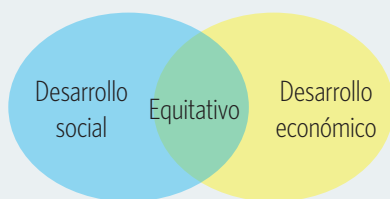
En Chile, la energía eléctrica tiene un costo aproximado de \$120 cada kWh. Al calcular cuánto dinero cuesta obtener luz durante 8 000 horas, con cada una de estas ampolletas se obtiene:

Ampolleta	Consumo (kWh)	Gasto (\$)
Común	100·8 000=120	96 200
Eficiente	20·8 000=120	19 200

Si en un hogar se usa una ampolleta eficiente en vez de una común durante 8 000 horas (cerca de once meses), se ahorraría \$ 76 800.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

- Si está ocurriendo la sexta gran extinción, ¿qué aspectos la diferenciarían de las anteriores?
- ¿Qué consecuencias para la biodiversidad genética y de ecológica puede traer la extinción de una especie?, ¿cómo puede afectar esto al ser humano?
- Utiliza tus palabras para dar una definición sencilla del desarrollo sustentable.
- Explica por qué las siguientes medidas son apropiadas, según el concepto de desarrollo sustentable:
  - Frenar la devastación de las selvas tropicales.
  - Gestionar mejor la actividad pesquera.
  - Consumir racionalmente la energía y los recursos naturales.
- Explica las siguientes relaciones y describe una situación que sirva de ejemplo.



- ¿Por qué crees que toda propuesta de desarrollo sustentable ha de tener en cuenta la pobreza?
- ¿Qué sucede si la población crece más rápido que los recursos económicos?, ¿y al contrario?
- Escribe algunas acciones con las que puedes contribuir a mejorar el medio ambiente.



## Conservación de la biodiversidad en Chile

En 2009, un grupo de expertos en biodiversidad de la Unesco llegó a la alarmante conclusión de que el ritmo de pérdida de la biodiversidad en todo el mundo se ha acelerado en los últimos años, y que será imposible cumplir el compromiso internacional de reducir su descenso.

Por casi cincuenta años, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN)

ha publicado los “Libros Rojos”, listados que categorizan las especies de flora y fauna en diferentes grados de amenaza, y que sirven de base para planes de protección, manejo o restauración. Como se puede apreciar en la tabla 3, una proporción importante de especies chilenas han sido incluidas en alguna de estas categorías de amenaza.

**Tabla 3:** Riqueza específica de flora y fauna en Chile y proporción de especies que han sido sugeridas en algún estatus de conservación comprometida.

Clase	Riqueza específica	% de especies comprometidas
Plantas con flores	5 000	1,2%
Pinos y cipreses	16	12,5%
Helechos	160	73,5%
Musgos	950	No determinado
Hepáticas	350	No determinado
Líquenes	1 380	4,2%
Hongos	3 300	No determinado
Peces continentales	46	95%
Anfibios	51	72%
Reptiles	125	90%
Aves	502	14%
Mamíferos	148	47%

Fuente: Biodiversidad de Chile: Patrimonio y Desafíos. Conama.

En diferentes países, entidades públicas y privadas cuyo propósito es mantener la riqueza de la flora y la fauna propias de las distintas áreas, emplean dos estrategias para conseguirlo: la conservación in situ y la conservación ex situ.

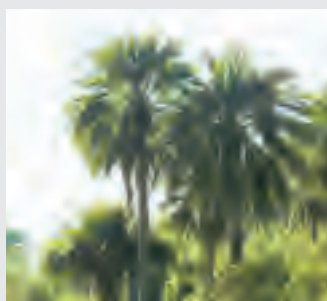
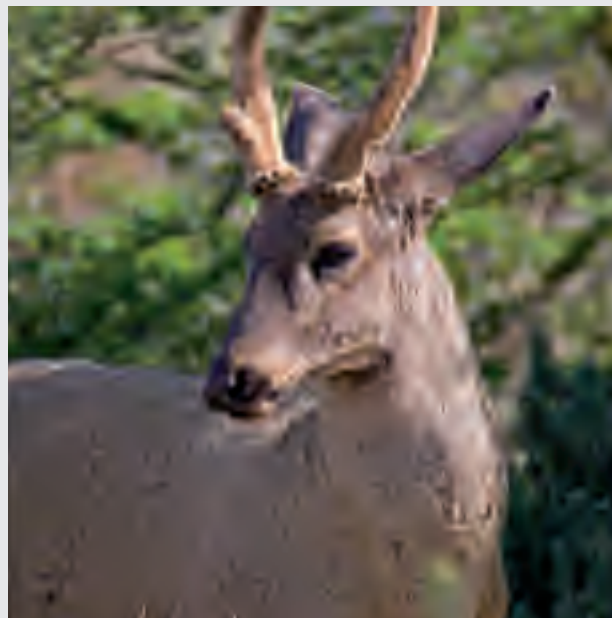
La primera refiere al cuidado de una especie en su ambiente natural, con el objetivo de conservar poblaciones de especies silvestres, además de preservar condiciones mínimas para

el mantenimiento de su variedad genética actual. Las medidas en torno a este tipo de conservación tienen relación, por ejemplo, con la creación de áreas protegidas, de manejo y de exclusión, el control de depredadores, enriquecimiento de fuentes de alimentación, de agua u otros recursos, extracción de especies competidoras, y otras medidas que permitan el aumento de la adecuación biológica de la colonia o población.

En Chile, CONAF se encarga de este tipo de conservación, llevando a cabo el programa Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado (SNASPE). Este incluye categorías de manejo, como parques nacionales, reservas nacionales y monumentos naturales, que en conjunto representan el 19 % de la superficie del país.

La conservación *ex situ* se refiere al cuidado de los componentes de la diversidad biológica fuera de sus hábitats naturales. Entre sus modalidades se encuentran los jardines botánicos, arboretos, viveros, centros de semillas y bancos de germoplasma. De esta manera se apoya la supervivencia de especies para ser reintroducidas en sus hábitats naturales, siendo un complemento para la conservación *in situ*. Además, se resguardan recursos genéticos de gran importancia agrícola y socioeconómica.

Por ejemplo, el Zoológico Nacional ha desarrollado varios programas de conservación *ex situ*, entre ellos el del flamenco chileno, el guanaco y el de la ranita de Darwin. También otras instituciones, públicas y privadas, llevan a cabo proyectos de conservación *ex situ* de animales, vegetales y de sus genes: el material conservado es utilizado en investigación y en la restauración de ecosistemas.



▲ Antiguamente se podía encontrar huemules a lo largo de la cordillera de los Andes, desde Rancagua hasta Magallanes. Hoy solo se encuentran en áreas muy restringidas.

▲ La palma chilena es una especie protegida en el Parque Nacional La Campana, región de Valparaíso, sector de Ocoa.

### Actividad

**Discute junto con un compañero las siguientes preguntas:**

1. ¿Cuáles son las causas de la aceleración del ritmo de pérdida de la biodiversidad en Chile y en el mundo?
2. ¿Cuáles son las ventajas de la conservación *in situ* y *ex situ*?, ¿en qué casos usarían cada una?
3. Analiza la tabla 3 y contesta:
  - a. ¿Qué grupos de organismos en Chile tienen un mayor porcentaje de especies comprometidas?
  - b. ¿Cuáles podrían ser las causas específicas de que la supervivencia de estos grupos de organismos esté amenazada?



### Organiza lo que sabes

En tu cuaderno, diseña un organizador gráfico usando al menos diez de los conceptos de esta lista. Este organizador representará lo que has aprendido.

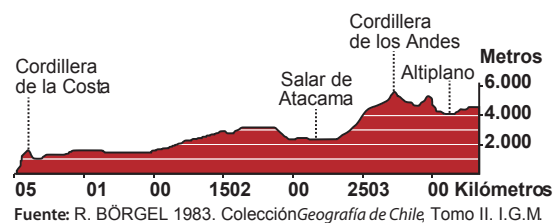
biodiversidad	cambio climático	especies nativas	
biodiversidad ecológica	destrucción y fragmentación de hábitats		
contaminación	ecosistema	biodiversidad genética	Cumbre de la Tierra
especie amenazada	hotspot	extinción	biodiversidad taxonómica
desarrollo sustentable	especies endémicas	introducción de especies exóticas	

### Evaluación de proceso

1. Explica con tus palabras el concepto de biodiversidad, procurando incluir sus dimensiones taxonómica, genética y ecológica. (4 puntos).
2. Describe un ecosistema, considerando las relaciones entre sus elementos y el intercambio de materia y energía. (4 puntos).
3. Presenta ejemplos de la importancia que tiene la biodiversidad en los siguientes ámbitos: (6 puntos).
  - a. Económico.
  - b. Ecológico.
  - c. Cultural.
4. Observa las ilustraciones del perfil transversal de Chile (Fuente: R. Börgel 1983. Colección *Geografía de Chile*, Tomo II. I.G.M.) y explica cómo ha influido la geografía de nuestro territorio en la diversidad y endemismo de las especies que lo habitan. (4 puntos).

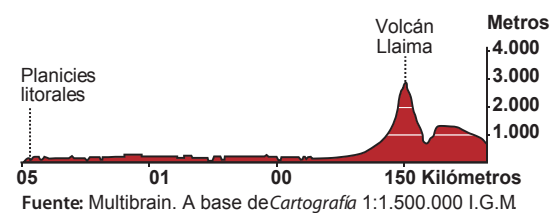
#### NORTE GRANDE

Entre el límite con Perú y el río Copiapó  
Corte en 23° de latitud sur



#### ZONA SUR

Entre el río Biobío y el canal de Chacao  
Corte en 38° de latitud sur





5. ¿Qué es un *hotspot*?, ¿qué características tiene el que se encuentra en Chile? (4 puntos).
6. ¿Cuáles son las principales amenazas naturales y antrópicas sobre la biodiversidad mundial y chilena en particular? (6 puntos).
7. ¿Cómo pueden influir en el desarrollo sustentable: la extinción de una especie, la pobreza, la agricultura y la educación? (8 puntos).
8. Crea un diagrama que represente el concepto de desarrollo sustentable. (5 puntos).

## Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Explicar el concepto de biodiversidad y su importancia para diferentes ámbitos humanos.	1, 2 y 3	_____/14	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-bottom: 2px;"></div> </div>
Describir las características generales de la biodiversidad en Chile.	4 y 5	_____/8	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-bottom: 2px;"></div> </div>
Identificar las principales amenazas que afronta la biodiversidad.	6	_____/6	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-bottom: 2px;"></div> </div>
Explicar el concepto de desarrollo sustentable.	7 y 8	_____/13	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: red; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: yellow; margin-bottom: 2px;"></div> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: green; margin-bottom: 2px;"></div> </div>

Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.

Necesito repasar algunos contenidos.

Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

# ¿Afecta el crecimiento poblacional humano al desarrollo sustentable?

➔ **Debes recordar:** Desarrollo sustentable - Factores que determinan el tamaño de una población

## Trabaja con lo que sabes

1. Basándote en la información de la tabla 4, construye un gráfico del crecimiento poblacional y contesta las siguientes interrogantes:
  - a. ¿Qué conclusiones extraes sobre la evolución histórica de la población humana?
  - b. ¿Cuáles crees que son las causas del crecimiento de la población?
  - c. ¿Cómo crees que afecta al ambiente el aumento de la población?
  - d. ¿El incremento de la población afecta al desarrollo sustentable?
  - e. ¿Crees que la población de todos los países crece al mismo ritmo? Explica.

**Tabla 4:** Crecimiento de la población humana durante el siglo XX.

Año	Nº de habitantes en el mundo (millones)
1901	1 500
1927	2 500
1960	3 000
1974	4 000
1987	5 000
2000	6 000

## Propósito de la lección

Anteriormente, aprendiste que para alcanzar el desarrollo sustentable no basta con cuidar la biodiversidad, sino que además es necesario lograr un desarrollo social y económico, que sea equitativo y respetuoso con el ambiente. En esta lección establecerás la relación entre el nivel de desarrollo de las sociedades, y el uso que hacen de los recursos naturales, y su impacto en el ambiente.

### 1. Análisis del crecimiento poblacional humano en la historia



▲ Cazadores nómadas de mamuts.

La población humana ha experimentado un crecimiento muy acelerado en un período de apenas mil años, lo que ha resultado en una situación de superpoblación mundial.

#### El Paleolítico

Durante el último máximo glacial, hace unos 18 000 años, se estima que la población humana, formada por grupos nómadas de cazadores y recolectores, no superaba los cuatro millones de individuos dispersos en todos los continentes.

## La revolución neolítica

Hace unos 10 000 años comenzó el actual período interglaciar. En Oriente Medio, y después en el resto del mundo, los grupos humanos se hicieron sedentarios y desarrollaron la agricultura y la ganadería, comenzando así la revolución neolítica. Se calcula que la población humana alcanzó los seis millones.



- ▲ Los primeros poblados surgieron a orillas de los ríos. Los habitantes de una aldea trabajaban comunitariamente en la preparación del campo, la siembra y la cosecha. Cada ciudad producía lo que necesitaba y los excedentes se comerciaban con los pueblos vecinos.

## La civilización

Desde la revolución neolítica hasta el Imperio romano, la población pasó de aproximadamente seis millones a 150 millones de habitantes. En el siglo XVI la población ya superaba los 500 millones de habitantes.



- ▲ Los campesinos egipcios trabajaban las tierras del faraón, de los nobles y los sacerdotes. Solo una parte de los animales que criaban, los cereales y las hortalizas que cultivaban era para ellos, lo demás era el impuesto que debían entregar al faraón. Los incas eran un pueblo agrícola que cultivaba usando un sistema de terrazas; trabajaban en la cosecha de todos los campos y los frutos recogidos se repartían de manera equitativa.

### La revolución industrial

En 1750 comienza la transición demográfica. Se produce un extraordinario crecimiento de la población, propiciado por un descenso de la mortalidad infantil. La población se duplicó en apenas dos siglos gracias a la mecanización de la producción y los avances científicos en el ámbito de la salud.

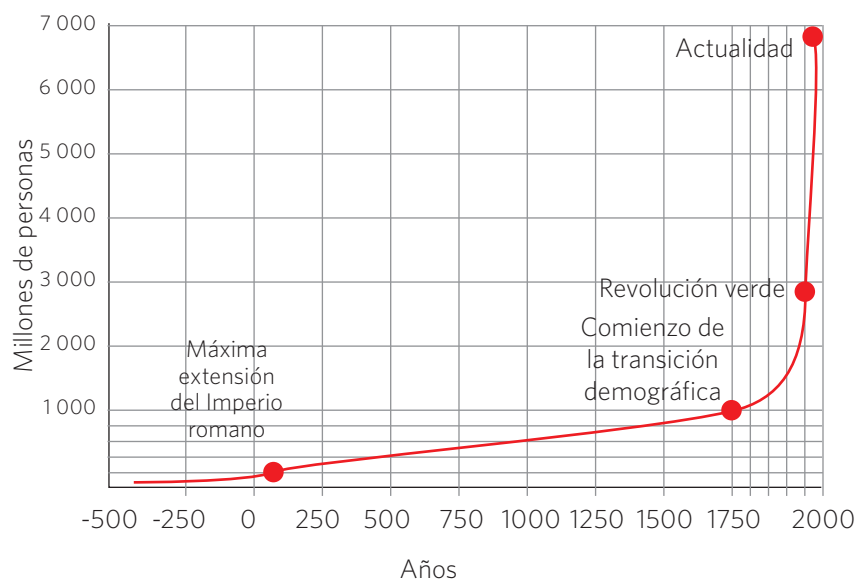


- ▲ Con la aparición de las máquinas de vapor surgieron las fábricas, donde los obreros trabajaban a cambio de un salario. Los empresarios invertían el capital en la instalación de su empresa, en la compra de materias primas y en los salarios. También destinaban dinero a la creación de bancos, entidades financieras y compañías de comercio. Se produjo un rápido crecimiento de las ciudades, ya que muchos campesinos se mudaban a los barrios y zonas industriales donde conseguían trabajo.

### La revolución verde y los antibióticos

En 1945 comenzaron a utilizarse variedades seleccionadas de semillas, se mejoraron los sistemas de regadío y se desarrollaron herbicidas y pesticidas que permitieron aumentar enormemente la producción agrícola. Ese mismo año, Alexander Fleming descubre la penicilina, cuya utilización redujo drásticamente la mortalidad infantil. La población humana superó los 2 600 millones de habitantes.

**Gráfico 1:** Crecimiento de la población humana.



Fuente Archivo editorial.

## Las mejoras en la medicina y en la distribución de alimentos

Durante el siglo XX se desarrollaron la medicina preventiva, la explotación de los combustibles fósiles y la energía nuclear; además, se consiguió un aumento en la producción de alimentos y una mejora en los mecanismos de distribución. A finales de los años sesenta la población humana superó los tres mil millones de habitantes.

## El desarrollo económico e industrial

A fines del siglo XX y principios del XXI, el desarrollo económico e industrial de los países favoreció que la población continuara creciendo rápidamente. En el año 2009 la población mundial superaba los 6 700 millones de habitantes, y se estima que 2050 superará los 9 500 millones.

