

Biología

2^o

MEDIO

TEXTO DEL ESTUDIANTE

Autoría

Jorge Alvarado López

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

Manuel Bustos Villagrán

Licenciado en Educación Biológica
Profesor de Biología y Ciencias Naturales
Universidad Metropolitana de Ciencias de la Educación
Magíster en Educación, mención Currículum
Pontificia Universidad Católica de Chile

Manuel E. Cortés Cortés

Licenciado en Ciencias Biológicas con Certificado Académico en Física Fundamental
Doctor (c) en Ciencias de la Agricultura, Fisiología y Nutrición animal
Monitor de Educación en Afectividad y Sexualidad Teen STAR
Pontificia Universidad Católica de Chile

David Santibáñez Gómez

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

Biología 2° Año de Educación Media Texto del Estudiante

DIRECCIÓN EDITORIAL
Arlette Sandoval Espinoza

COORDINACIÓN EDITORIAL
María José Martínez Cornejo

EDICIÓN
Andrea Tenreiro Bustamante

AUTORÍA
Jorge Alvarado López
Manuel Bustos Villagrán
Manuel E. Cortés Cortés
David Santibáñez Gómez

REVISIÓN DE CONTENIDOS
Manuel E. Cortés Cortés

AYUDANTÍA DE EDICIÓN
Sebastián Pereda Navia

CORRECCIÓN DE ESTILO
Sara Martínez Labbé
Natalia Leiva Salum

JEFA DE OPERACIONES EDITORIALES
Andrea Carrasco Zavala

DIRECCIÓN DE ARTE
Carmen Gloria Robles Sepúlveda

COORDINACIÓN DE DISEÑO
Gabriela de la Fuente Garfias

DISEÑO DE PORTADA
José Luis Jorquera Dölz

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Daniel Monetta Moscoso

ILUSTRACIONES
Cristian González Valdés

FOTOGRAFÍA
Archivos fotográficos SM

ediciones 

Este libro corresponde al Segundo año de Enseñanza Media y ha sido elaborado conforme al Decreto 254/09 del Ministerio de Educación de Chile.

© 2011 – Ediciones SM Chile S.A. - Coyancura 2283, piso 2, oficina 203 - Providencia, Santiago.

ISBN 978-956-264-973-5 / Depósito legal N° 209031

Se terminó de imprimir esta edición de 245.000 ejemplares en el mes de xxxxxxx del año 2012

Impreso por Xxxxxxxx

Impreso en Chile / Printed in Chile

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



Biología 2^o MEDIO

¿Qué significa biología? ¿Qué significado tiene para ti el estudiar biología?

Detente un momento y podrás darte cuenta de que la biología te acompaña y te trasciende. Tú eres un organismo biológico y gran parte de lo que ves, sientes y tocas también lo es. Maravilloso, ¿cierto? Bueno, aprender biología significa, entre otras cosas, comprender la dinámica del mundo natural, reconocer la importancia de conservar y mantener nuestro medio ambiente, además de valorar profundamente el cuidado y respeto hacia nuestro propio cuerpo y el de los demás.

El Texto que ahora está en tus manos fue creado para motivar tus ganas de conocer más, cuestionar, razonar y experimentar sin límites, dando rienda suelta a tu imaginación y a tu necesidad de respuestas.

Adéntrate en el estudio de la vida al conocer un poco más de una ciencia que está presente en ti y en tu entorno. Asómbrate con lo que eres capaz de lograr durante el año y descubre procesos biológicos que se están produciendo todos los días y sin detenerse, aunque tal vez antes no te habías dado cuenta de ello.

Unidad 1

Reproducción celular 8

Evaluación inicial	9
Actividad procedimental de inicio	10
Residencia del material genético	12
¿Cómo es el núcleo?	13
ADN: unidad del material genético	14
¿Cómo se organiza el material genético?	15
Cromosomas: máxima condensación del material genético	16
Cariotipo humano	18
Fenotipo: ¿por qué somos como somos?	20
Evaluación de proceso	22
Ciclo celular: toda célula proviene de otra	24
Interfase: estado de reposo aparente	25
Mitosis	26
Citocinesis o citodiéresis: división final	28
Organización del material genético	29
La importancia de la mitosis	30
La importancia de regular la mitosis	31
Lectura científica	
Cáncer, descontrol de la división celular	32
Meiosis I: reducción del material genético y base de la variabilidad	34
Meiosis II	36
Importancia de la meiosis	38
Comparación entre mitosis y meiosis	39
Actividad procedimental avanzada	40
Síntesis	42
Evaluación final	43

Unidad 2

Herencia biológica 46

Evaluación inicial	47
Actividad procedimental de inicio	48
Explicaciones sobre la herencia: ¿por qué son parecidos progenitores y descendientes?	50
Caracteres heredados y adquiridos: no toda característica es heredable	51
Mendel y su trabajo de investigación	52
El primer experimento de Mendel	54
Teoría particulada, la explicación de Mendel	56
Terminología genética	58
Ejercicios resueltos de genética	59
Evaluación de proceso	60

Lectura científica

El segundo experimento de Mendel	62
Explicación del experimento 2 de Mendel	64
Ejercicios resueltos de dihibridismo	65
Actividad procedimental avanzada	66
Herencia ligada al sexo	68
Herencia sin dominancia completa	70
Herencia en la especie humana	72
Árbol genealógico: estudio de la herencia	74
Enfermedades hereditarias	76
Síntesis	78
Evaluación final	79

Unidad 3

Función reguladora de las hormonas 82

Evaluación inicial	83
Actividad procedimental de inicio	84
Introducción a las funciones celulares	86
Actividad secretora de la célula	87
Las hormonas son secreciones que modulan la actividad celular	88
Procesos regulados por hormonas	91
La actividad hormonal depende del origen químico de la hormona	92
Evaluación de proceso	94
Lectura científica	
Consecuencias de la acción hormonal	96
Órganos, tejidos y células secretoras	98
Actividad procedimental avanzada	106
Mecanismos generales de retroalimentación negativa	108
Regulación de la glicemia	110
El nivel de glucosa sanguínea es regulado por mecanismos endocrinos y nerviosos	111
Diabetes mellitus: síntomas parecidos, diferentes causas	112
Síntesis	114
Evaluación final	115

Unidad 4	Reproducción y sexualidad humana	118	Unidad 5	Organismos y medio ambiente	158
Evaluación inicial		119	Evaluación inicial		159
Actividad procedimental de inicio		120	Actividad procedimental de inicio		160
La maravilla del proceso reproductivo		122	Organismos y su interacción con el medio		162
Sistema reproductor masculino		124	Interacciones entre individuos: poblaciones		164
Espermatogénesis: los testículos como gónadas		126	Actividad procedimental avanzada		168
Sistema reproductor femenino		128	Interacciones entre poblaciones: comunidades		170
Ovogénesis: los ovarios como gónadas		129	Interacciones entre comunidades y su ambiente: ecosistemas		175
Desarrollo folicular y ovogénesis		130	Evaluación de proceso		176
Gametos: células reproductoras		131	Los seres humanos y la modificación de hábitat		178
Ciclo reproductor femenino		132	Efectos directos sobre el ambiente		179
Regulación hormonal del ciclo		133	Efectos directos sobre otras especies		180
Evaluación de proceso		134	Efectos indirectos sobre otras especies		181
Fecundación: el inicio de la vida humana		136	Contaminación en Chile		182
Actividad procedimental avanzada		138	Chile y el reemplazo del bosque nativo		183
Implantación		140	Chile y sus especies en peligro		184
Anexos embrionarios		141	Flora y fauna en peligro		186
Período embrionario y fetal		143	Chile y la introducción de especies		188
Principales cambios durante el embarazo		144	Lectura científica		
El parto		145	Modificación de hábitat y especies ingenieras		190
Lectura científica			Síntesis		192
Principales factores implicados en la regulación del parto y la lactancia		146	Evaluación final		193
Afectividad y sexualidad: componentes esenciales de la persona		148	Anexo		
Métodos de planificación de la familia		150	Evaluación de síntesis 1		196
ETS: enfermedades de transmisión sexual		152	Evaluación de síntesis 2		197
Síntesis		154	Evaluación de síntesis 3		198
Evaluación final		155	Solucionario		200
			Glosario e índice temático		220
			Pauta para el diseño de una investigación		223
			Bibliografía		224



Conoce tu Texto

¿Para qué fueron pensadas las secciones de tu Texto?