## 2. Distribución actual de la poblacional humana

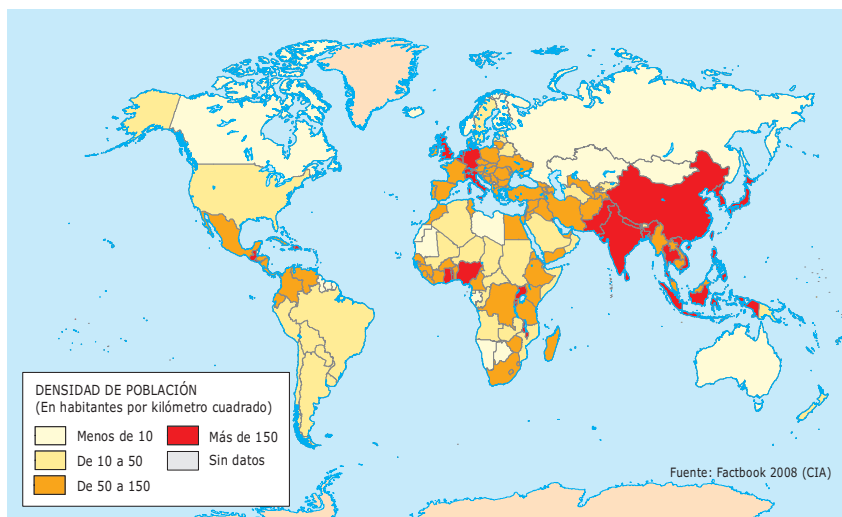
La distribución poblacional humana en el planeta es heterogénea: existen zonas en las que la densidad poblacional es mínima, como en los polos, y otras zonas en que es muy alta, como en las grandes urbes. Este tipo de distribución obedece a distintos factores, entre ellos, ambientales, políticos, y económicos. Así, tenemos que el aumento exponencial de nuestra especie, evidenciado en el gráfico 1, no ha ocurrido con igual velocidad en las diferentes regiones del mundo. Cerca del 81 % de la población mundial se ubica en países con menor desarrollo económico y altas tasas de crecimiento (1,9 %), mientras los países desarrollados tienen tasas inferiores al 1 %.

El aumento de la población en los países en desarrollo hace que esta ocupe más territorio en busca de espacio habitable y tierras cultivables. Sin embargo, la deforestación (para construir viviendas) y el sobrepastoreo reducen la productividad del suelo.

Se ha establecido que el crecimiento demográfico elevado se relaciona con el mantenimiento de la pobreza y el menor acceso a la educación, lo que a su vez incide, de alguna forma, en las elevadas tasas de natalidad.



▲ En el año 2002, el 86,6 % de la población chilena habitaba en áreas urbanas y el 13,4 %, en áreas rurales. (Fuente: Censo 2002, INE).



▲ Distribución aproximada de la población mundial (2007). China: 20,33 %, India: 16,95 %, Estados Unidos: 4,62 %, Indonesia: 3,8 %, Resto del mundo: 54,3 %.

Para saber +

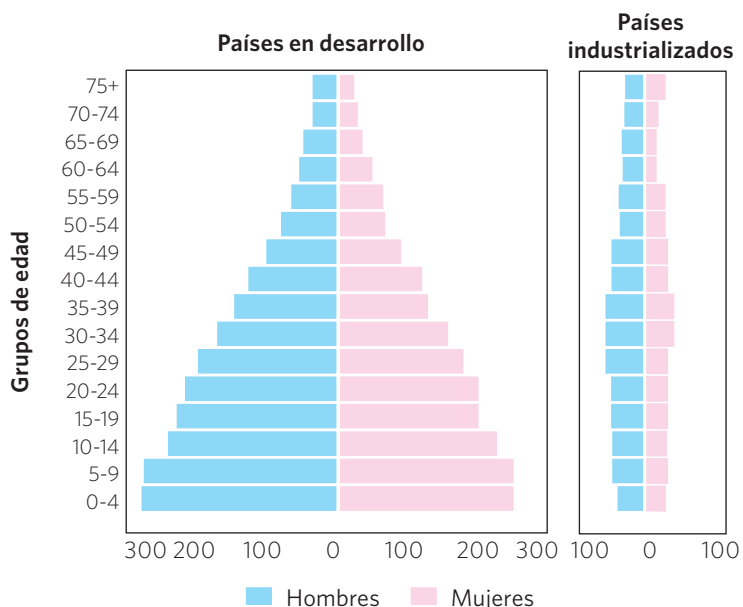
- En las poblaciones humanas, los parámetros de la proporción de sexos, y en mucha mayor medida, la composición etaria, están relacionados con el nivel de desarrollo económico y las condiciones generales de salud de la población. Poblaciones más jóvenes y con mayor cantidad de mujeres tienden a presentar mayor tasa de natalidad y menor tasa de mortalidad. Una situación inversa se espera para las poblaciones con mayor cantidad de adultos que de jóvenes, y menor número de mujeres que de hombres.



Actividad 3 Investigar sobre...

**El crecimiento de la población humana en la historia**

- Describe dos maneras en las que el ser humano ha organizado sus sociedades y la forma en que obtenían y distribuían los recursos.
- ¿Por qué se emplea el concepto de “revolución” para referirse a los cambios ocurridos durante el Neolítico y desde mediados del siglo XVIII?
- ¿Cómo la disponibilidad de recursos, la ciencia, la tecnología y la medicina, han influido en el crecimiento de la población?
- Observa los siguientes gráficos que muestran cómo se distribuye la población humana en los países en desarrollo y en los industrializados: en el eje vertical está el rango etario y en el eje horizontal la cantidad de personas (expresada en millones). La línea central separa hombres y mujeres. Luego responde:



Fuente: Banco Mundial, World Development indicators, Washington, DC, 1997.

- Si las personas tienen su mayor capacidad reproductiva entre los 15 y los 45 años, ¿qué países tendrán un mayor crecimiento poblacional en los próximos años?
- ¿En qué países la población se tiende a estabilizar?
- ¿Es posible predecir si una población crecerá o se estabilizará conociendo la estructura etaria? Fundamenta.

### 3. Economía de los recursos y población humana

El aumento poblacional trajo consigo un alza en la demanda de alimentos y servicios básicos, lo que ocasionó un uso excesivo de los recursos naturales. Este problema fue indicado en el siglo XVIII por el economista británico Thomas Robert Malthus, quien señaló que los recursos naturales crecen en menor medida que la población humana, por lo cual llegará un momento en que la población no dispondrá de los recursos necesarios para mantenerse.

A partir de las ideas de Malthus se desarrolló el concepto de **capacidad de carga**: el número máximo de individuos que puede mantener un hábitat indefinidamente sin disminuir la disponibilidad y acceso a los recursos. Otros economistas, posteriores a Malthus, consideraron que el **progreso tecnológico** es una variable que afecta el ritmo de crecimiento de la población, debido a que el uso de la tecnología permite aumentar la disponibilidad de recursos o **biocapacidad** y contrarrestar los impactos sobre el ambiente; por ejemplo, el uso de fertilizantes e innovaciones agrícolas, el uso eficiente de la energía, entre otros.

Por lo tanto, las características del crecimiento poblacional humano y su impacto sobre el ambiente, no solo se explican por parámetros ecológicos, sino que también se deben considerar las formas de producción y distribución de los recursos.

#### 3.1 Calidad de vida

La **calidad de vida** evalúa el bienestar social de una población humana, está determinada por el ingreso económico de la población y por cómo son utilizados los recursos económicos para mejorar las condiciones de esa población. Los indicadores para determinarla fueron resumidos en el **índice de desarrollo humano (IDH)**, el que corresponde a una medida de desarrollo de un país y toma en consideración: la esperanza de vida (número de años promedio que puede llegar a vivir una población), la educación (escolaridad y alfabetización) y el producto interno bruto (producción de bienes y servicios de una población en términos monetarios).

La calidad de vida, por lo tanto, puede ser mejorada mediante la incorporación de tecnologías que permitan minimizar los costos de producción para la provisión de bienes y servicios, pero además minimizando los impactos en el medio ambiente con el fin de mantener un desarrollo sustentable.

#### Apunte

**Economía:** ciencia social que estudia los métodos más eficaces para satisfacer las necesidades humanas materiales, mediante el empleo de bienes escasos.



▲ El control de plagas ha aumentado la cantidad de alimentos producidos.

#### Para saber +

- El desarrollo sustentable implica un desarrollo para la **capacidad de carga**, el utilizar los recursos naturales renovables a un ritmo que permita su regeneración y emitiendo la mínima o ningún tipo de contaminación más que la que los sistemas naturales sean capaces de absorber o neutralizar.



▲ La forma de producción afecta la calidad de vida.

**Para saber +**

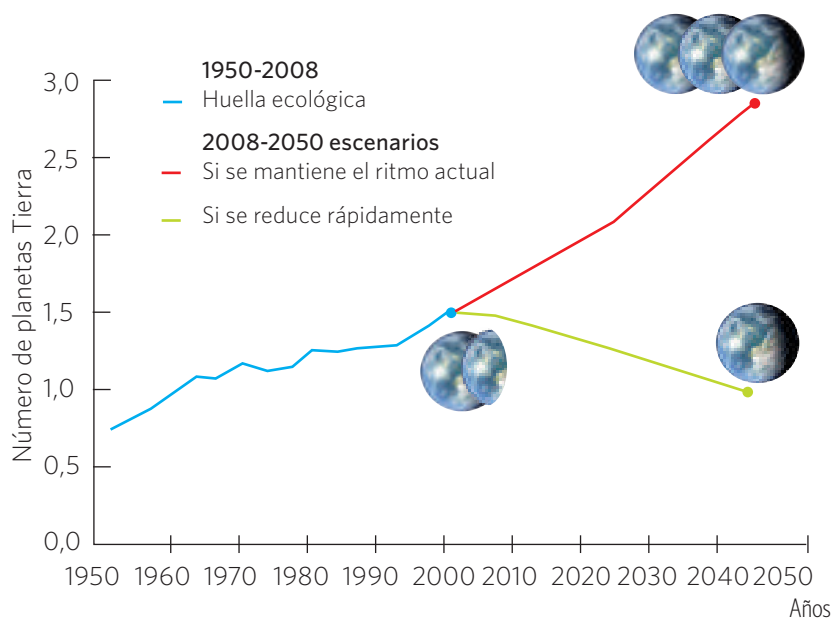
- Una hectárea (ha) equivale a 10 000 m<sup>2</sup>, superficie equivalente a una cancha de fútbol grande. Estimativamente la huella ecológica o superficie de tierra productiva que le corresponde anualmente a cada ser humano es de aproximadamente 1,8 hectáreas, equivalente a 2,5 canchas de fútbol.

### 3.2 Huella ecológica y desarrollo sustentable

Para satisfacer sus necesidades y mantener o mejorar su calidad de vida, el ser humano emplea los recursos naturales que obtiene de los distintos ecosistemas. Para graficar el impacto de las actividades humanas sobre ellos, se ha establecido un indicador llamado **huella ecológica**. Corresponde a las hectáreas de tierra productiva que se necesitan para sostener la población en un territorio definido en relación a lo que consume, y a los residuos que produce.

En un año, la humanidad utiliza el equivalente a 1,5 planetas para generar los recursos que utiliza y absorber sus desechos, es decir, consumimos más de lo que el planeta es capaz de producir. Las consecuencias son, entre otras, agotamiento de los recursos pesqueros, disminución de los bosques, destrucción del suelo, agotamiento de los sistemas de agua dulce y la acumulación de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, lo que generó el **cambio climático global**.

**Gráfico 2:** Estimación de la huella ecológica para el año 2050 a nivel mundial.

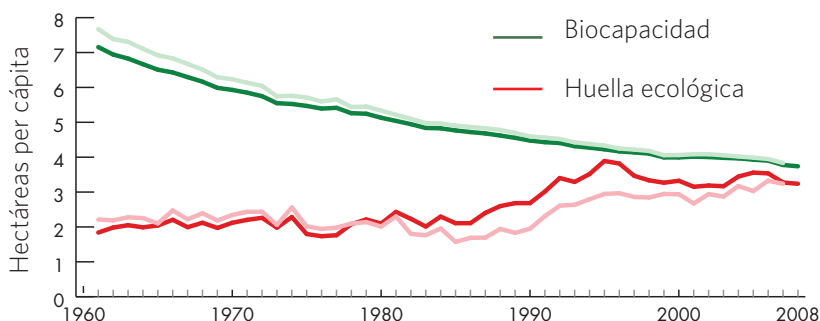


- ▲ Según el informe Planeta Vivo 2010, elaborado, entre otros, por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), los países con peor huella ecológica del mundo, es decir, los que más dañan sus ecosistemas, son: Emiratos Árabes, Qatar, Dinamarca, Bélgica y Estados Unidos. Según este mismo informe, para el año 2025 cerca de 5 500 millones de personas tendrán problemas de acceso al agua.



- **La huella ecológica de Chile:** según el informe Planeta Vivo de 2010, Chile se ubica en el lugar cinco a nivel mundial y es el segundo país con peor huella ecológica de Latinoamérica, después de Uruguay.

**Gráfico 3:** Huella ecológica de Chile por persona y la oferta de recursos o biocapacidad.



Fuente: [www.globalfootprintnetwork.org](http://www.globalfootprintnetwork.org)

### Inter@ktividad

- Calcula tu huella de carbono ingresando a [www.rekursostic.cl/lbm351](http://www.rekursostic.cl/lbm351)

**Tabla 5:** Proporción en la que inciden distintos factores en la huella ecológica de Chile.

Factor	%
Emisiones de CO <sub>2</sub>	31,6
Demanda de recursos forestales	27,6
Cultivos	21,4
Demanda de recursos pesqueros	8,4
Otros	11

**Tabla 6:** Huella ecológica por persona en algunos países.

País	Ha
Emiratos Árabes	10,6
Dinamarca	8,2
EE.UU.	7,9
Uruguay	5,1
Chile	3,3
Timor	0,44

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

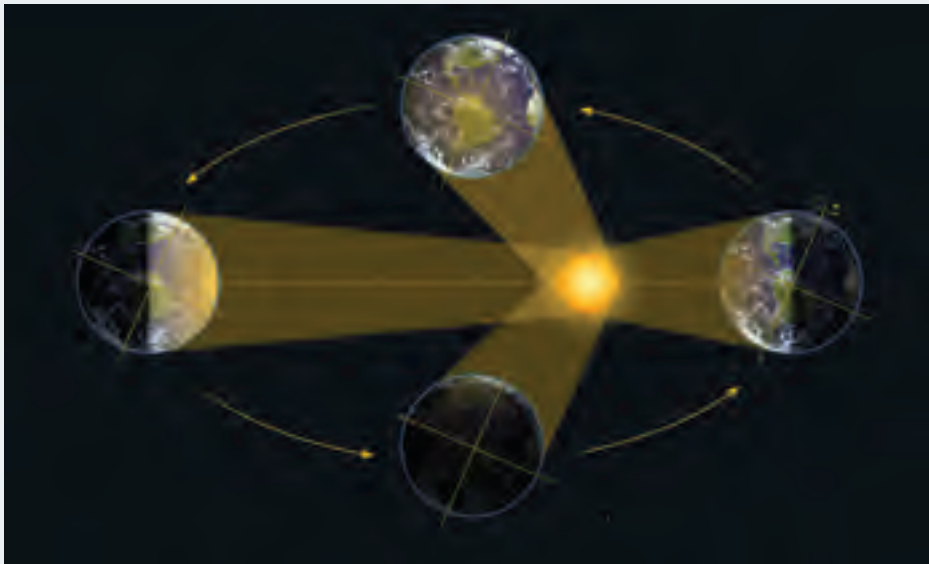
1. ¿Cuáles fueron las causas del crecimiento poblacional durante el Neolítico, el siglo XVIII y el siglo XX?
2. Identifica al menos dos aspectos sociales y económicos que influyan en el desarrollo sustentable de un país.
3. ¿Cuál era la idea central de Malthus?, ¿es aplicable a las sociedades actuales? Fundamenta.
4. ¿Qué significan los conceptos biocapacidad y capacidad de carga?
5. Escribe cinco variables que sirvan para calcular el índice de desarrollo humano.
6. Un informe elaborado por la ONU estimó que la huella ecológica per cápita para los países más industrializados del planeta es de 7,22 ha y de 1,81 para el resto de los países. De acuerdo con esta información, responde:
  - a. ¿Qué significan los valores obtenidos en el informe? Explica.
  - b. ¿Por qué el indicador para los países industrializados es mayor?
  - c. ¿Por qué el resto de los países mantiene una huella ecológica menor que la de los países industrializados?
  - d. ¿Qué implicancia ambiental tiene una huella ecológica mayor que otra?
7. Analiza las tablas 5 y 6 y explica por qué Chile aún no se está desarrollando sustentablemente. Propón alternativas que ayuden a nuestro país a mejorar su situación.

# ¿Cómo el cambio climático afecta a la biodiversidad?

➡ **Debes recordar:** Factores que influyen en el clima - Ecosistema

## Trabaja con lo que sabes

1. ¿Qué entiendes por clima?
2. ¿Cómo afecta el clima a las actividades productivas humanas?
3. ¿Cómo afecta el clima a los ecosistemas?
4. Observa la ilustración y explica:
  - a. ¿Por qué hay regiones del planeta que reciben más radiación solar que otras?
  - b. ¿Cómo influye la cantidad de energía recibida por una región en su clima y en su vegetación?



## Propósito de la lección

En la lección anterior se describió el crecimiento poblacional humano en diferentes épocas y la conformación de sus poblaciones. También se estableció la relación entre el nivel de desarrollo y la utilización de los recursos naturales. Ahora te invitamos a conocer el problema medioambiental más tratado en los ámbitos científico, económico y político: el **calentamiento global** y sus efectos en los ecosistemas.

### 1. El clima

Si no existiera el Sol, que irradia el calor, no habría vida en nuestro planeta.

La Tierra tiene una forma casi esférica y los rayos solares, que viajan rectos y paralelos, no llegan con la misma intensidad a todas sus latitudes: caen perpendiculares en las zonas cercanas al ecuador y como líneas oblicuas sobre los polos. Esta particular distribución del calor, la altitud, la circulación de los vientos y las corrientes marinas dan lugar a los diferentes climas.

## 1.1 El aumento del efecto invernadero

Además del oxígeno que necesitamos para respirar, el aire de la atmósfera contiene otros gases conocidos como gases de efecto invernadero (GEI). Como ocurre en un invernadero, la radiación del sol calienta el aire que hay dentro del lugar, y el cristal o el plástico que lo recubre no deja que el calor salga. En la Tierra, el dióxido de carbono y otros gases de invernadero, como el metano o el óxido nitroso, cumplen la función de cubierta aislante. Estos gases retienen el calor en las capas bajas de la atmósfera; sin ellos la temperatura de la Tierra sería de 18 °C bajo cero y nuestro planeta se congelaría.