Inicio de unidad

Para motivar el estudio de los contenidos, vinculando algunos temas con situaciones cotidianas y algunos ejemplos de aplicación. Además, en una tabla se detallan las principales metas de aprendizaje propuestas para la unidad.



Actividad procedimental de inicio y avanzada

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



Contenido

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



Lectura científica

Para trabajar un contenido de la unidad a través de la descripción y ejercitación de ciertas habilidades de pensamiento científico.

Iconografía

Yo me evaluó

Sección que permite revisar los avances obtenidos en el trabajo de la unidad a través de las preguntas y los indicadores de logro de los aprendizajes.

Recuerda

Sección de síntesis y formalización de contenidos conceptuales.

Ayuda

Sección que aporta información teórica o práctica y que apoya el desarrollo de una actividad o el tratamiento de un contenido.



Evaluación de proceso y final

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



Síntesis

Para sintetizar, integrar y relacionar en un organizador gráfico los conceptos centrales de la unidad. Además, la instrucción sugiere una breve actividad para complementar su correcta lectura.

ANEXO

Para complementar el material entregado en las unidades, se incluyen tres evaluaciones de síntesis que integran contenidos, el solucionario de todas las actividades del Texto, un glosario e índice temático, una pauta para el diseño de una investigación y la bibliografía utilizada para la construcción del Texto.



Para profundizar

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

Investig@

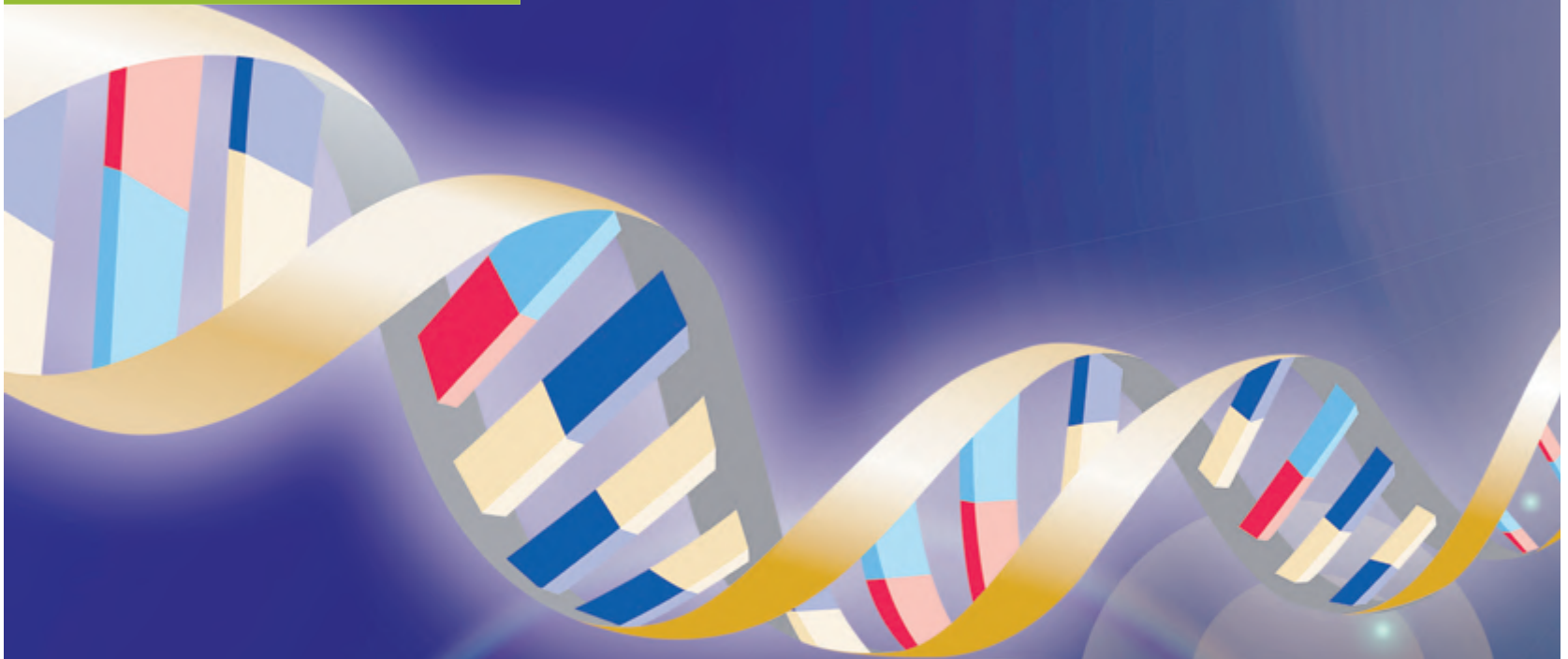
Sección que propone trabajar con un sitio web e integrar las actividades que presenta con el diseño de las etapas necesarias para resolverlas, finalizando la investigación con un informe.

Actividad

Sección que apoya el desarrollo de los contenidos; se trabajan actividades que complementan la información teórica y se ejercitan habilidades específicas.

Unidad 1

Reproducción celular



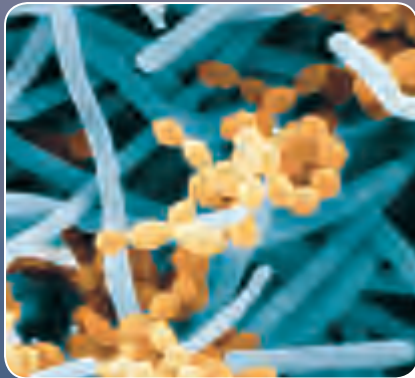
¿Qué aprenderás?	¿Para qué?	¿Dónde?
Planteamiento de un problema de investigación.	Plantear un problema de investigación a partir de observaciones, desarrollar las otras etapas del método científico y vincularlas con el problema en cuestión.	Páginas 10, 11, 40, 41 y 43.
Núcleo, material genético y formas de organización.	Reconocer la presencia de material genético en el núcleo de las células eucariontes y a la molécula de ADN como el principal componente genético e identificar sus distintas formas de organización, estructura y conformación.	Páginas 12 a 19.
Fenotipo y genotipo.	Comprender que cada individuo presenta características fenotípicas (anatómicas, fisiológicas y conductuales) que son el resultado de la expresión genética (genotipo) y de la influencia del ambiente.	Páginas 20 y 21.
Mitosis	Comprender que la mitosis es un tipo de división celular que permite la conservación del material genético y distinguir la importancia de este mecanismo en procesos de crecimiento, desarrollo y cáncer.	Páginas 24 a 33 y 39.
Limitaciones y utilidades de los modelos y teorías científicas.	Identificar las limitaciones y utilidades de modelos y teorías científicas en el estudio sobre el cáncer.	Páginas 32 y 33.
Meiosis	Comprender que la meiosis es un tipo de división celular que permite la formación de gametos y reconocer su implicancia en la variabilidad genética de los organismos.	Páginas 34 a 39.

Evaluación inicial

Durante gran parte de la historia de la humanidad, se pensó que la vida de animales y vegetales surgía espontáneamente a partir de materia inerte. En 1668, Redi dio el primer golpe contrario a esta idea cuando demostró que los gusanos no se originaban de forma espontánea desde unos trozos de carne en descomposición. Sin embargo, fue Pasteur, doscientos años después, quien con sus experimentos sobre la multiplicación de los microorganismos unicelulares dio lugar y aceptación definitiva a la idea de Virchow de que “toda célula proviene de otra célula”, lo que se convirtió en un postulado de la teoría celular. En otras palabras, esto significa que si una célula origina a otra célula es porque tiene la capacidad de dividirse.

En las dos fotografías de esta página se ejemplifica la importancia que tiene para los organismos la división celular. A partir de esto, responde.

1. ¿En qué crees que consiste la división celular? ¿Qué debería pasar con el material genético?
2. ¿Por qué se dice que la división celular es el modo de reproducción de los organismos unicelulares?
3. La regeneración de tejidos es un proceso fundamental que se da en los organismos pluricelulares. ¿Te has fijado en lo que sucede cuando te cicatriza una herida? Bueno, esta condición se logra gracias a sucesivas divisiones celulares. ¿En qué otros casos crees que interviene este mecanismo? Piensa en procesos que están ocurriendo en tu cuerpo.