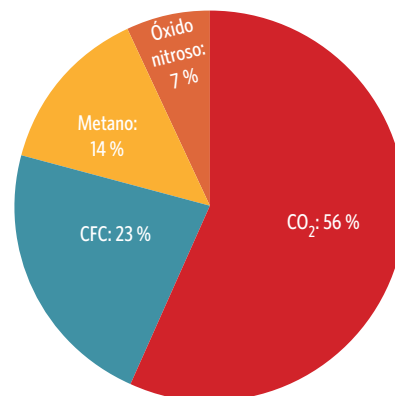


- ▲ El efecto invernadero es un fenómeno natural y beneficioso para la vida del planeta; de no ser por él, el calor recibido del Sol se escaparía hacia el espacio.



- ▲ Sin embargo, debido a la acción humana, los GEI han incrementado su concentración en la atmósfera, provocando que se retenga más calor. Esto causa el calentamiento global y el cambio climático.

**Gráfico 4:** Principales gases de invernadero y su contribución al calentamiento global.



## 1.2 Principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero



**Plantas termoeléctricas:** generan energía eléctrica a base de carbón. Emiten 2,5 millones de toneladas de  $\text{CO}_2$  al año.

**Industrias plásticas y quema de combustibles:** producen óxidos de nitrógeno, cuyo poder es tres veces mayor que el del  $\text{CO}_2$  y al combinarse con agua generan la lluvia ácida.

**Ganadería y agricultura intensivas:** además de  $\text{CO}_2$ , producen la descomposición de la materia orgánica en metano que es 58 veces más potente que el  $\text{CO}_2$ .

**Aerosoles, espumas y refrigeración:** generan clorofluorocarburos (CFC), cuyo poder invernadero es miles de veces mayor que el del  $\text{CO}_2$ , y, además, contribuyen en la expansión del agujero de ozono.

**Vehículos:** funcionan mediante la quema de combustibles fósiles, emiten 1,5 millones de toneladas de  $\text{CO}_2$  al año.



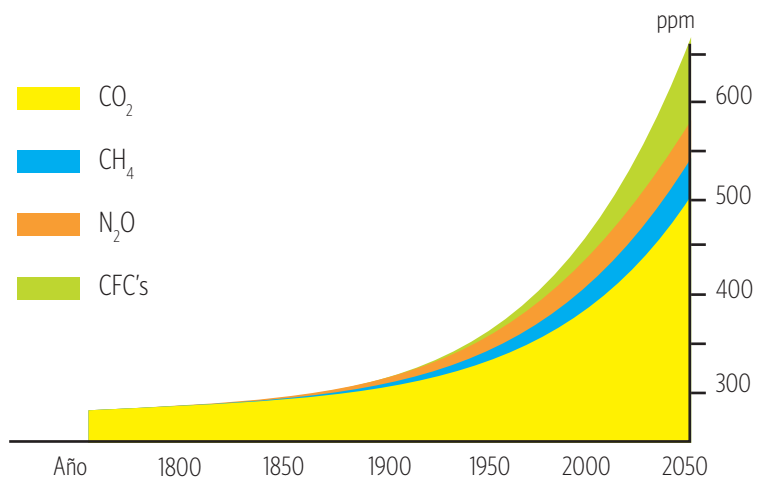
▲ Tanto las industrias como los motores de combustión emiten GEI a la atmósfera.

### Actividad 4 Analizar un gráfico y concluir sobre...

#### La acumulación de GEI en la atmósfera

Observa el gráfico y, según tu interpretación, responde las preguntas propuestas a continuación. Considera que la unidad de medida ppm (partes por millón) se refiere a la concentración expresada en miligramos por litro de solución.

**Gráfico 5:** Concentración de gases en la atmósfera a través de los años.



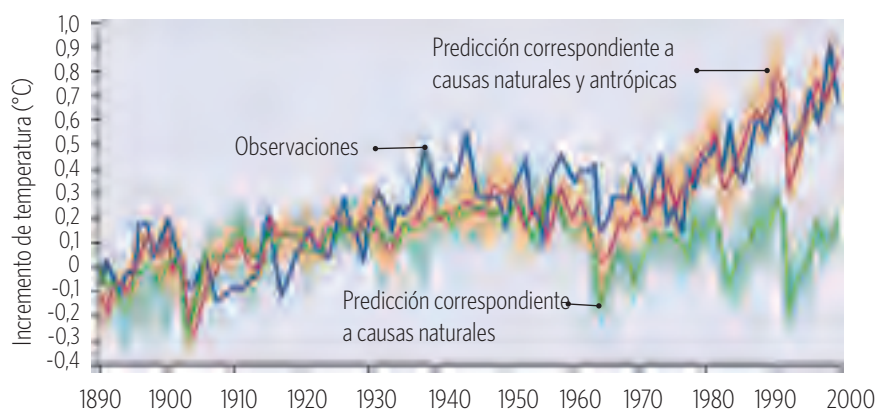
1. Según el gráfico, ¿cuál será la concentración en ppm de cada uno de los gases invernadero en el año 2050?
2. ¿En qué porcentaje se ha incrementado la concentración de  $\text{CO}_2$  entre 1800 y 2000?
3. Menciona tres medidas que puedas realizar en tu comunidad para reducir las emisiones de los gases invernadero.

### 1.3 El aumento del efecto invernadero y el calentamiento global

Desde el comienzo de la era industrial, se observa un incremento de la temperatura terrestre como consecuencia del aumento de la proporción de los GEI en la atmósfera. Este fenómeno negativo se conoce como **calentamiento global**.

Los modelos señalaban que desde mediados del siglo XX las temperaturas deberían haber bajado, si solo causas naturales las hubiesen afectado; sin embargo, están subiendo. El siguiente gráfico muestra el impacto humano sobre el clima.

**Gráfico 6:** Impacto humano sobre el clima.



Fuente: IPCC-PNUMA. Informe de síntesis sobre el cambio climático (2007).

### 1.4 Consecuencias del cambio climático en los ecosistemas

El **calentamiento global**, producto de la acción humana, está relacionado con la emisión de grandes cantidades de gases de invernadero a la atmósfera y provoca el **cambio climático**, porque el clima depende de la estrecha interacción de todos los subsistemas terrestres. Por lo tanto, sus efectos repercuten en la hidrosfera, en la biosfera, en la estructura y distribución de los ecosistemas, en los suelos y en las sociedades.



- ◀ La malaria y el dengue podrían expandirse hacia latitudes templadas, donde actualmente las temperaturas no permiten la existencia de los insectos que las transmiten.

## 2. Alteraciones de los ecosistemas

El cambio climático ocasionará efectos de distinto tipo y magnitud en los ecosistemas. Pero, sin duda, las consecuencias de esos cambios modificarán la biodiversidad tal como la conocemos y afectarán nuestra forma de vida.

### 2.1 Variaciones en los ecosistemas terrestres

Las perturbaciones en los ecosistemas terrestres ocasionadas por el cambio climático tienen múltiples consecuencias, como las siguientes:

#### Variaciones en el patrón de precipitaciones

Las precipitaciones a nivel global se incrementarían entre un 3 % y un 5%, debido, principalmente, a cambios en la humedad atmosférica, las tormentas y las tempestades a gran escala; al aumento de la nubosidad en las zonas de latitud media y alta; y a la disminución observada de la amplitud térmica diaria.

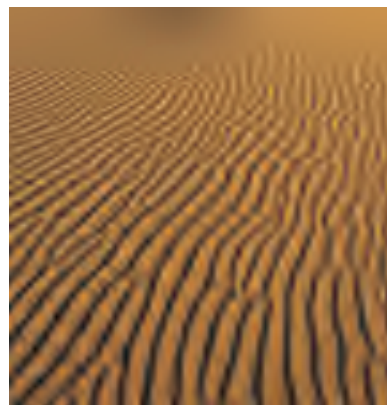
Sin embargo, este aumento no sería homogéneo en toda la Tierra; se proyecta que las precipitaciones aumentarán en las latitudes altas y disminuirán en las regiones subtropicales. Así, la escorrentía, agua de las precipitaciones que fluye por la superficie, y la disponibilidad de agua aumentarán en las latitudes altas y en algunas áreas lluviosas tropicales, y disminuirán en las regiones semiáridas y secas, en latitudes medias y en los trópicos.



#### Perturbaciones en los suelos

La disminución de las precipitaciones en las zonas áridas y semiáridas provocará una pérdida de la cobertura vegetal y la disminución de la humedad del suelo. Esto traerá como consecuencia un aumento de la desertización o pérdida del suelo (desertificación es el nombre que se le da a este proceso cuando las causas son atribuibles al ser humano).

En tanto, en las zonas donde aumentarán las precipitaciones ocurrirá un debilitamiento de las laderas, con el consecuente desprendimiento y pérdida de suelo. Fenómenos como estos provocarán la pérdida y fragmentación de los hábitats de muchas especies.



#### Variaciones en la composición de las comunidades vegetales

El cambio en la disponibilidad del recurso hídrico modificará, a largo plazo, las comunidades vegetales: la disminución de la humedad del suelo originaría el remplazo gradual de los bosques tropicales por las sabanas y de la vegetación semiárida por aquella típica de zonas áridas.

El cambio climático afectaría también las épocas de foliación, floración y fructificación.



Podría darse la extinción de especies más proclives a cambios de temperatura. Aunque gran parte de las especies podrían adaptarse a estos cambios y ampliar su hábitat, se ha estimado que entre el 20 % y el 30 % de la biodiversidad estará en riesgo por la pérdida de hábitat. Paralelamente, también se producirán cambios en los ciclos de vida de muchos insectos, disminuyendo su período larvario, debitándolos frente a las heladas o aumentos bruscos de temperatura. Con esto, también se pondría en riesgo a los animales que dependen de ellos para su nutrición. Por otra parte, se tiene conocimiento que una modificación de las condiciones ambientales podría favorecer la propagación de algunos animales considerados plagas.

Finalmente, al adelantarse los brotes foliares y florales de algunas especies vegetales, desajustarían las relaciones tróficas.



## 2.2 Variaciones en los ecosistemas acuáticos

Los cambios ambientales ocasionarán importantes variaciones en la composición de las comunidades acuáticas, como por ejemplo:

El aumento de la temperatura atmosférica provocará el derretimiento paulatino de los casquetes polares y, como consecuencia, el aumento del nivel del mar. Las islas bajas serán más vulnerables a estos cambios, ya que su topografía las hace susceptibles a inundaciones y deslizamientos de terrenos. Se verán afectadas las playas, que son el hábitat de muchas especies que nidifican en ellas, como aves y tortugas marinas. Pero, por sobre todo, se ha estimado que un mínimo aumento en la temperatura de las aguas sería suficiente para cambiar las condiciones en los arrecifes de coral y afectaría a toda la biota asociada.

Un cambio en la composición química de las aguas puede alterar los ecosistemas acuáticos. El aumento de  $\text{CO}_2$  atmosférico contribuye a la acidificación de los océanos, lo que perjudica a muchas formas de vida marina e interfiere en el desarrollo de especies que tienen caparzones o esqueletos de carbonato de calcio, como corales y moluscos. Este cambio de pH puede también afectar a especies del fitoplancton, constituyente esencial de las redes tróficas marinas.



- ▲ El cambio climático afecta a los ecosistemas de diversas maneras, pero especialmente a aquellos más frágiles, como los arrecifes de coral, y puede condenar a la extinción a las especies que ya están amenazadas.

### Actividad 5 Predecir y reflexionar sobre...

#### Los efectos del cambio climático

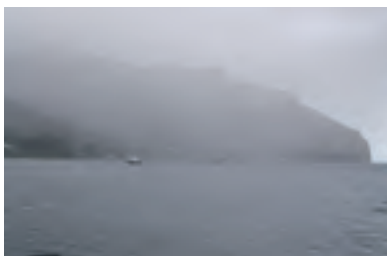
1. ¿De qué maneras piensas que afectará el cambio climático a las sociedades de los países desarrollados y las de países en desarrollo, como el nuestro? ¿Cambiarán su economía, su distribución geográfica y su calidad de vida?
2. ¿Cuáles son las principales amenazas del cambio climático en tu localidad? ¿Visualizas aspectos positivos u oportunidades de mejorar el índice de desarrollo humano debido a estos cambios?

**Aquí CIENCIA****Paleoclimatología**

Científicos del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas, en la IV Región, desarrollan un proyecto de reconstrucción paleoclimática de los últimos 3 000 años en el sector costero del Norte Chico.

**Actividad 6** Explicar...**La importancia de la paleoclimatología**

1. ¿Qué importancia tiene conocer el clima del pasado?

**3. El cambio climático en Chile**

En el año 2006, el Departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile realizó el Estudio de la variabilidad climática en Chile para el siglo XXI (periodo 2071-2100); el informe presenta algunas predicciones, entre ellas:

- La temperatura media de Chile continental aumentará entre 2 °C y 4 °C, siendo mayor el incremento en las zonas andinas y disminuyendo de norte a sur.
- Disminuirán las reservas de nieve en la cordillera, lo que ocasionará mayores crecidas de los ríos en invierno y una reducción de la disponibilidad de agua para la agricultura y para las centrales hidroeléctricas.
- El nivel del mar podría ascender entre 14 cm y 28 cm.
- Las precipitaciones aumentarán en el altiplano durante la primavera y el verano; en el Norte Chico aumentarán durante el invierno; en Chile central disminuirán durante el otoño; en la Zona Sur disminuirán hasta en un 50 % durante el verano y en el extremo austral se espera un leve aumento, que se mantendrá durante todo el año.

**3.1 Variaciones en los ecosistemas chilenos****Consecuencias en ecosistemas terrestres**

El cambio climático y la acción directa del ser humano sobre el ambiente ya está provocando cambios en los ecosistemas de nuestro país, como veremos a continuación.

Chile, al tener una extensa zona costera e insular baja, se constituye como un país altamente vulnerable a cambios en el nivel del mar. Además, nuestro país posee gran cantidad de ecosistemas montañosos con presencia de glaciares, territorios áridos y semiáridos expuestos a la sequía y desertificación, áreas propensas a desastres naturales, áreas urbanas altamente contaminadas y ecosistemas frágiles producto de actividades productivas con escaso control y manejo, como el área incluida en el *hotspot* chileno.

La reducción de los bosques, por la deforestación y la desertificación, afecta el ciclo hidrológico, provocando una reducción del proceso de evapotranspiración. Junto con ello, el empobrecimiento de los suelos, producto de la erosión, se asocia a la pérdida de cobertura forestal, principalmente porque la ausencia del bosque aumenta la escorrentía superficial.

Los glaciares también han sido afectados por el aumento de temperatura, que ha provocado su derretimiento. En estudios recientes se estimó que entre las regiones de Atacama y de Magallanes, cerca del 87 % de los glaciares andinos estaban en retroceso, un 7 % no presentaba cambios y solo un 6 % mostraba un leve avance. Los glaciares mayormente afectados en Chile son los existentes en la zona austral, debido a que están a menor altura.



## Consecuencias en ecosistemas marinos

Se estima que el aumento de temperatura de los océanos provocará un cambio en la distribución de la biota marina; por ejemplo, se modificará la distribución de bancos de plancton y con ello se originará una modificación de la composición de las complejas redes tróficas de los ecosistemas marinos. De hecho, la Antártica ya está experimentando cambios: la reducción de masas de hielo impacta negativamente sobre el fitoplancton, que es la base de las tramas tróficas al ser el alimento de las comunidades de pequeños crustáceos, como el krill que, a su vez, es el alimento para cientos de aves, focas, lobos, delfines y ballenas que habitan las heladas aguas antárticas.

### Inter@ctividad

- Ingresa al sitio [www.rekursostic.cl/lbm359](http://www.rekursostic.cl/lbm359), con la información que ahí encuentres representa una red trófica propia de la Antártica. Revisa la lección 1 de la primera unidad y explica tu red desde una visión sistémica.



▲ El ecosistema antártico es uno de los más afectados por el cambio climático.

### Antes de seguir, utiliza lo aprendido

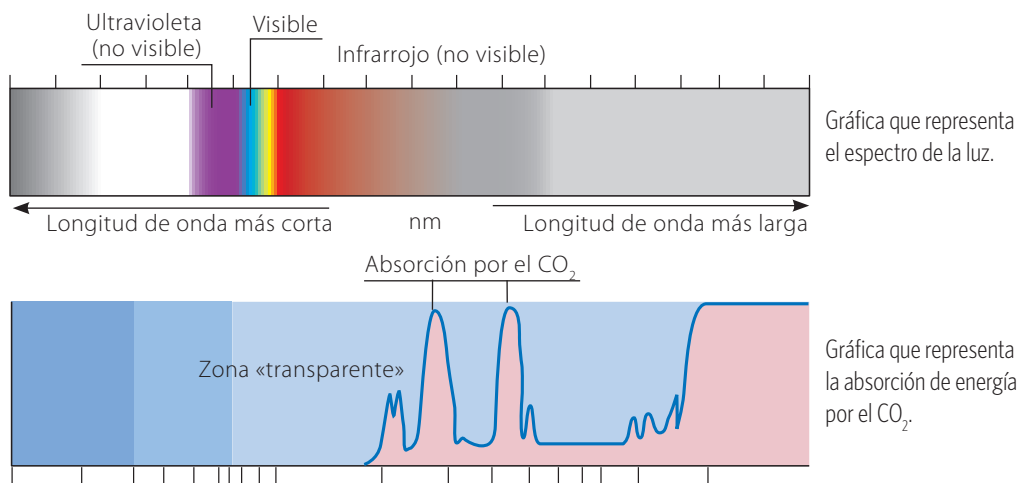
1. ¿Qué es el efecto invernadero y cuáles son sus causas y consecuencias?
2. ¿En qué consiste el calentamiento global?, ¿cuáles son las evidencias que permiten afirmar que es un fenómeno real?
3. ¿Qué consecuencias se espera que tenga el calentamiento global sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos?
4. ¿Qué consecuencias tendrá el calentamiento global en Chile y sus ecosistemas?
5. ¿Qué relación existe entre el desarrollo sustentable y el calentamiento global?