▲ Reproducción de organismos unicelulares.



▲ Crecimiento de organismos pluricelulares.

Etapas experimentales

1. Planteamiento del problema.

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

¿Qué es un problema de investigación?

Es una pregunta que se plantea el investigador o la investigadora luego de observar e identificar las variables involucradas en el estudio. Estas son: la variable manipulada o independiente y la variable respuesta o dependiente.

Ayuda

De la observación emergen las variables que están presentes tanto en el problema de investigación como en la hipótesis. Recuerda que el problema debe formularse considerando el posible efecto de la variable independiente sobre la dependiente.

Pasos para plantear un problema de investigación

Paso 1: observar el fenómeno que se desea estudiar.

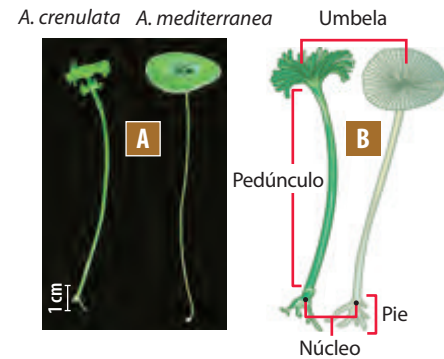
Paso 2: identificar las variables involucradas.

Paso 3: relacionar las variables en una pregunta.

En la medida en que se descubría que el núcleo era una estructura característica de las células eucariontes, resultó ser una gran motivación para los científicos determinar su función. Fue así como en la década de 1930 Joachim Hämmerling realizó uno de los experimentos más reveladores respecto de la función del núcleo y de su contenido: el material genético.

Procedimiento experimental

Hämmerling trabajó con una célula bastante grande que constituye a un organismo unicelular llamado **acetabularia**, alga marina que puede alcanzar un tamaño de 10 cm de alto. En las figuras de esta página se presentan fotografías a escala (A) y representaciones esquemáticas (B) de dos especies de esta alga, en las que se muestran sus estructuras principales.



Estas dos especies se diferencian en la forma de la umbela o sombrerillo. En *Acetabularia crenulata* es irregular y en *Acetabularia mediterranea* es circular. En el pie del alga se destaca la presencia del núcleo (ver figura).

Uno de los trabajos experimentales de Hämmerling se basó en la observación de la gran capacidad de estas algas para regenerar su umbela cuando la perdían, ya que tiempo después de perderla volvían a desarrollar la umbela correspondiente. Hämmerling se preguntó si esta capacidad de regeneración dependía de la información genética contenida en el núcleo, por lo que hizo un experimento en el que extrajo el núcleo en ambas especies, lo que le permitió observar como resultado que no se generaba una nueva umbela.

Planteamiento del problema

El trabajo experimental anterior fue precedido por la observación atenta de Hämmerling del fenómeno de regeneración celular. Así identificó claramente las variables involucradas.

- **Variable manipulada o independiente:** la presencia de núcleo.
- **Variable respuesta o dependiente:** la regeneración de la umbela.

Identificadas las variables, las relacionó y planteó el siguiente problema:

¿Qué relación existe entre la presencia de núcleo y la regeneración de la umbela de acetabularia?

A partir de la información anterior, responde.

- a. ¿Cómo se relaciona la observación con la identificación de las variables?
- b. ¿Cómo se relaciona el experimento con las variables del problema?
- c. Identifica y menciona los pasos para plantear un problema de investigación cualquiera. En este caso, ayúdate con la información del recuadro lateral.

Obtención e interpretación de resultados

Los resultados del experimento anterior confirmaron la hipótesis del científico, en la que sostenía que la regeneración de la umbela dependía exclusivamente del material genético contenido en el núcleo. Es por eso que las algas sin umbela y con sus núcleos extraídos no regeneraron los sombrerillos. Sin embargo, Hämmerling no se conformó con esta interpretación, y para reconfirmarla diseñó el siguiente experimento:

Cortó los pedúnculos a nivel de la umbela y a nivel del pie, y los intercambió. Quedaba entonces el pie de *A. crenulata* con el pedúnculo de *A. mediterranea* y el pie de *A. mediterranea* con el pedúnculo de *A. crenulata* (ver 1).