## Concentración de CO<sub>2</sub> y efecto invernadero

Antes de iniciar una investigación, es fundamental recopilar y organizar la información que se considere relevante. Puedes aprender de la experiencia de otros investigadores y con ello precisar las variables que estudiarás, la formulación de las preguntas de investigación y las hipótesis propuestas. Para llegar a proponer que el CO<sub>2</sub> es un gas invernadero, los científicos debieron considerar conocimientos previos sobre este gas, de modo que sus planteamientos no resultarán antojadizos. Hoy, la mayoría de los científicos relaciona el incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub> y su acumulación en la atmósfera con los fenómenos de efecto invernadero y cambio climático.

### Antecedentes

Si observas la gráfica, verás que el CO<sub>2</sub> permite el paso de la luz y gran parte de la radiación infrarroja solar (por eso nos calienta un rayo de sol).



### Pregunta de investigación

¿Qué sucede con la temperatura si aumentan los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera?

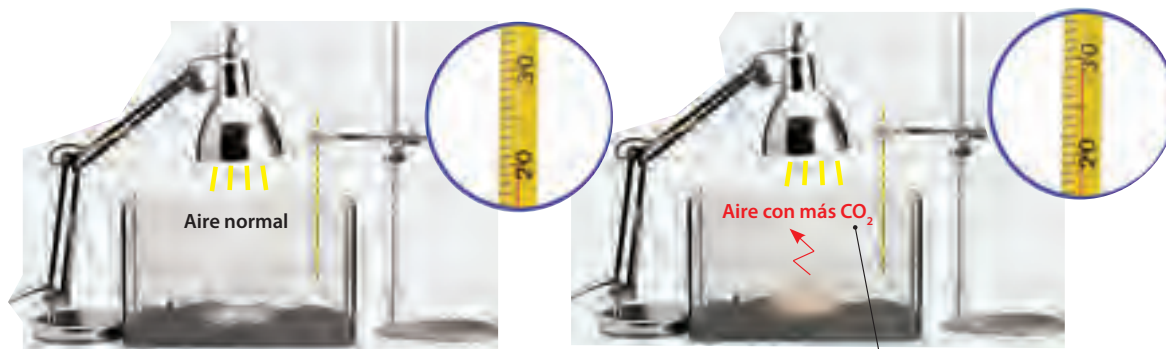
### Hipótesis

Propón una hipótesis para la pregunta de investigación.

### Estrategias de contrastación

Para poner a prueba una hipótesis es posible modelar la situación problema a una escala reducida. Como en todo modelo, se espera que las variables se comporten como en la naturaleza.

Te invitamos a que, junto con un grupo de compañeros, ejecutes el siguiente montaje experimental. Necesitarás dos cajas transparentes (como acuarios), una lámpara, dos recipientes pequeños, dos termómetros, dos soportes universales o huincha para sostener los termómetros, tierra, vinagre y bicarbonato.



Como el  $\text{CO}_2$  es más denso que el aire, se queda en el recipiente de vidrio.

Debes introducir un recipiente pequeño con agua en un recipiente de vidrio (acuario) con un poco de tierra para simular el terreno. Enciende la lámpara y tras cinco minutos mide la temperatura.

Simultáneamente, en otro montaje igual, coloca vinagre en lugar de agua en el recipiente pequeño, enciende la lámpara y transcurridos cinco minutos mide la temperatura. A continuación vierte bicarbonato en el vinagre, estos reaccionarán produciendo  $\text{CO}_2$ , el que es más denso que el aire y se queda en el recipiente de vidrio.

Regista la temperatura de ambos acuarios cada un minuto por un lapso de 45 minutos.

### Análisis e interpretación de evidencias

1. Una vez concluido el registro, grafica los datos para observar mejor el comportamiento de las variables y comunicar luego los resultados.
2. ¿Varió la temperatura en ambos recipientes?, ¿cómo?
3. Considera los antecedentes y explica a qué se deben las diferencias halladas en cada situación.
4. ¿Se podría extrapolar la información obtenida a los ecosistemas?

### Conclusiones

5. ¿Las hipótesis planteadas concuerdan con los resultados obtenidos? Explica.
6. Mediante esta experiencia, ¿puedes afirmar que hay una relación directa entre las emisiones de  $\text{CO}_2$  y el aumento de la temperatura global? Fundamenta.
7. Para obtener mayor información sobre el fenómeno estudiado, ¿cómo podrías mejorar este diseño experimental?

### Comunicación de resultados

Elabora una presentación de diapositivas o un póster sobre el fenómeno estudiado, incluyendo las implicancias futuras que tendrían tus resultados a una escala global. Recuerda incorporar los antecedentes, la metodología utilizada, los resultados obtenidos, tu apreciación y tus conclusiones.



### Organiza lo que sabes

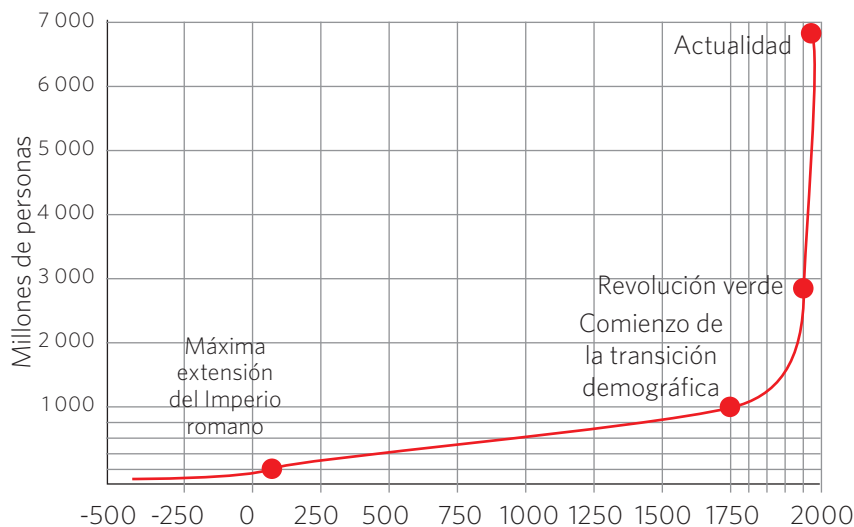
Revisa en tu cuaderno el organizador gráfico que creaste en la sección *Evalúo mi progreso* anterior, y utilízalo como base para diseñar un nuevo organizador. Incluye en él, al menos, siete de los conceptos de la siguiente lista. Esta vez, hazlo en una cartulina o papelógrafo, para que lo puedas exponer y discutir con tus compañeros.

biocapacidad	clima	huella ecológica
calentamiento global	crecimiento poblacional	índice de desarrollo humano
cambio climático	economía	recursos naturales
capacidad de carga	efecto invernadero	revolución industrial

### Evaluación de proceso

1. Analiza el siguiente gráfico y responde: (12 puntos).
  - a. ¿Alrededor de qué año se inicia un crecimiento exponencial de la población humana?
  - b. ¿Cuáles son los factores que inciden en este incremento?
  - c. ¿Qué tiende a ocurrir con la huella ecológica y con el índice de desarrollo humano a medida que crece la población? Explica.
  - d. ¿Si se alcanza el desarrollo sustentable, qué puede suceder con el ambiente si la población continúa aumentando?

Crecimiento de la población humana.



2. ¿Cuál es la relación entre: industrialización, CO<sub>2</sub>, efecto invernadero y cambio climático? (6 puntos).
3. ¿Qué evidencias apoyan la existencia de un cambio climático causado por el ser humano? (3 puntos).
4. Haz un cuadro comparativo de los efectos del calentamiento global en los ecosistemas terrestres y marinos. (5 puntos).
5. Representa una red trófica de un ecosistema terrestre y describe cómo podría afectarla el calentamiento global. (5 puntos).

### Me evalúo

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Mi apreciación
Analizar el problema del crecimiento poblacional humano a nivel mundial en relación con las tasas de consumo y los niveles de vida.	1	_____/12	
Describir los efectos del calentamiento global en el ambiente y en las relaciones entre los organismos.	2 a 5	_____/19	

- Debo revisar cómo estoy estudiando y buscar nuevas estrategias.
- Necesito repasar algunos contenidos.
- Mi estrategia de estudio es apropiada. Puedo seguir avanzando en la unidad.

### Lección 1: ¿Cuál es nuestra biodiversidad?

- La biodiversidad es una característica de la vida, relacionada con la variedad y variabilidad de todos los organismos vivos. Incluye tres niveles: genético, taxonómico y ecológico.
- La importancia de la biodiversidad para nuestra especie se desglosa en los siguientes ámbitos: obtención de recursos, valor cultural, importancia ecológica y mantenimiento de los ecosistemas. Además, no se debe perder de vista que nuestra especie también forma parte de la biodiversidad y de su complejo sistema de relaciones, por lo que las alteraciones que sufra pueden afectar a nuestra especie de modo impredecible.
- Dentro de la diversidad de ecosistemas, se han establecido tres grandes categorías: terrestres, humedales y marítimos costeros; todos perturbados por la acción humana.
- En Chile existen las tres grandes categorías de ecosistemas y en ellos habitan poco más de 30 000 especies. Muchas de ellas habitan en la región conocida como *hotspot* chileno, es decir, un área en la que abundan las especies endémicas y que está en peligro de conservación debido a la acción humana.

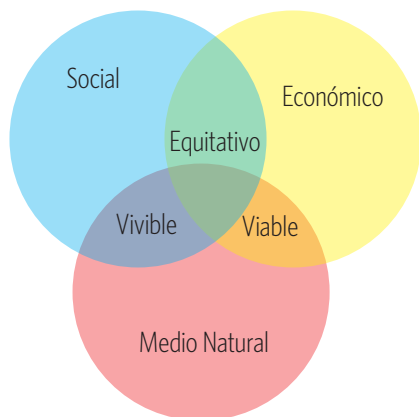


### Lección 2: ¿Está amenazada la biodiversidad?

- La biodiversidad cambia continuamente, y la fuente de tales cambios puede ser de origen natural o antrópico. Sin embargo, esta última es especialmente relevante, gracias a la acelerada extinción de especies por la intervención del ser humano en los ecosistemas, fundamentalmente debido a: destrucción y fragmentación de hábitats, contaminación, introducción de especies exóticas y cambio climático.
- En Chile hay cerca de 900 especies amenazadas, es decir, corren peligro de extinguirse si no se modifican sus condiciones.
- Ante el problema de conservación de la biodiversidad y sus efectos sobre las sociedades humanas, se han propuesto tres modelos de solución: desarrollismo, conservacionismo y desarrollo sustentable.
- El desarrollo sustentable es la estrategia de desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.
- Para lograr el desarrollo sustentable se deben conciliar los aspectos económico, social y ambiental en todas las actividades humanas, lo que significa que el modelo debe ser asumido por todos los individuos como una responsabilidad personal y debe guiar los planes de desarrollo elaborados a todos los niveles: regional, nacional e internacional.

### Lección 3: ¿Afecta el crecimiento poblacional humano al desarrollo sustentable?

- La evolución de las sociedades humanas ha impactado de distinta manera al ambiente, dependiendo, fundamentalmente, del grado de explotación de los recursos naturales, que está asociado a la densidad poblacional y al empleo de tecnologías. Ambos factores inciden en la organización y en la forma de producción y distribución de los recursos.
- Hoy, en el planeta, existe una crisis ambiental, debido a la sobreexplotación de recursos destinada a mantener el nivel de vida de las sociedades. El mayor perjuicio ambiental lo cometen aquellos países con un alto índice de desarrollo humano o países desarrollados, pese a que proporcionalmente su población es muchísimo menor que el del resto de los países. Esto plantea el desafío de modificar las formas de producción y de distribución de los recursos para que sea acorde con el modelo de sustentabilidad.



### Lección 4: ¿Cómo el cambio climático afecta a la biodiversidad?

- Debido al uso de combustibles fósiles, entre otros factores propios del modelo de producción y distribución de recursos, se han acumulado gases de efecto invernadero en la atmósfera que han comenzado a elevar la temperatura del planeta (calentamiento global) alterando el clima del planeta.
- El cambio climático afecta a todos los ecosistemas, pero especialmente a aquellos más frágiles. Los cambios en la biodiversidad ocasionados por el cambio climático tienen múltiples consecuencias para todas las formas de vida sobre el planeta, incluida la nuestra.



Utiliza lo aprendido durante esta unidad para contestar las siguientes preguntas.

- ¿Los seres humanos somos parte de la biodiversidad?, ¿por qué? (2 puntos).
- Selecciona un ambiente o ecosistema que conozcas y completa la siguiente ficha: (10 puntos).
  - Identificación del lugar.
  - Ubicación geográfica.
  - Descripción general del ambiente y sus especies.
  - Relevancia para los siguientes aspectos.

Obtención de recursos	Importancia ecológica	Servicios culturales

- Relaciona los siguientes conceptos en un organizador gráfico o en un texto breve: especies endémicas, especies nativas, aislamiento geográfico, *hotspot*, especiación y biodiversidad chilena. (5 puntos).
- Con la información de las siguientes tablas, desarrolla en tu cuaderno las actividades. (8 puntos).

Cantidad aproximada de especies nativas descritas para Chile.

Grupo de organismos	Nº de especies descritas
Diatomeas	563
Dinoflagelados, Silicoflagelados	300
Hongos	3 300
Líquenes	1 074
Plantas no vasculares (musgos y hepáticas)	1 400
Plantas vasculares	5 000
Invertebrados	15 726
Vertebrados	2 003
Total aproximado	30 500

Adaptado de [www.mma.gob.cl](http://www.mma.gob.cl)

Resumen de la biodiversidad taxonómica en el *hotspot* chileno.

Grupo de organismos	Total de especies	Especies endémicas
Plantas vasculares	3 893 (*)	1 957
Anfibios	43	29
Reptiles	41	27
Mamíferos	64	13
Aves	226	12
Peces	43 (*)	2 (**)

Cantidad de especies presentes el *hotspot* chileno. (\*)

Especies nativas (\*\*) Familias endémicas.

Adaptado de [www.mma.gob.cl](http://www.mma.gob.cl)



- a. ¿Qué proporción del total de las especies de Chile está en el *hotspot*?, ¿qué proporción de ellas es endémica?
  - b. ¿Qué porcentaje del total de las especies de plantas vasculares y de vertebrados se encuentra en el *hotspot*?
  - c. ¿Qué grupo de organismos presenta una mayor diversidad taxonómica?
  - d. ¿Cuáles son los tres grupos de organismos que tienen una mayor proporción de especies endémicas?
  - e. ¿En qué grupos se encuentra la mayor cantidad de especies nativas?
5. Con relación a las principales amenazas que afronta la biodiversidad, realiza las siguientes actividades: (6 puntos).
- a. Relaciona cada imagen a una de las amenazas contra la biodiversidad.
  - b. Menciona otras amenazas generales contra la biodiversidad.
  - c. Describe con tus palabras, cómo afectan a la biodiversidad cada una de las amenazas identificadas.
  - d. Escribe tres medidas para evitar o disminuir el daño a la biodiversidad, ocasionado por los factores identificados.

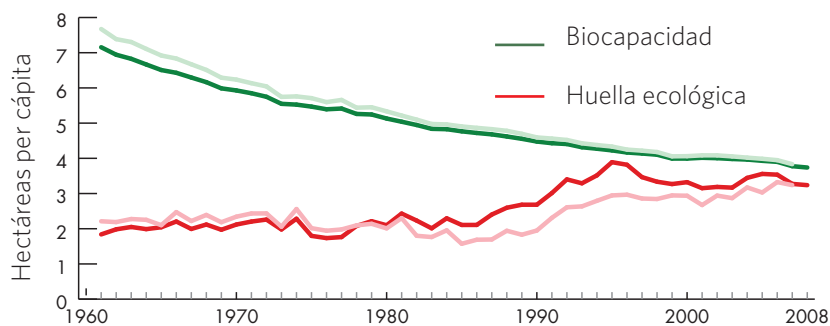


6. Explica la relación entre los siguientes tríos de conceptos: (4 puntos).
- a. Economía, recursos naturales y ecosistema.
  - b. Desarrollo social, pobreza y biodiversidad.
7. Crea un logotipo o imagen que haga referencia al desarrollo sustentable. Enséñalo y explícalo a tus compañeros. (5 puntos).

## Evaluación final de Unidad

8. ¿Cuáles fueron las causas del crecimiento poblacional durante el Neolítico y durante la Revolución Industrial?, ¿cómo se organizaban las sociedades en ambas épocas? (3 puntos).
9. ¿Qué características tiene el patrón de crecimiento de la población humana desde la Revolución Industrial?, ¿por qué ha sucedido así y qué consecuencias ha tenido sobre los ecosistemas? (4 puntos).
10. Explica o comenta las siguientes afirmaciones: (6 puntos).
  - a. El tamaño de cualquier población biológica está limitado por la capacidad de carga del ambiente.
  - b. El desarrollo de la ciencia y de la tecnología permite un incremento de la biocapacidad.
  - c. Los países desarrollados, a pesar de su bajo crecimiento poblacional, tienen una elevada huella ecológica.
11. Analiza los siguientes datos de nuestro país y luego responde: (8 puntos).

Huella ecológica de Chile por persona y la oferta de recursos o biocapacidad.



Fuente: [www.globalfootprintnetwork.org](http://www.globalfootprintnetwork.org)

Proporción en la que inciden distintos factores en la huella ecológica de Chile.

Factor	%
Emisiones de CO <sub>2</sub>	31,6
Demanda de recursos forestales	27,6
Cultivos	21,4
Demanda de recursos pesqueros	8,4
Otros	11

- a. Infiere cómo han variado en nuestro país, desde 1960 hasta la actualidad, el tamaño de la población, el acceso a bienes y servicios y la esperanza de vida.
  - b. ¿Cuáles han sido las consecuencias que ha tenido el desarrollo de nuestro país para el ambiente?
  - c. ¿Chile se está desarrollando sustentablemente? Explica.
12. Elabora un diagrama que describa los efectos del calentamiento global sobre los ecosistemas terrestres y acuáticos. (10 puntos).
13. Prepara un resumen escrito o una presentación con diapositivas, sobre las maneras en las que el calentamiento global afectará la disponibilidad de recursos naturales y el desarrollo sustentable. (10 puntos).

## Me evaluó

Con las indicaciones que te dé el profesor, cuenta los puntos que obtuviste en cada indicador. Luego, reflexiona acerca de tu progreso en la comprensión de los contenidos y marca con un ✓ el color que corresponda.

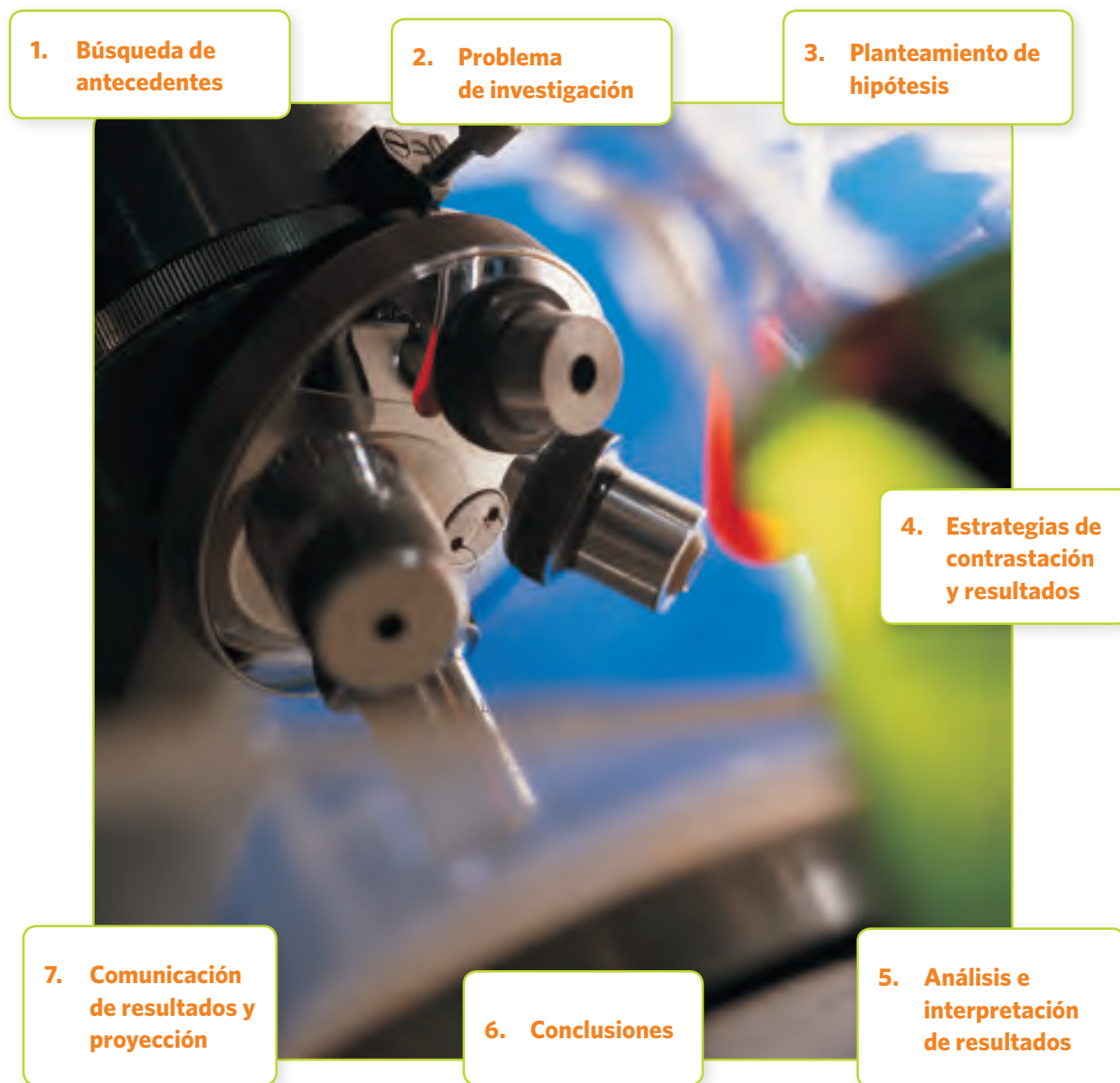
Indicador	Preguntas	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos	Puntos obtenidos
Explicar el concepto de biodiversidad y su importancia para diferentes ámbitos humanos.	1 y 2	6 o menos	7 a 9	10 o más
Describir las características generales de la biodiversidad en Chile.	3 y 4	7 o menos	8 a 10	11 o más
Identificar las principales amenazas que afronta la biodiversidad.	5	2 o menos	3 o 4	5 o más
Explicar el concepto de desarrollo sustentable.	6 y 7	4 o menos	5 a 7	8 o más
Analizar el problema del crecimiento poblacional humano a nivel mundial en relación con las tasas de consumo y los niveles de vida.	8, 9, 10 y 11	12 o menos	13 a 17	18 o más
Describir los efectos del calentamiento global en el ambiente y en las relaciones entre los organismos.	12 y 13	11 o menos	12 a 16	17 o más

■ Por lograr   
 ■ Logrado parcialmente   
 ■ Logrado totalmente

## Anexo 1: Procesos científicos

La investigación científica tiene como propósito comprender y explicar procesos y fenómenos que ocurren en la naturaleza, desde el interior del átomo hasta el universo en su conjunto. Para generar conocimientos generalizables y válidos, la ciencia se apoya en una serie de procedimientos, que a la vez involucran diversas habilidades de pensamiento.

En las secciones *Trabajo científico*, de este libro, se propone la aplicación y el desarrollo de algunos procesos científicos. A continuación se describe brevemente en qué consisten.



### 1. **Búsqueda de antecedentes**

Corresponde a la búsqueda y revisión de los datos acumulados por la ciencia relacionados con el tema de investigación.

### 2. **Problema de investigación**

Es la etapa en la que se estructura formalmente la idea de investigación. El problema de investigación da lugar a preguntas que intentan establecer la relación entre dos o más variables.

### 3. **Planteamiento de hipótesis**

Las hipótesis son explicaciones tentativas e iniciales a las preguntas de investigación. Deben ser lógicas y factibles de comprobar. Muchas veces las hipótesis se apoyan en cuerpos de conocimiento ya existentes.

### 4. **Estrategias de contrastación y resultados**

Se define el diseño de investigación a través del cual se pondrá a prueba la o las hipótesis. El diseño de investigación puede ser experimental o consistir en el análisis de investigaciones anteriores, entre otras estrategias. En esta etapa se debe indicar el procedimiento y los materiales necesarios, la forma de medir y registrar los datos y resultados. Además, se debe considerar la cantidad de réplicas necesarias.

### 5. **Análisis e interpretación de resultados**

Luego de obtenidos los datos de la investigación, estos se analizan. En esta etapa es fundamental la utilización de recursos como tablas y gráficos que permiten organizar los resultados, pues facilitan la búsqueda de patrones o tendencias. El análisis debe hacerse siempre considerando la o las hipótesis y, en último término, el problema de investigación que se intenta responder.

### 6. **Conclusiones**

Las conclusiones son inferencias válidas sobre la base de las evidencias recogidas durante la contrastación de la hipótesis y el análisis de los resultados. Es una etapa final en la que se explicitan los aspectos que permiten validar o rechazar la hipótesis de investigación, y otros hallazgos idealmente generalizables.

### 7. **Comunicación de resultados y proyección**

Comunicar los resultados implica presentar los aspectos más importantes de la investigación y darlos a conocer a la comunidad para enriquecer el conocimiento científico. Las formas de divulgarlos son variadas: por medio de informes, resúmenes científicos, pósteres o afiches, entre otros. Las proyecciones de una investigación consisten en ampliar esta hacia otros ámbitos del conocimiento o plantear el desarrollo de nuevas investigaciones a partir de nuevos problemas que surjan en el transcurso de una investigación.

## Anexo 2: Comunicación de resultados científicos

En ciencias, existen varias formas de comunicar resultados; las principales son: informe científico, resumen o *abstract* y panel o póster científico. A continuación, se entrega una descripción general de cada uno de ellos.

### a. Informe científico

Tiene como propósito comunicar el método, los resultados obtenidos y la discusión que se derivan de una investigación. En un informe científico se pueden reconocer las siguientes partes o secciones:

**Título del informe.** Presenta la temática central de investigación.

**Nombre del autor o autores.** Da a conocer la identidad de quienes desarrollaron la investigación.

**Resumen del trabajo o *abstract*.** Expone la idea general del trabajo en unas 100 o 150 palabras. Se refiere a la introducción, método, resultados y conclusiones.

**Introducción.** Presenta los antecedentes teóricos de la investigación (marco teórico), detalla las variables de estudio y plantea la hipótesis o las predicciones sobre los resultados esperados.

**Sección de materiales e instrumentos.** Describe los materiales utilizados en el desarrollo del experimento y los instrumentos, con sus unidades de medida y margen de error asociado a ellos.

**Procedimiento.** Describe la secuencia de los pasos desarrollados en el experimento.

**Sección de resultados.** Comunica en forma clara y concisa los resultados obtenidos. Este apartado solo expone los resultados y no su interpretación.

**Sección de discusión.** Interpreta los resultados obtenidos en el estudio. Cumple con verificar la relación entre los resultados y la o las hipótesis planteadas en el inicio, y revisar si se han cumplido las predicciones señaladas.

**Referencias bibliográficas.** Ordena alfabéticamente las fuentes utilizadas en la investigación.

## b. Resumen científico

Es una síntesis de la investigación. Presenta las ideas más relevantes de cada una de las etapas del trabajo realizado en una reseña que incluye los siguientes componentes:

- Objetivo de la investigación.
- Diseño o diseños experimentales.
- Resultados obtenidos.
- Interpretación de los resultados.

Al desarrollar el último elemento, el resumen debe contemplar información acerca de los antecedentes de la investigación, el método utilizado, los resultados obtenidos, su respectivo análisis y las conclusiones que se desprenden de la interpretación de los resultados. El siguiente cuadro muestra un ejemplo de construcción de un resumen científico.

**Título principal** (14 de Times New Roman o Arial-negrita)

*Nombre(s) Autor(es) (cursiva)*

Institución a la que pertenecen. Dirección

E-mail

Año de realización

Debe explicar el problema de investigación, materiales y métodos, resultados, discusión y conclusiones, en 200 a 250 palabras como máximo en formatos de letra Arial o Times New Roman en tamaño 12. Mantener espaciado sencillo y texto justificado.

**Palabras clave:** se buscan palabras relacionadas con el tema de la investigación que puedan servir para una posible búsqueda o clasificación.

## c. Panel o póster científico

Es una forma práctica y eficiente de comunicar resultados, pues entrega informaciones y datos en pocos minutos y de fácil lectura. Tiene un formato de afiche, lo que hace de esta modalidad gráfica un excelente medio visual para captar la atención de los lectores.

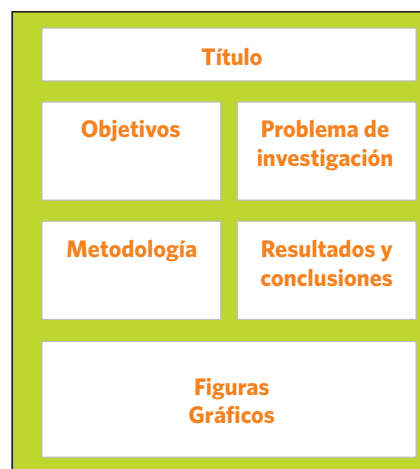
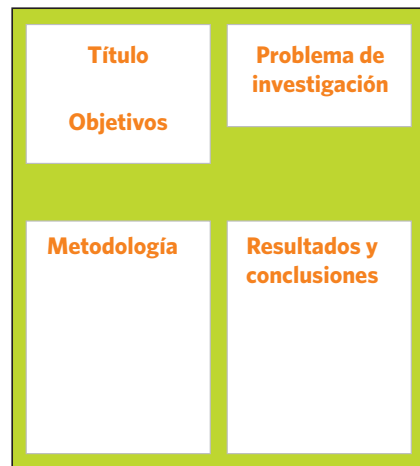
Para construir un póster científico hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Debe imponerse visualmente para lograr la atención de sus potenciales lectores.
- Su diseño debe privilegiar las imágenes por sobre el texto (ilustraciones, gráficos, figuras, entre otros). Además, es necesario cuidar los espacios en blanco para evitar el "peso" visual.
- Sus textos, a pesar de ser escuetos y precisos, no deben omitir información.
- Debe seguir una secuencia que facilite su lectura, es decir, que exprese un orden lógico para indicar los pasos seguidos en la investigación.
- Debe combinar los atributos de las exhibiciones y de la presentación oral.

Existen diferentes opciones para elaborar un póster científico. Sin embargo, hay ciertas secciones que siempre deben estar presentes:

1. El título de la investigación, el nombre de los autores y el nombre de la institución.
2. Una introducción, los objetivos de la investigación y la hipótesis que se somete a prueba.
3. La metodología, es decir, un resumen de los pasos de la etapa experimental.
4. Los resultados obtenidos y su análisis.
5. Las conclusiones.

Observa los siguientes ejemplos:





## Anexo 3: Organizadores gráficos

### ¿Qué es un organizador gráfico y para qué sirve?

Los organizadores gráficos son técnicas de estudio que ayudan a comprender un texto. Establecen relaciones visuales entre los conceptos clave de dicho texto y, por ello, permiten entender de manera más eficiente un contenido. Hay muchísimos tipos de organizadores gráficos y tú puedes crear muchos más. En este anexo conocerás los más comunes.

#### ▪ Mapa conceptual

Un mapa conceptual es un esquema en el que se organizan los conceptos más importantes de un tema. Estos se organizan desde el más general hasta el más específico y se conectan entre sí mediante palabras de enlace para formar oraciones lógicas.

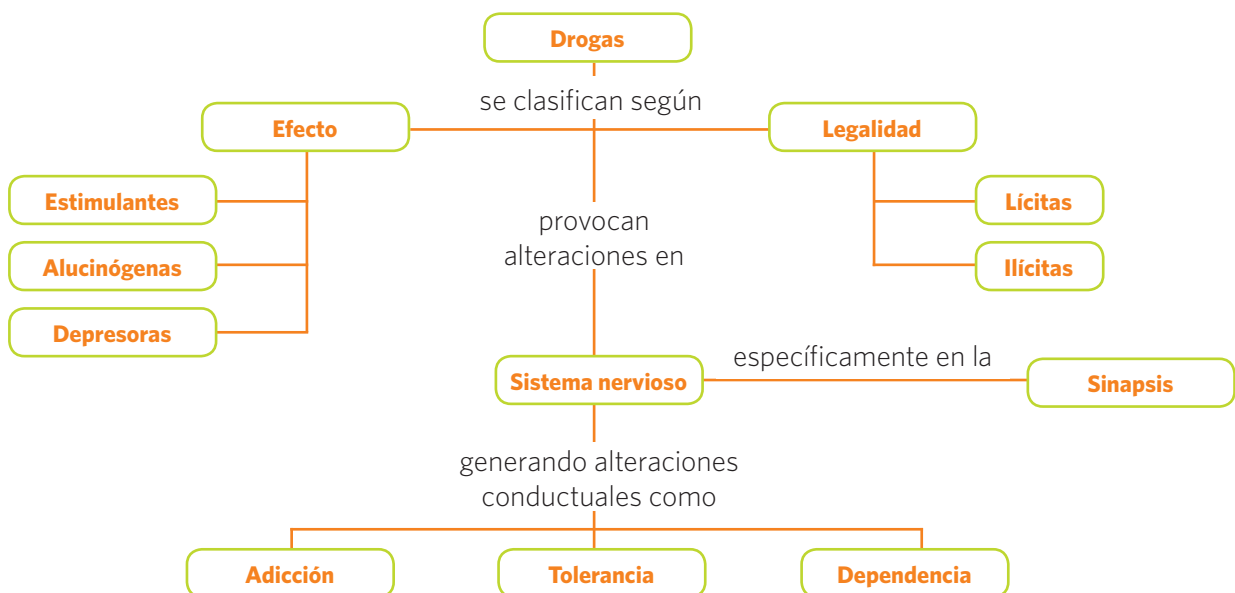
Para construir tu propio mapa conceptual, primero debes identificar los conceptos principales del texto que quieres organizar. Cuando los encuentres, puedes escribirlos en una hoja o subrayarlos, para que no los pierdas de vista.

Luego, los conceptos se ordenan según su importancia, es decir, del más general al más particular. Para identificar él o los conceptos generales puedes centrarte en las siguientes ideas:

- Debes determinar cuál es el tema principal del texto.
- Detectar los conceptos que aparecen en los títulos o subtítulos de las lecciones o de las unidades.

Posteriormente, debes anotar en una hoja el concepto más general en la parte superior, como inicio del mapa. Enseguida, se escriben los demás conceptos que se relacionen con este. Cada concepto se encierra en un recuadro u otra forma gráfica, y se trazan líneas que los relacionan. Al final se colocan las palabras de enlace o conectores para formar oraciones con sentido, que se leen de arriba hacia abajo.

Observa este mapa conceptual. Está construido con contenidos de la quinta lección de la Unidad 3.