El resultado fue sorprendente, ya que las umbelas que se regeneraron fueron las que correspondían al pedúnculo y no a las del nuevo pie (ver 2). ¿Acaso eran erróneas sus ideas respecto al núcleo como centro de control celular?, ¿contenía el pedúnculo sustancias que permitieran la regeneración de la umbela? Si las umbelas se regeneraban según el pedúnculo que tenían, significaba que habría una "sustancia" contenida en ellos, producida en el núcleo original, que viajaría hacia la parte superior del pedúnculo y regeneraría a la umbela. Por venir del núcleo original, Hämmerling asumía que en algún momento esta sustancia se agotaría (su acción sería transitoria).

La curiosidad de Hämmerling lo llevó a seguir investigando, y surgió con ello un nuevo problema que guió el resto de su investigación:

¿Qué sucedería si a las algas regeneradas de la experiencia anterior les cortara las umbelas?

a. ¿Cuál crees que fue la observación que le permitió plantear este problema?

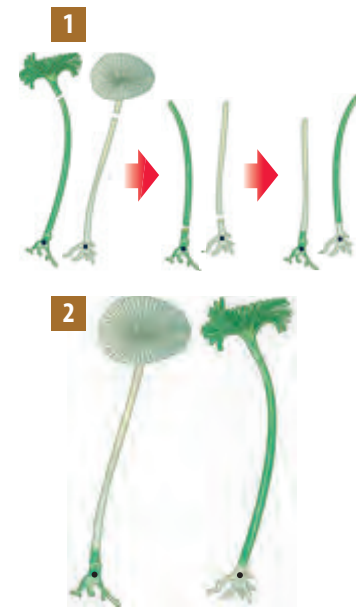
Formulación de hipótesis y elaboración de conclusiones

a. Según lo anterior, ¿qué hipótesis formularías?

Para comprobar si su hipótesis era correcta, Hämmerling desarrolló el siguiente diseño experimental: a las algas con la umbela regenerada según el respectivo pedúnculo (experiencia anterior) les cortó las umbelas y esperó a que se regeneraran.

Como resultado encontró que se formaron las umbelas correspondientes al pie del alga y no al pedúnculo (ver 3). Increíble, ¿no? Confirmó sus resultados luego de permitir que estas se regeneraran varias veces (lee la sección *Ayuda*).

b. Elabora la conclusión del experimento. Recuerda que esta debe aceptar o rechazar la hipótesis a partir de los resultados obtenidos.



Ayuda

La "sustancia" que recorre el pedúnculo de la acetabularia es generada a partir del ADN contenido en el núcleo.



Yo me evalúo

De la actividad anterior:

- ¿qué te resultó más difícil?, ¿por qué?

Esta actividad está centrada en comprender cómo se origina el **planteamiento de un problema** y cómo se vincula con las demás etapas del método científico.

- ¿Qué hiciste para responder cada pregunta?
- ¿Cómo sabes que lo hiciste correctamente?
- ¿Cómo se relaciona la observación con el problema?

Residencia del material genético

El **núcleo celular** fue uno de los primeros organelos en ser descubiertos. Gracias a ello se logró tempranamente su descripción (Robert Brown en 1831). Sin embargo, las investigaciones demoraron en desentrañar la función de su contenido: el **material genético**. Casi cien años después, la investigación pionera fue la realizada por el alemán Joachim Hämmerling con el alga acetabularia.

Gran parte del mundo científico creía que la diferenciación de las células en tejidos se debía a la pérdida gradual de segmentos de material genético (genes), lo que explicaba, por ejemplo, que en una célula muscular solo quedaban los genes propios de las células musculares y que otros se perdían. Esta idea fue desechada en los sesenta gracias a los experimentos realizados por John Gurdon, los que permitieron establecer que las características hereditarias se encontraban alojadas en el núcleo de las células eucariontes y que la información genética no se perdía durante los procesos de diferenciación celular.