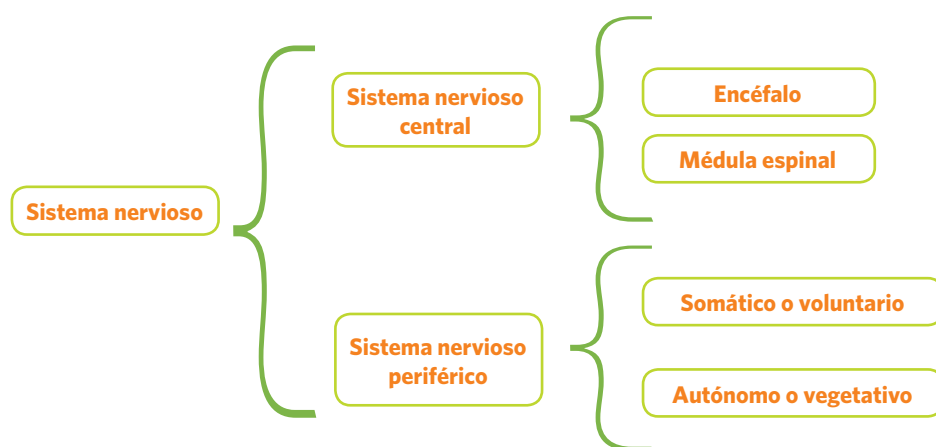
## ▪ Cuadro sinóptico

Otra forma para organizar y resumir la información relacionada con un tema es el cuadro sinóptico, en el que los conceptos se presentan ordenados de forma horizontal, adoptando una estructura lógica y fácil de visualizar. A continuación se detallan los pasos que debes seguir para elaborarlo.

Primero, debes identificar los conceptos principales del tema, lección o unidad para realizar el cuadro. Para organizar los conceptos, se escribe en el extremo izquierdo el concepto más general o importante. Luego se anotan, de arriba abajo, y separados del principal, los conceptos que siguen en importancia.

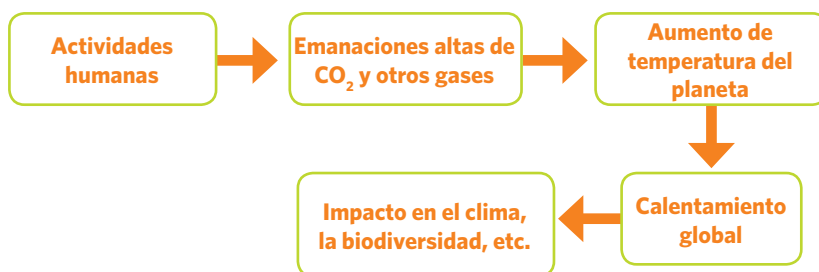
A continuación se escriben los conceptos secundarios, los que siguen en importancia o, si es el caso, los ejemplos. Para finalizar, se dibujan símbolos de llaves ({} ) para unir los conceptos del mismo nivel.

Observa el siguiente cuadro sinóptico elaborado con la información de la segunda lección de la Unidad 2.



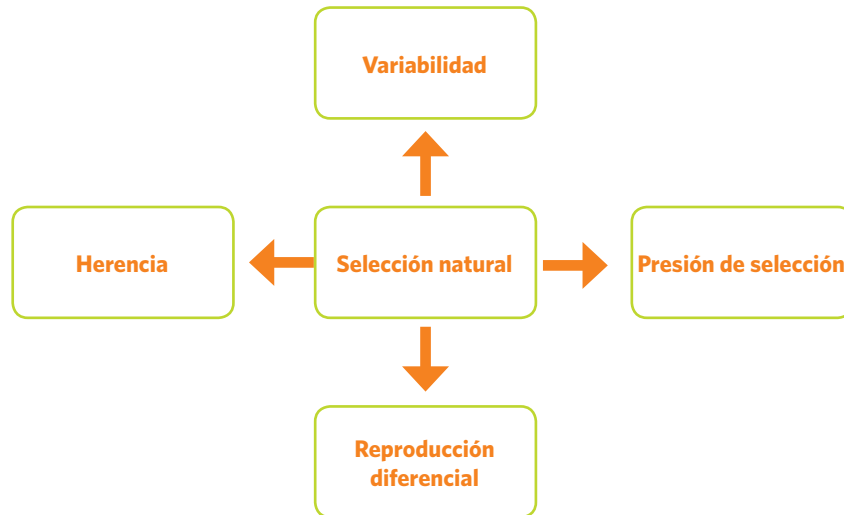
## ▪ Cadena de secuencias

Es un instrumento útil para representar cualquier cadena de eventos que ocurre en orden cronológico o para mostrar las fases de un proceso. Por ejemplo, podemos elaborar un organizador de la cuarta lección de la Unidad 8 que esquematiza cómo se genera el calentamiento global:



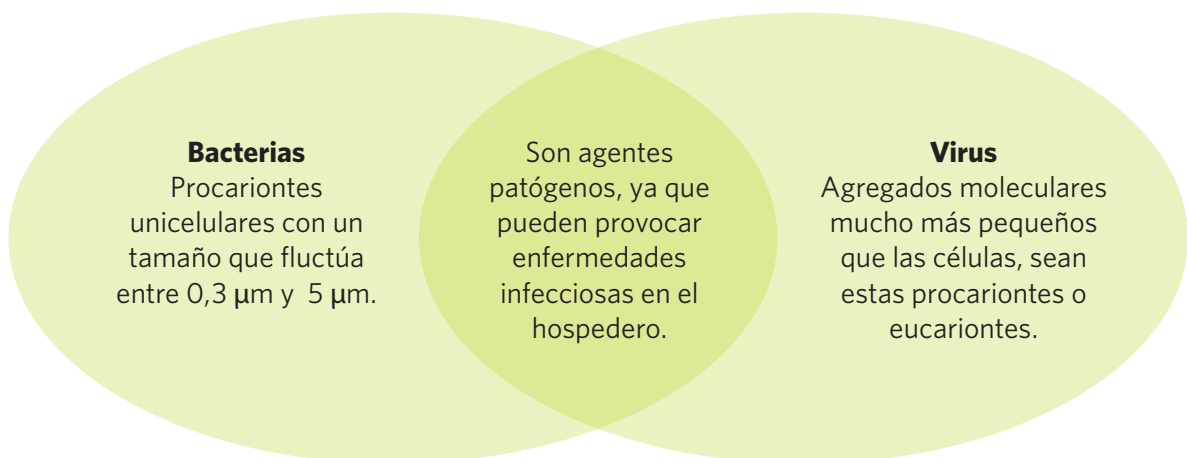
▪ **Rueda de atributos**

Este instrumento provee una representación visual de las características de un objeto, persona o concepto determinado. Se coloca el objeto analizado en el centro o eje de la rueda, y luego se dibujan rayos según el número de atributos que se definan; en el siguiente ejemplo, este tipo de organizador se utiliza para describir las condiciones necesarias para que opere la selección natural, de acuerdo a los contenidos entregados en la tercera lección de la Unidad 4.



▪ **De comparación y contraste**

Puedes emplear un organizador gráfico como este para identificar en qué se parecen y en qué se diferencian dos o más objetos o fenómenos; por ejemplo, podemos comparar bacterias y virus, usando la información entregada en la primera lección de la Unidad 7:



**Ácido desoxirribonucleico (ADN):** ácido de doble cadena que contiene información genética codificada en forma de secuencias específicas de los nucleótidos que lo componen.

**Ácido ribonucleico (ARN):** ácido lineal de cadena simple formado por una cadena de nucleótidos, y que participa principalmente en la síntesis de las proteínas.

**Alergia:** hipersensibilidad respecto de una sustancia determinada, la que provoca una respuesta anormal del sistema inmune.

**Anticuerpo:** proteína producida por las células plasmáticas como reacción específica a sustancias extrañas en la sangre o en los tejidos, actuando contra estos.

**Arco reflejo:** circuito que sustenta a un reflejo nervioso; está formado por un órgano sensitivo, una vía aferente, un centro de integración, una vía eferente y un efector, todos conectados mediante sinapsis.

**Autoinmunidad:** pérdida de la tolerancia inmune ante antígenos propios.

**Biodiversidad:** característica de la vida, relacionada con la variedad y variabilidad de todos los organismos vivos; incluye tres niveles: genético, taxonómico y ecológico.

**Biotecnología:** es el empleo de organismos, o parte de ellos, con el fin de obtener un beneficio para las personas, mediante el uso de técnicas, conocimientos y procesos que permiten diseñar y construir nuevos productos.

**Calentamiento global:** fenómeno del aumento de la temperatura media global, de la atmósfera terrestre y de los océanos.

**Deriva génica:** cambios en frecuencia de los genes en una población debido a fenómenos azarosos.

**Desarrollo sustentable:** modelo de desarrollo que permite satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

**Droga psicoactiva:** sustancia que, al ser introducida en el organismo, modifica la conciencia, el estado de ánimo o los procesos de pensamiento de un individuo; su consumo sostenido provoca también alteraciones en las funciones corporales.

**Efecto invernadero:** fenómeno por el que determinados gases atmosféricos retienen parte de la energía que la superficie del planeta emite al haber sido calentada por la radiación solar.

**Especiación:** proceso mediante el cual la población de una determinada especie da lugar a otra u otras poblaciones, aisladas reproductivamente entre sí y con respecto a la población original.

**Estrés:** cambio innato en el comportamiento del individuo ante la amenaza, con el objetivo de responder defensiva o adaptativamente frente al estímulo o situación que es percibido como un peligro (agente estresor).

**Evolución:** variación de la frecuencia de alelos en una población a lo largo del tiempo.

**Evolucionismo:** corriente científica que considera la existencia de un proceso de evolución mediante el cual los seres vivos se han ido diversificando a partir de un antepasado.

**Fijismo:** idea que sostiene que las especies actualmente existentes han permanecido invariables desde la Creación.

**Flujo génico:** intercambio de genes entre diferentes poblaciones de una misma especie; en ausencia de otros factores evolutivos, este proceso tiende a igualar las frecuencias génicas entre las poblaciones.

**Glía:** células del tejido nervioso. Se encargan de dar soporte estructural y fisiológico a las neuronas y de la producción de vainas de mielina, entre otras funciones.

**Homeostasis:** estado de constancia del medio interno con independencia del ambiente.

**Hormona:** sustancia liberada por una célula, tejido o glándula endocrina, que es transportada por la sangre y que regula la actividad de las células en otras zonas del organismo.

**Hotspot:** área geográfica en la que abundan especies endémicas cuyos hábitats se encuentran amenazados o en proceso de destrucción.

**Huella ecológica:** indicador que expresa el área de territorio que se necesita para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos generados por una persona, ciudad o país.

**Inmunidad:** protección que presentan los organismos contra microorganismos, proteínas, células cancerosas u otros elementos reconocidos como extraños.

**Inmunidad adaptativa:** desarrollada por el sistema inmune, elabora una respuesta específica para cada agente infeccioso y guarda memoria de él (puede impedir la reinfección).

**Inmunidad innata:** defensa inespecífica frente a agentes infecciosos.

**Inmunodeficiencia:** condición que el sistema inmune no cumple con el papel de protección que le corresponde, dejando al organismo vulnerable a la infección.

**Impulso nervioso:** potenciales de acción sucesivos que se van produciendo a lo largo del axón, y que se propagan como una onda de despolarización que viaja a lo largo de este.

**Linfocito:** subpoblación de glóbulos blancos encargada de las reacciones inmunes de defensa; existen tres grupos principales: los linfocitos T, los linfocitos B y las células asesinas naturales.

**Microorganismo patógeno:** categoría de agentes capaces de producir una enfermedad infecciosa; incluye a ciertas bacterias, protozoos, hongos unicelulares, además de virus y priones.

**Mutación:** cualquier cambio aleatorio en el ADN de un organismo; aunque pueden ser causa de enfermedades, las mutaciones también son fuente de variabilidad genética.

**Neurona:** célula considerada la unidad estructural y funcional del sistema nervioso; consta de soma, dendritas y un axón.

**Neurotransmisor:** mensajero químico empleado por las neuronas para transmitir impulsos de un lado a otro de una sinapsis.

**Organismo transgénico:** organismo al que se le ha incorporado material genético de una especie diferente.

**Órgano de Corti:** estructura situada en el oído interno de los vertebrados, contiene células receptoras para captar las vibraciones del sonido.

**Recombinación génica:** intercambio de segmentos de ADN entre moléculas provenientes de dos organismos diferentes (progenitores) que ocurre en especies que se reproducen sexualmente.

**Receptor:** estructura capaz de captar un estímulo y de iniciar un cambio en el funcionamiento del organismo o parte de este.

**Retina:** la membrana más interna de las tres que forman el globo ocular, está formada por varias capas de neuronas, incluyendo las células fotorreceptoras, conos y bastones.

**Selección natural:** es una de las causas de la evolución de las poblaciones. Para que opere deben darse cuatro condiciones en una población:

variabilidad, presión de selección, reproducción diferencial y herencia.

**Sinapsis:** unión que permite la comunicación de las neuronas entre sí o con los tejidos efectoras, como músculos o glándulas.

**Sistema endocrino:** sistema corporal que, junto con el sistema nervioso, ayuda a coordinar al organismo para regular su homeostasis. Lo componen principalmente glándulas y tejidos endocrinos.

**Sistema nervioso:** junto con el sistema endocrino controla la homeostasis del organismo. Para su análisis se divide en sistema nervioso central (SNC) y sistema nervioso periférico (SNP).

**Sistema nervioso central (SNC):** es un centro integrador de respuestas; recibe y transmite información desde y hacia el resto del cuerpo mediante el sistema nervioso periférico (SNP). En los vertebrados, está compuesto por el encéfalo y por la médula espinal.

**Sistema nervioso periférico (SNP):** transmite información sensitiva hacia el SNC e información motora, desde este hacia los músculos y glándulas. Está formado por ganglios y por nervios, ubicados fuera del SNC, pero conectados a este.

**Teoría sintética de la evolución:** se basa en las ideas darwinianas y es la teoría evolutiva más aceptada en la actualidad; postula varias causas de la evolución: la selección natural, las mutaciones genéticas, la recombinación de genes y el aislamiento geográfico.

**Termorregulación:** capacidad de los organismos homeotermos de regular y mantener su temperatura corporal estable dentro de ciertos rangos, aunque la temperatura ambiental circundante sea muy diferente.

**Traducción:** proceso que convierte una secuencia de ARNm en una cadena de aminoácidos para formar una proteína.

**Transcripción:** síntesis de una molécula de ARN a partir de un fragmento específico de ADN.

**Variabilidad genética:** es la variedad de genes presentes en una población. Su origen está en las mutaciones y en las especies que se reproducen sexualmente; también en los procesos de recombinación génica que ocurren durante la meiosis.

## A

Adaptación, 36, 147  
ADN, 222, 223  
Aislamiento reproductivo, 195, 196  
Alergias, 18, 304, 305  
Anticodón, 237  
Anticuerpos (inmunoglobulinas), 283, 288  
Adrenalina, 34, 37, 42  
Arco reflejo, 76  
Área

- de Broca, 61
- de Wernicke, 61

ARN,

- de transferencia (ARNt), 237
- mensajero (ARNm), 231
- polimerasas, 231, 232

Astrocitos, 53  
Autoinmunidad, 306, 307  
Axón, 51

## B

Bacterias, 261, 262  
Biocapacidad, 345  
Biodiversidad, 142,

- en Chile, 326, 327, 331
- niveles, 322
- pérdida, 328-330
- tipos, 324, 325

Bulbo raquídeo, 58

## C

Calentamiento global, 351  
Canales iónicos, 68  
Capacidad de carga, 345  
Células,

- asesinas natural killer (NK), 279
- de Schwann, 53
- dendríticas, 280
- presentadoras de antígenos profesionales (CPA), 280

Centro de integración, 77  
Cerebro, 60  
Cerebelo, 59  
Citoquinas, 282  
Código genético, 235  
Codón, 235  
Complejo mayor de histocompatibilidad (CMH), 277

Conos, 109  
Comunicación,

- endocrina, 20
- local, 20
- nerviosa, 20

Corteza cerebral, 33  
Cortisol, 37, 42-45

## D

Dendritas, 51  
Deriva génica, 184  
Desarrollo sustentable, 333-335  
Despolarización, 70  
Drogas, 122

- clasificación, 123
- efectos, 124-126

## E

Ecosistema,

- alteraciones, 352-353
- clasificación, 324, 325
- variaciones en Chile, 354-355

Efecto

- cuello de botella, 185
- invernadero, 349, 350

Efector, 77  
Estrés, 28, 29, 36, 37-39

- agudo, 38
- crónico, 38-40

Eje hipotalámico-hipofisiario-adrenal, 42  
Encéfalo, 57  
Entrecruzamiento (*crossing-over*), 180  
Especiación, 194,

- en Chile, 198, 199
- tipos, 196, 197

Estímulo, 54  
Evolución, 144  
Evolucionismo, 143  
Exocitosis, 72

## F

Fenotipo, 220  
Fiebre, 35  
Fijismo, 143  
Filogenia, 148  
Flujo génico, 182, 183, 200, 201

## G

Gen, 231  
Genoma, 234  
Glías, 53

## H

Hemisferios cerebrales, 61  
Hipersensibilidad, 303  
Hipófisis, 26  
Hipotálamo, 24, 25, 34, 35, 60  
Homeostasis, 17  
Hongos, 263  
Hormonas, 20  
Hotspot, 326, 327  
Huella ecológica, 346-347

## I

Infección, 296  
Impulso nervioso, 70, 71  
Inmunodeficiencia, 307  
Inmunidad,  
- adaptativa, 274, 275  
- innata, 271-273  
Inmunización, 299  
Índice de desarrollo humano (IDH), 345

## L

Ley del todo o nada, 71  
Linfocitos,  
- B, 279, 280  
- T, 279  
Líquido,  
- cefalorraquídeo, 56  
- extracelular (LEC), 18  
Lóbulos cerebrales, 61

## M

Macrófagos, 280  
Medio interno, 17  
Médula espinal, 56, 57  
Memoria inmunológica, 290  
Meninges, 56  
Mesencéfalo, 59  
Metabolismo, 17  
Microglías, 53  
Microorganismos patógenos, 270  
Mutaciones, 178, 179, 246-248

## N

Nervio,  
- aferente, 77  
- eferente, 77  
- espinales, 59, 61  
Neurona, 51  
- aferente (sensitiva), 52  
- asociativa, 52  
- bipolar, 52  
- eferente (motora), 52  
- multipolar, 52  
- pseudounipolar, 52  
Neurotransmisores, 20, 73  
Nodos de Ranvier, 51

## O

Oído,  
- estructura, 117  
- enfermedades, 120  
Ojo,  
- estructura, 104-107  
- enfermedades, 111  
Oligodendrocitos, 53  
Organismos homeotermos, 32  
Órgano de Corti, 113

## P

Patógeno, 260  
Percepción, 98  
Permutación cromosómica, 180, 181  
Población, 144  
- crecimiento histórico, 340-342  
- distribución actual, 343  
Potencial,  
- de acción, 70  
- de receptor, 100  
- de reposo, 69  
- de umbral, 71  
Priones, 267  
Protozoos, 263  
Protuberancia anular (puente), 59  
Proyecto genoma humano, 240-241

## R

Receptor,  
- barorreceptores, 79  
- BCR, 281  
- clasificación, 99

- cualidades, 101
- de reconocimiento de patrones (Prr),
- fotorreceptores, 109
- quimiorreceptores, 77
- sensoriales, 98
- TCR, 281
- termorreceptores, 33

Rechazo inmune, 310, 311

Recombinación génica, 180

Reflejos, 55, 76

Replicación del ADN, 224, 226

- enzimas involucradas, 228, 229

Respuesta

- celular citotóxica, 289
- celular DTH o de hipersensibilidad retardada, 290
- humoral, 286

Retina, 108

Ribosomas, 236, 237

## S

Selección,

- natural, 157-159, 186-189
- sexual, 190, 191

Sensación, 98

Sida, 308, 309

Sinapsis, 72

- eléctrica, 73
- química, 73, 74

Sistema,

- ABO, 312
- abierto, 15
- aislado, 15
- cerrado, 15
- de retroalimentación, 23, 33
- endocrino, 41
- límbico, 60
- nervioso autónomo, 24, 62
- nervioso central, 55
- nervioso entérico, 24, 25, 62

- nervioso parasimpático, 24, 25, 63

- nervioso periférico, 62

- nervioso simpático, 24, 25, 63

- nervioso somático, 62

Soma, 51

Sustancia

- blanca, 60

- gris, 60

## T

Teoría

- de la evolución mediante selección natural, 155

- de selección clonal, 287

- del equilibrio puntuado, 161

- sintética de la evolución, 162

Terminal axónica, 51

Termorregulación, 32-35

Tiroxina, 34

Tolerancia inmunológica, 306

Traducción, 238

Transformismo (lamarckismo), 155

Transcripción del ARNm, 231-233

Transfusiones sanguíneas, 311, 312

Transporte a través de la membrana, 18

Trasplante de órganos, 310

Tronco encefálico, 26, 58

## U

Umbral de excitación, 100

Uniformismo, 143

Unión neuromuscular, 74

## V

Vacunación, 300, 301

Vaina de mielina, 51

Variabilidad genética, 178

Virus, 264, 266



## 1

## Control de la homeostasis

## Lección 2. (págs. 20 a 25)

## Trabaja con lo que sabes

- A:** testículo.  
**B:** páncreas.  
**C:** hipófisis.  
**D:** glándula suprarrenal.  
**E:** ovario.
- Testículo:** testosterona.  
**Páncreas:** insulina / glucagón.  
**Hipófisis:** HFE / HL / tiotropina.  
**Glándula suprarrenal:** cortisol / aldosterona / adrenalina.  
**Ovario:** progesterona / estrógenos.

## Antes de seguir

- a:** La glicemia.  
**b:** El alza de glicemia provoca la secreción de insulina y el descenso de la glicemia causa la secreción de glucagón.  
**c:** Retroalimentación negativa.  
**d:** Las células hepáticas.

## Evaluación de proceso (págs. 28 y 29)

- a:** Líquido extracelular y plasma.
- a:** Son el sistema endocrino y el sistema nervioso; su función básica es coordinar e integrar las respuestas adaptativas del organismo frente a cambios que modifican la homeostasis.  
**b:** Sistema de retroalimentación, estos pueden ser positivos y negativos.
- a:** Información nerviosa (impulsos nerviosos) y endocrina (hormonas).

## Lección 3. (págs. 30 a 33)

## Trabaja con lo que sabes

- a:** Sí.  
**b:** Se desnaturaliza, perdiendo sus propiedades funcionales.

## Antes de seguir

- La respuesta nerviosa es más rápida y la endocrina más duradera.

## Lección 4. (págs. 34 a 41)

### Trabaja con lo que sabes

2. 4 o 5 personas.
3. En las mujeres.

### Actividad 4

1. **a:** Psicológico.  
**b:** Psicológico.  
**c:** Físico.

### Actividad 5

1. La respuesta nerviosa.

### Antes de seguir

1. El sistema nervioso es responsable de una respuesta inmediata y momentánea, mientras que las respuestas del sistema endocrino son más lentas y duraderas.
3. Cortisol.

### Evaluación de proceso (págs. 44 y 45)

2. La adrenalina, secretada por la glándula suprarrenal y la T3, secretada por la tiroides.
4. **a:** Hiperagudo

### Evaluación final (págs. 48 a 51)

4. Endocrina y nerviosa.
6. **a:** Formación del medio interno.  
**b:** Homeostasis
7. **a:** Glicemia.  
**b:** El páncreas.  
**c:** La secreción de insulina se debe al aumento de la glicemia y la de glucagón, a su descenso.  
**d:** De la insulina en el hígado y tejidos, y del glucagón solo en el hígado.  
**e:** Viajan por la sangre, la insulina aumenta el ingreso de la glucosa a las células y la formación de glucógeno, y el glucagón tiene el efecto contrario.
8. Hipotálamo.

## 2

### Organización y función del sistema nervioso

#### Lección 1 (págs. 54 a 57)

##### Trabaja con lo que sabes

- b:** En el nucléolo se sintetizan las subunidades ribosomales y en los ribosomas se sintetizan las proteínas.  
**c:** Sí.

##### Actividad 2

- Dendritas, axón y terminal axónica, respectivamente.
- Del diámetro del axón y de la presencia de vaina de mielina.

##### Antes de seguir

- Dendritas, axón y terminal axónica, respectivamente.
- La sustancia gris está formada por somas y la sustancia blanca y los nervios, por axones.
- Los astrocitos.
- Los oligodendrocitos en el sistema nervioso central y las células de Schwann en el sistema nervioso periférico.

#### Evaluación de proceso (págs. 70 y 71)

- b:** Multipolar.  
**c:** Sensitiva o motora.
- Soporte: oligodendrocitos y células de Schwann; nutrición: astrocitos; producción de vaina de mielina: células de Schwann y oligodendrocitos.

#### Lección 3 (págs. 72 a 75)

##### Trabaja con lo que sabes

- a:** Regulan el paso de sustancias a través de la membrana.  
**c:** De su tamaño y carga eléctrica.

##### Antes de seguir

- Bomba de sodio potasio: transporte activo; canales iónicos con y sin puerta de voltaje: transporte pasivo.

2.

	Canales con puerta activados por voltaje para el Na <sup>+</sup>	Canales con puerta activados por voltaje para el K <sup>+</sup>
Membrana polarizada	Cerrados	Cerrados
Membrana despolarizada	Abiertos	Cerrados
Membrana repolarizada	Cerrados	Abiertos

3. De su diámetro y de la presencia de vaina de mielina.

## Lección 5 (págs. 80 a 83)

### Antes de seguir

3. **Tos:** bulbo.  
**Dilatación de la pupila:** mesencéfalo.  
**Vómito:** bulbo.  
**Movimiento de los ojos:** mesencéfalo, cerebelo.  
**Tiritar:** hipotálamo.

### Evaluación de proceso (págs. 86 a 87)

1. **c:** Fibra nerviosa polarizada-generación del potencial de acción (despolarización - repolarización).  
**d:** La bomba de sodio - potasio.  
**f:** En la neurona polarizada el Na<sup>+</sup> se encuentra en mayor proporción fuera de la neurona que dentro de ella; durante la despolarización, una pequeña fracción de estos iones ingresa a la célula. El caso opuesto sucede con el K<sup>+</sup>.
2. **a:** Apertura de los canales para el Ca<sup>2+</sup>, fusión de las vesículas con neurotransmisores con la membrana del botón presináptico, exocitosis de los neurotransmisores al espacio sináptico, unión de los neurotransmisores con los receptores de la membrana del botón postsináptico, apertura de los canales de sodio en la membrana de la neurona postsináptica, degradación y/o recaptura del neurotransmisor.  
**b:** Acetilcolina; contracción de la fibra muscular; contracción continua (tétanos).
3. **a:** Receptores: del seno carotídeo y del arco aórtico; nervio aferente: glossofaríngeo y vago; centro de integración: centro respiratorio (bulbo y protuberancia); nervio eferente: frénico; efectores: diafragma e intercostales.

**b:** Receptores: del centro vasomotor y del seno carotídeo y del arco aórtico; centro de integración: centro vasomotor (neuronas del bulbo, protuberancia y formación reticular); efectores: músculo liso de las arteriolas y corazón.

### Evaluación final (págs. 90 a 93)

1. Sistema nervioso periférico: nervios craneales, nervios espinales y nervios simpáticos y parasimpáticos; sistema nervioso central: hemisferio cerebral, diencefalo, médula espinal, tronco encefálico y cerebelo.
5. Bomba sodio-potasio, transporte activo; difusión facilitada: transporte pasivo.
6. **a:** Tiempo y voltaje.  
**b:** Gráfico 1: Potencial de membrana en reposo, gráfico 2: Impulso nervioso, gráfico 3: Despolarización inicial, sin alcance del umbral.
7. **a:** a: membrana del botón presináptico; b: vesícula con neurotransmisores; c: neurotransmisores; d: receptores; e: canales iónicos; f: membrana del botón postsináptico.  
**b:** Sinapsis química.  
**c:** Degradación enzimática del neurotransmisor y/o su recaptura.
8. **a:** Receptor, vía aferente, centro de integración, vía eferente y efector.

## 3

### Sensación y percepción

#### Lección 1 (págs. 96 a 101)

##### Trabaja con lo que sabes

1. **a:** receptor.  
**b:** vía aferente.  
**c:** centro de integración.  
**d:** vía eferente.  
**e:** efector.

##### Antes de seguir

2. **a:** mecanorreceptor / propioceptor.  
**b:** termorreceptor / exteroceptores e interoceptores.  
**c:** mecanorreceptor / propioceptor.  
**d:** quimiorreceptor / interoceptor.  
**e:** nociceptor / exteroceptor.

## Lección 2 (págs. 102 a 105)

### Antes de seguir

- Humor vítreo y esclerótica.
- La córnea y el cristalino, ambos son lentes convergentes.
- Los fotorreceptores se encuentran en la retina, y son conos y bastones.

## Lección 3 (págs. 106 a 109)

### Trabaja con lo que sabes

- a:** Córnea, humor acuoso, iris (por la pupila), cristalino, humor vítreo y retina.

**b:** Córnea y cristalino.
- En el lóbulo occipital.

### Antes de seguir

- Hipermetropía.
- Son pigmentos fotosensibles que al reaccionar con la luz, producen el potencial de receptor.

## Evaluación de proceso (págs. 112 a 113)

- b:** Que el estímulo alcance cierta intensidad o umbral de excitación.

**c:** Depende de la intensidad del estímulo y de la cantidad de receptores involucrados.

**d:** Deja de percibir.
- 

Modalidad	Estímulo	Tipo de receptor según la:		
		Naturaleza del estímulo	Funcionalidad	Tejido u órgano receptor
Visión	Luz	Fotorreceptor	Exterorreceptor	Retina
Audición	Sonido	Mecanorreceptor	Exterorreceptor	Cóclea
Equilibrio	Movimiento de la cabeza	Mecanorreceptor	Propiorreceptor	Órgano vestibular
Tacto	Mecánico	Mecanorreceptor	Exterorreceptor	Piel
Dolor	Varios	Nociceptor	Exterorreceptores e interorreceptores	Piel y órganos
Gusto	Químico	Quimiorreceptor	Exterorreceptor	Lengua y faringe
Glucosa	Químico	Quimiorreceptor	Interorreceptor	Hipotálamo

- 6. a:** Células ganglionares, células amacrinas, células bipolares, células horizontales y fotorreceptores  
**b:** Capa pigmentada: absorbe el exceso de luz y nutre a los fotorreceptores; conos y bastones: células fotorreceptoras, reaccionan ante la luz y producen impulsos nerviosos; neuronas ganglionares: sus axones forman el nervio óptico.

## Lección 4 (págs. 114 a 119)

### Actividad 3

- 20 a 20 000 ciclos por segundo.
- Entre los 100 y los 10 000 ciclos por segundo.
- Cerca de los 0 dB.
- Alrededor de los 130 dB.

### Antes de seguir

- a:** La onda A se percibirá como un sonido más agudo y la B como uno más grave. Ambas ondas tienen la misma amplitud y se sentirán igual de fuerte.  
**b:** Receptores ubicados en la parte más angosta del caracol responderán a la onda A, mientras que la onda B estimulará a receptores más cercanos a la base del caracol, donde es más grueso.

## Lección 5 (págs. 120 a 127)

### Antes de seguir

- En general, la dopamina estimula la neurona postsináptica y se relaciona con la sensación de bienestar.
- 

Efecto en la sinapsis	Droga	Efectos en el sistema nervioso
Inhibe la recaptación de dopamina.	Cocaína	Estimulante
Estimula la liberación de dopamina.	Anfetaminas	Estimulante
Bloquea los inhibidores de la dopamina.	Marihuana	Depresor
Inhibe el efecto excitador del glutamato.	Alcohol	Depresor

## Evaluación de proceso (págs. 130 a 131)

- a:** Se perciben los sonidos B y C.  
**b:** El sonido B.

4.

Droga	Clasificación		Acción en la sinapsis
	Legalidad	Efectos en el SNC	
Alcohol	Legal	Depresor	Inhibe el efecto excitador del glutamato.
Marihuana	Ilegal	Depresor	Bloquea los inhibidores de la dopamina.
Cocaína	Ilegal	Estimulante	Inhibe la recaptación de dopamina.

## Evaluación final (págs. 134 a 137)

2.

Tejido u órgano receptor	Clasificación según su...		Estímulo	Modalidad
	Funcionalidad	Tipo de estímulo		
Órgano de Corti	Exterorreceptor	Mecanorreceptor	Ondas de presión del aire	Sonido
Retina	Exterorreceptor	Fotorreceptor	Luz	Visión
Mucosa olfatoria	Exterorreceptor	Quimiorreceptor	Químico	Olfato
Cuerpo carotídeo	Interorreceptor	Quimiorreceptor	Químico	Oxígeno arterial
Lengua y faringe	Exterorreceptor	Quimiorreceptor	Químico	Sabor
Hipotálamo	Interorreceptor	Quimiorreceptor	Químico	Glucosa

## 4

### Teorías evolutivas

#### Lección 4 (págs. 160 a 161)

##### Trabaja con lo que sabes

- a:** Hojas redondeadas y flores amarillas.  
**b:** 1 y 2: hojas redondeadas y flores amarillas; 2 y 4: hojas redondeadas y flores rojas; 3 y 4: hojas alargadas y flores amarillas.
- Con el de la recombinación, independiente de los factores de la herencia.



## Evaluación final (págs. 168 a 171)

5.

Estructura 1	Estructura 2	A/H	C/D
Ojos compuestos de los insectos.	Ojos en cámara de los mamíferos.	A	C
Patas delanteras de los caballos.	Brazos humanos.	H	D
Escamas de los reptiles.	Plumas de las aves.	H	D
Alas de los murciélagos.	Alas de los zancudos.	A	C

6. a: A: fósil en ámbar y B: huella fosilizada (impronta).

## Lección 1 (págs. 174 a 179)

### Trabaja con lo que sabes

- Flores rojas y borde aserrado.
- 1 y 2: flores rojas y hojas de borde liso; 2 y 4: flores rojas y hojas de borde aserrado; 3 y 4: flores blancas y hojas de borde liso.

## Lección 2 (págs. 180 a 183)

### Actividad 3

- En el gráfico 1 se fijaron cinco alelos y en el gráfico 2 se fijó uno.
- En la población con diez individuos.

## Lección 3 (págs. 184 a 189)

### Actividad 4

- Una mandíbula inferior con un ancho cercano a 13 mm.
- Aquellos cuyas mandíbulas tengan un ancho muy inferior o muy superior a los 13 mm.
- Selección direccional

## Evaluación de proceso (págs. 192 a 193)

- a: Entrecruzamiento.

b: En células germinales formadoras de gametos.

c: Aumenta la variabilidad genética.
- a: 600 g.

b: Inferior a 200 g y superior a 800 g.

c: Selección estabilizadora.

## 5

### Causas de la evolución y de la especiación

#### Lección 4 (págs. 194 a 199)

##### Actividad 5

1. Aislamiento conductual.
2. Aislamiento conductual químico.
3. Aislamiento temporal.

#### Evaluación de proceso (págs. 202 a 203)

Modo de acción	Tipo de aislamiento: Precigótico/Postcigótico
Interrupción del desarrollo del híbrido.	Postcigótico
Especies emparentadas de una misma localidad explotan recursos distintos.	Precigótico
Los órganos copuladores de especies similares son incompatibles.	Precigótico
Los híbridos presentan esterilidad, por lo que no pueden reproducirse.	Postcigótico
Los gametos de especies distintas no pueden unirse, a pesar de que se encuentren.	Precigótico

#### Evaluación final (págs. 206 a 209)

4. **b:** Una masa corporal inferior a dos kilogramos.  
**c:** Selección estabilizadora.
5. **a:** C.  
**b:** Selección intersexual.  
**c:** Selección direccional.