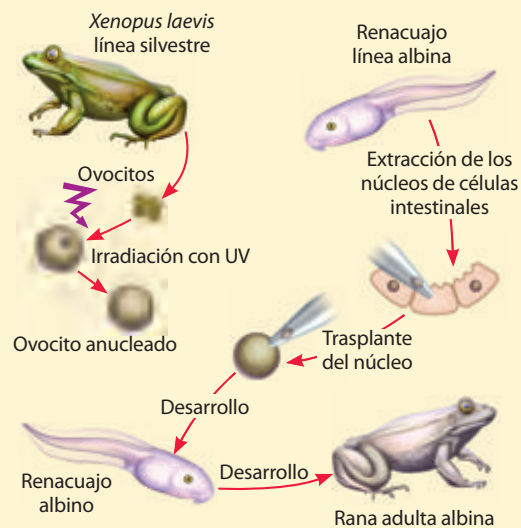
Ayuda

Las células somáticas, en este caso las células intestinales, contienen la totalidad del material genético de la especie.

Descripción del experimento de Gurdon

Procedimiento

Trabajó con la especie de rana *Xenopus laevis*, linaje silvestre y albino. A ovocitos de la primera se le irradiaron los núcleos con UV y se obtuvieron células sexuales anucleadas. Por otra parte, al linaje albino se le extrajeron los núcleos de células intestinales (ver sección Ayuda). Estos núcleos se implantaron en los ovocitos anucleados de la línea silvestre.



Resultados

Los ovocitos comenzaron a dividirse, lo que dio origen a renacuajos de la línea albina. El resultado pudo ratificar la idea de que el material genético se encontraba en el núcleo.

Actividad

1. **Analizando** el experimento de Gurdon, realiza la siguiente actividad.

- Formula el problema de investigación que generó el diseño de este experimento. Identifica las variables.
- Si la hipótesis de trabajo hubiese sido: "Las células intestinales perdieron sus otros genes en el desarrollo embrionario; por lo tanto, de reproducirse, solo lo harán como células intestinales", ¿qué conclusión se podría formular considerando los resultados obtenidos?
- ¿Qué resultado tendría que haberse dado para confirmar la idea de que las células especializadas pierden sus genes?
- ¿Qué resultado confirma que el material genético se encuentra en el núcleo? Explica.
- Uno de los avances más sorprendentes de los últimos tiempos en el área celular ha sido la "clonación", que consiste en una técnica en la que se obtienen copias idénticas de un organismo o tejido en forma asexual. ¿Se puede decir que Gurdon aplicó la técnica de clonación antes de que se conociera como tal? Argumenta.

¿Cómo es el núcleo?

El **núcleo** ① corresponde a una estructura propia de las células eucariontes, que almacena en su interior al material genético. Lo vamos a encontrar tanto en las células vegetales como en las animales. En el caso de las células animales, se ubica más al centro, y en las células vegetales hacia la periferia, ya que es desplazado por la vacuola central.

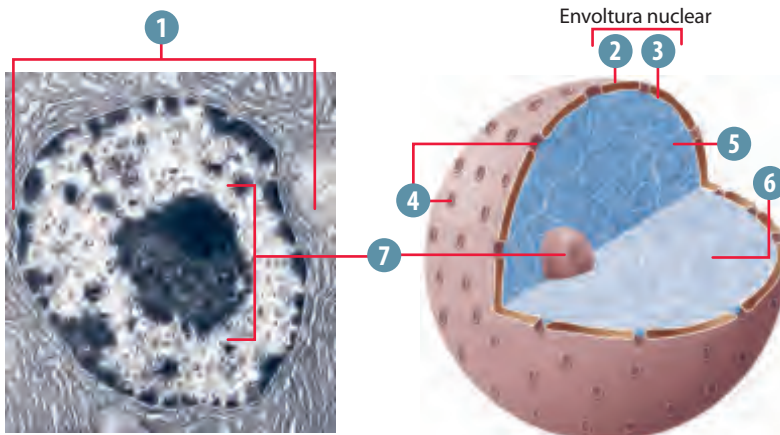
Con el avance de la microscopía electrónica se descubrió a cabalidad la estructura del núcleo. Es así como se aprecia la **envoltura nuclear** o **carioteca**, compuesta por una doble membrana: la externa ② y la interna ③. Esta doble membrana está interrumpida en los lugares en que ambas se funden y forman los **poros nucleares** ④, que pueden ocupar hasta el 20% del área superficial. ¿Qué importancia tiene la presencia de poros en la envoltura nuclear? Permite el transporte de materiales entre el núcleo y el citoplasma.