## 6

### ADN y biotecnología

#### Lección 1 (págs. 212 a 215)

##### Trabaja con lo que sabes

2. Además del núcleo, también existe en las mitocondrias y en los cloroplastos de las células vegetales.
4. Durante la mitosis.

## Lección 2 (págs. 216 a 221)

### Trabaja con lo que sabes

- a:** 4c.  
**b:** Etapa S

### Actividad 2

- a:** Etapa S.  
**b:** Una burbuja y dos horquillas de replicación.  
**c:** Eucariontes.

### Antes de seguir

- Topoisomerasa, helicasa, proteínas SSB, ADN primasa, ADN polimerasa y ADN ligasa.

## Lección 3 (págs. 222 a 227)

### Trabaja con lo que sabes

- Son el lugar para la síntesis de proteínas.
- Nucleótido, compuesto de una base nitrogenada, una pentosa y un grupo fosfato.
- Timina con adenina y citosina con guanina.

### Actividad 4

- Al ARNm.
- 3' AUGACAGCA 5'.
- Girasa: desenrolla el ADN, helicasa: rompe los puentes de hidrógeno, ARN polimerasa: sintetiza ARN.
- El promotor es la secuencia a la que se unen los factores de transcripción (función reguladora), mientras que el sitio de inicio es la secuencia a la cual se une la ARN polimerasa.

### Antes de seguir

- Es redundante porque existe más de un codón para codificar un aminoácido, y es universal porque casi todos los seres vivos se valen del mismo código.
- a:** AUG ACA GCA GGU CAA CGG UAA.  
**b:** Met-Thr-Asp-Gly-Gln-Arg-Fin.

## Lección 4 (págs. 228 a 231)

### Trabaja con lo que sabes

- a:** 4.  
**b:** 4.
- Ribosomas.
- Una posibilidad es: codones: UAUUGUAGU; ADN: ATAACATCA.

## Antes de seguir

- ADN: TAC ACC GTC TAC; ARNt: UAC ACC GUC UAC.
- Iniciación.
- Transcripción: ARN; traducción: polipéptidos o proteína.
- Unir un aminoácido específico al ARNt correspondiente.

## Evaluación de proceso (págs. 234 a 235)

- b:** Una va en sentido 5' a 3' y la otra en sentido 3' a 5'

**c:** AAT CGA CGT.
- a:** Núcleo, ARN.

**b:** ARN polimerasa.

**c:** Regula la unión de la ARN polimerasa y, por lo tanto, la proteína que se sintetiza.
- a:** Citoplasma (ribosomas), polipéptidos (proteínas).

**b:** El ARNr forma parte de los ribosomas y cataliza el enlace peptídico y ARNt que transporta aminoácidos hasta los ribosomas. Las aminoacil ARNt sintetizas unen un aminoácido específico al ARNt, de acuerdo con su anticodón.

**c:** Porque hay más de un codón para un aminoácido.

## Lección 5 (págs. 236 a 237)

- b:** Mitocondrias y cloroplastos.

## Lección 6 (págs. 238 a 241)

- Secuencia correcta: CAC; secuencia mutada: CTC.
- a: I** ARNm: UAU CGU GGU GAG AUA; aminoácidos: Tyr-Arg-Gly-Glu-Ile. **II** ARNm: UAU CGU CCU GAG AUA; aminoácidos: Tyr-Arg-Pro-Glu-Ile **III** ARNm: UAU CGU GGU GAA AUA; aminoácidos: Tyr-Arg-Gly-Glu-Ile.
- c:** Puntual.
- b:** Físico.

## Evaluación de proceso (págs. 250 a 251)

3.

Situación	Según sus efectos en el fenotipo	Según el tipo celular afectado	Según la extensión del material afectado
El cariotipo de una mujer con síndrome de Turner es 45, X.	Perjudicial	Somática	Genómica
Los hijos de una mujer hemofílica son hemofílicos.	Perjudicial	Germinal	Puntual
Una joven tiene una proteína que impide la acumulación de colesterol en sus arterias.	Beneficiosa	Somática	Puntual

## Evaluación final (págs. 254 a 257)

- a:** A: Grupo fosfato; B: pentosa; C: base nitrogenada.  
**b:** Bases púricas y pirimídicas.  
**c:** Bases púricas son adenina y guanina y pirimídicas son la timina y la citosina.
- Dirección de las hebras: antiparalelas; hebras: dos;  
 complementariedad de bases: adenina con timina y guanina con citosina.
- a:** CTC AAT GTA TAC AAG GGC TGG TAG TAC GGC GAC AGG  
 GCA GAC AAG CTG TTG ATC CGT TAT.  
**b:** CTC AAT GTA TAC AAG GGC TGG TAG TAC GGC GAC AGG  
 GCA GAC AAG CTG TTG ATC CGT TAT.  
**c:** AUG UUC CCG ACC AUC AUG CCG CUG UCC CGU CUG  
 UUC GAC AAC.  
**d:** Met-Phe-Pro-Thr-Ile-Met-Pro-Leu-Ser-Arg-Leu-Phe-Asp-Asn.

## 7

## Inmunidad

### Lección 4 (págs. 284 a 291)

#### Antes de seguir

1.

	Antígenos exógenos	Antígenos endógenos
Ejemplos	Toxinas, componentes de la cápside de virus, entre otros.	Antígenos presentes en algunas bacterias y protozoos, entre otros.
Péptidos unidos a	CMH II, presente en CPA.	CMH I, presente en cualquier célula nucleada.
Presentado a	LT TCD4+	LT CD8+
Tipo de respuesta efectora	Inmunidad celular y humoral.	Inmunidad celular.

## Evaluación de proceso (págs. 292 a 293)

4. Macrófago: fagocitan y son CPA; sistema de complemento: participa en la respuesta inflamatoria, formación de complejos de ataque de membrana e inducción de la fagocitosis; célula dendrítica: son CPA; citoquinas: respuesta inflamatoria e inducción de la transformación de los linfocitos a células efectoras.

## Lección 6 (págs. 302 a 309)

### Trabaja con lo que sabes

- a. Aquellas criadas en un ambiente libre de gérmenes.

## Lección 7 (págs. 310 a 313)

### Antes de seguir

3. **a:** Una a los grupos O y AB y dos a los grupos A y B.  
**b:** El dador universal es el grupo O y el receptor universal es el grupo AB.

## Evaluación de proceso (págs. 316 a 317)

2. Inyección de inmunoglobulinas: inmunidad artificial pasiva; producción de anticuerpos al estar enfermo: inmunidad natural activa; traspaso de anticuerpos de la madre al feto a través de la placenta: inmunidad natural pasiva.
9. **a:** Adquirida.  
**b:** Por contacto sexual, de la madre al hijo a través de la lactancia, por intercambio de agujas entre drogadictos.  
**c:** A aquellas que tengan el receptor CD4; manteniendo una pareja sexual, uso correcto del preservativo, entre otras.

## Evaluación final (págs. 320 a 323)

3. **a:** Ciclo de reproducción de un virus de ADN.  
**c:** Porque requieren de la maquinaria celular para multiplicarse.  
**f:** Su destrucción.
- 4.

	Inmunidad innata	Inmunidad adaptativa
Tiempo que tarda en responder	Inmediata	Tres a cinco días
Específica o inespecífica	Inespecífica	Específica
Tipos de receptores	Prr	TCR y BCR
Tiene memoria	No	Sí

## 8

## Biodiversidad

**Lección 3 (págs. 344 a 351)****Antes de seguir**

1. Durante el Neolítico: período interglaciar, desarrollo de la agricultura y la ganadería; durante el siglo XVIII fue debido a la industrialización de la producción de alimentos y mejoras en la salud; durante el siglo XX: grandes mejoras en la producción de alimentos y avances en salud.
3. Que la producción de alimentos crece a menor ritmo que la población.
4. Biocapacidad: es la disponibilidad de recursos en el ambiente y la capacidad de carga corresponde a la máxima cantidad de individuos que pueden habitar indefinidamente un ambiente, sin disminuir la disponibilidad y acceso a los recursos.

**Evaluación final (págs. 366 a 369)**

4. **a:** 14,1 % y 6,7 %  
**b:** 77,9 % y 20,8 %  
**c:** Invertebrados.  
**d:** Las plantas vasculares, los anfibios y los reptiles.  
**e:** En las plantas.
8. Durante el Neolítico se desarrollaron la agricultura y la ganadería, lo que aumentó la biocapacidad del ambiente, y durante la Revolución Industrial se incrementó la eficiencia en la producción de alimentos y se produjeron importantes mejoras en la salud.
9. Exponencial.

- Abbas, A., Lichtman, A. (2004). Inmunología celular y molecular (5 ed.). Madrid: Elsevier.
- Alberts, B., Bray, D., Lewia, J., Raff, M., Roberts, K., y Watson, J. (2004). Biología molecular de la célula (4 ed.). España: Ediciones Omega.
- Armesto, J.J., Villagrán, C., y Kalin, M. (1995). Ecología de los bosques nativos de Chile. Santiago: Editorial Universitaria.
- Audersirk, T., Audersirk, G., Byers, B. (2003). Biología: La vida en la Tierra (6 ed.). México: Pearson Educación.
- Campbell, N. A. y Reece, J. B. (2007). Biología. (7 ed) España: Editorial Médica Panamericana.
- CONAMA (2008). Biodiversidad de Chile. Patrimonio y desafíos (3 ed.). Santiago: Ocho Libros Editores.
- Curtis, H., Barnes, N. (2006). Biología. (6 ed.). España: Editorial Médica Panamericana.
- Drogas y cerebro. Disponible en: [www.jellinek.nl/brain/index.html](http://www.jellinek.nl/brain/index.html)
- Escuela de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile. Curso en línea de Neuroanatomía. Disponible en: <http://escuela.med.puc.cl>
- Facultad de Medicina, Universidad de La Frontera. Apuntes neuroanatomía. Disponible en: [www.med.ufro.cl](http://www.med.ufro.cl)
- Fuentes, E. (1989). Ecología: introducción a la teoría de poblaciones y comunidades. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Futuyma, D. (1997). Evolution (3 ed.). Massachusetts: Sinauer Associates.
- Ganong, W. F. (2002). Fisiología médica (13 ed.). Madrid: Editorial Interamericana McGraw-Hill.
- Gómez-Río, M. (2007). Neuroimagen y drogodependencias: correlatos neuroanatómicos del consumo de cocaína, opiáceos, cannabis y éxtasis. Revista de Neurología, 44, 432-439.
- Gómez, A. y Motles, E. (comp.) (1993). Fisiopatología del sistema nervioso. Santiago: Publicaciones Técnicas Mediterráneo.
- Gould, S. (2002). La estructura de las teorías evolutivas. Massachusetts: Harvard University Press.
- Griffith, A., Gelbart, W., Miller, J. y Lewontin, R. (2000). Genética moderna. Madrid: Editorial Interamericana McGraw-Hill.
- Guyton, A. y Hall, J. (2006). Tratado de fisiología médica. (11 ed.). Madrid: Elsevier.



- Haines, D. E. (2003). Principios de neurociencia. (2 ed.). Madrid: Elsevier.
- Hill, R. W., Wyse, G. A. y Anderson, M. (2006). Fisiología animal. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Kandel, E. R. (2001). Principios de neurociencia. (3 ed.). España: Interamericana Mc Graw-Hill.
- Male, D., Brostoff, J., Roth, D., Roitt, I. (2001). Immunology (6 ed.). Londres: Mosby.
- Martin, J. (1998). Neuroanatomía. Texto y atlas. (2 ed.). Madrid: Prentice Hall.
- Morgues, M., Henríquez, M. T., Tohá, D., Vernal, P., Pittaluga, E., Vega, S. y Reyes, C. (2002). Sobrevida del niño menor de 1500 g en Chile. Revista Chilena de Obstetricia y Ginecología, 6, (2), 100-105.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1994). Glosario de términos de alcohol y drogas. Madrid: Ministerio de Sanidad y Consumo.
- Parker, J., Martinko, J., Madigan, M., Brock. (2003). Biología de los microorganismos (10 ed.). Madrid: Prentice Hall.
- Parrao, T. Caracterización del déficit olfativo en enfermedad de Parkinson y su correlación con el estado cognitivo. (2009). Tesis de Magíster en Ciencias Biológicas, Mención Neurociencias. Santiago: Universidad de Chile, Facultad de Medicina.
- Pianka, E. (1982). Ecología evolutiva. Barcelona: Ediciones Omega.
- Pocock, G. y Richards, C. (2005) Fisiología humana. La base de la medicina (2 ed.). Madrid: Ediciones Masson S. A.
- Ridley, M. (1985). The problems of evolution. New York: Oxford University Press.
- Ridley, M. (2003). Evolution (3 ed.). Cambridge: Blackwell Science.
- Snell, R. (2007). Neuroanatomía clínica. (6 ed.). Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Solomon, E. P., Berg, L. R., Martin, D.W., y Villee, C.A. (2001). Biología (5 ed) México D. F.: Editorial Interamericana McGraw-Hill.
- Sunkel, O. (1997). Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno (2 ed.). Programa de Desarrollo Sustentable, Centro de Análisis de Políticas Públicas, Universidad de Chile.
- Tortora, G. y Grabowski, S. (1996). Principios de anatomía y fisiología. (7 ed.). Madrid: Ediciones Harcourt. S.A.
- Spotorno, A. Y Huecker, G. (1993). Elementos de biología celular y genética. (2 ed.). Santiago: Facultad de Medicina, Universidad de Chile.

## Nuestros agradecimientos a:

- Juan Carlos Pacheco A. por la fotografía: Ranita de Darwin (pág. 159).
- Reinaldo Vargas C. por la fotografía: *Dendroseris litoralis* (pág. 198).
- Francisco Santander Z. por las fotografías: *Liolaemus lemniscatus* y *Liolaemus nitidus* (pág. 199).
- Nelson Wohllk G. por la fotografía: Tiroiditis (pág. 307).
- Israel Becerra B. por la fotografía: Bosque de araucarias (pág. 330).
- Florentino Alvarado F. por la fotografía: Pájaro carpintero (pág. 331).

Referencias de los textos: *Enciclopedia de las preguntas*, Tomos 10, 17 de los autores: Julia Pomiés, Marcela Codda y los ilustradores Paulo Soverón, Carlos Escudero (Acuatromanos Estudio), Juan Eberhard, Julián Bustos, Edgardo (Kabe) Solas (Color digital). Santillana, Buenos Aires, Argentina, 2008. *Ciencias Naturales 8, Proyecto Bicentenario* de los autores: Omar Aguilar Martínez, Sergio Flores Carrasco, Rodrigo Marchant Ramírez, Ana Piña Peña y Patricio Ross Zelada, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2009. *Biología 1, Proyecto Bicentenario*, de los autores: Patricia Berrios Torrejón, Franco Cataldo Lagos, Dante Cisternas Alburquerque, Mario Galindo Díaz y Paola Llanos Vidal, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2009. *Biología 2, Proyecto Bicentenario*, de los autores: Ingrid Alvial Chandía, Franco Cataldo Lagos, Sergio Flores Carrasco y Ethel Velásquez Opazo, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2011. *Biología 3, Proyecto Bicentenario*, de los autores: Franco Cataldo Lagos, Emma Díaz Véliz, Susana Domínguez Villarroel y Sergio Flores Carrasco, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2012. *Biología 3°*, de los autores: Sergio Flores Carrasco, Rocío Fuentes Castro, José Antonio Muñoz Reyes, Francisca Neira Castillo, Viviana Valdés de Petris y Andrea Vergara Rojas, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2011. *Biología 4°*, de los autores: Luis Flores Prado, Rosa González Silva y José Aravena Rodríguez, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2009. *Ciencias Biológicas 2*, de los autores: Sergio Flores Carrasco, Luis Flores Prado y Germán Manríquez Soto, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2006. *Ciencias Biológicas 3*, de los autores: Luis Flores Prado y Germán Manríquez Soto, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2006. *Ciencias Biológicas 4*, de los autores: Luis Flores Prado y Germán Manríquez Soto, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2006. *Biología I*, proyecto *Manual Esencial Santillana*, de los autores: Patricia Castañeda Pezo, Sergio Flores Carrasco, Fermín González Bergas, Ethel Velásquez Opazo, María Trinidad Sánchez Dueñas, Dante Cisterna Alburquerque y Mauricio Bravo Álvarez, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2007. *Biología II*, proyecto *Manual Esencial Santillana*, de los autores: Mauricio Bravo Álvarez, Patricia Castañeda Pezo, Dante Cisterna Alburquerque, Luis Flores Prado, Fermín González Bergas, Germán Manríquez Soto, Carlos Osorio Abarzúa, Ethel Velásquez, Santillana del Pacífico S.A. de Ediciones, Santiago, Chile, 2007. *Saberes clave Santillana Biología 2: Los procesos de cambio en los sistemas biológicos: evolución, reproducción y herencia*, de los autores: Alejandro J. Balbiano, María Gabriela Barberi, Nora B. Bombara, Marcelo A. Diez, Celia E. Iudica y Pablo A. Otero, Ediciones Santillana S.A., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 2010. *Saberes clave Santillana Biología 3: El intercambio de información en los sistemas biológicos: relación, integración y control*, de los autores: Susana Alvarez, Alejandro J. Balbiano, Ricardo Franco, Elina I. Godoy, María Cristina Iglesias y María Inés Rodríguez Vida, Ediciones Santillana S.A., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 2010. *Saberes clave Santillana Biología 4: El intercambio de materia y energía en el ser humano, en las células y en los ecosistemas*, de los autores: Alejandro J. Balbiano, Ricardo D. Franco, Elina I. Godoy, María Cristina Iglesias, Celia E. Iudica, Pablo A. Otero e Hilda C. Suárez, Ediciones Santillana S.A., Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 2010.



**Edición especial para  
el Ministerio de Educación**  
Prohibida su comercialización