En el interior del núcleo se encuentra una matriz de características coloidales denominada **cariolinfa** ⑤, compuesta principalmente por agua, nutrientes y material genético.

Sin duda, los componentes esenciales del núcleo corresponden a las moléculas que contienen la información genética: la **cromatina** ⑥, asociación entre proteínas y ADN, y el **nucleólo** ⑦, estructura nuclear dinámica que participa en la síntesis de los ribosomas.

Ayuda

Existen dos tipos de cromatina: la **euromatina**, que es la menos compactada, y la **heterocromatina**, que es la más compactada. Como veremos más adelante, cuando la célula se encuentra en interfase o estado de "no división", hay mayor cantidad de euromatina.

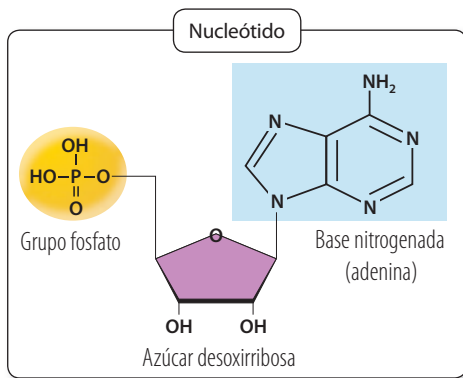


▲ Micrografía electrónica del núcleo de una célula epitelial animal (x12.600) obtenida con un microscopio electrónico de transmisión (MET).

▲ Representación del núcleo de una célula animal.

Características del núcleo		
Su forma	Su tamaño	Cantidad
Dependiendo del tipo de célula y de la fase del ciclo celular en que se encuentre, el núcleo puede presentar formas variables. Los de forma esférica, ovalada e irregular son los más comunes.	Generalmente corresponde al 10% del volumen de la célula que lo contiene. Su tamaño va desde los 5 a los 25 μm de diámetro, en promedio.	En la mayoría de las células existe un núcleo, pero hay excepciones: los eritrocitos no tienen núcleo (lo pierden); los paramecios presentan dos, y los osteoblastos y las células musculares presentan más de dos.

ADN: unidad del material genético



▲ Un nucleótido está compuesto por un grupo fosfato, un azúcar desoxirribosa y una base nitrogenada. Los átomos de carbono e hidrógeno no se indican.

Recuerda

El ADN es la molécula que contiene la información genética de los seres vivos.

Esta molécula constituye el principal material genético de los seres vivos. Contiene la información necesaria para la conformación y funcionamiento de los organismos gracias a su capacidad de expresión. Dentro de la estructura del ADN, las bases nitrogenadas son las que codifican la información genética, ya que es su secuencia la “descifrada” por los ribosomas y “convertida” en moléculas químicas.

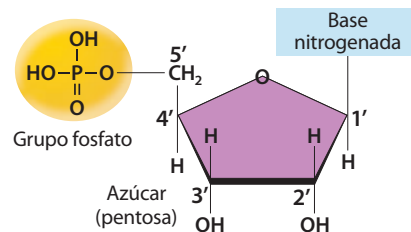
El ADN se define químicamente como un polímero de monómeros. Cada monómero se denomina **nucleótido**, el que a su vez está compuesto por un grupo fosfato (P), un azúcar desoxirribosa (D) y una base nitrogenada, que puede ser una de estas cuatro posibilidades: adenina (A), timina (T), citosina (C) y guanina (G). La base nitrogenada que forma parte del nucleótido de la imagen lateral es adenina.

Tanto el grupo fosfato como la base nitrogenada están unidos a la desoxirribosa, que corresponde a una pentosa, azúcar de 5 carbonos. El grupo fosfato de un nucleótido se une a la pentosa de otro nucleótido, formando una cadena. El ADN es una molécula que está compuesta por dos cadenas de nucleótidos que se unen entre ellas a través de bases nitrogenadas complementarias: A con T y C con G. Esta doble hebra se pliega y adquiere su forma helicoidal característica.

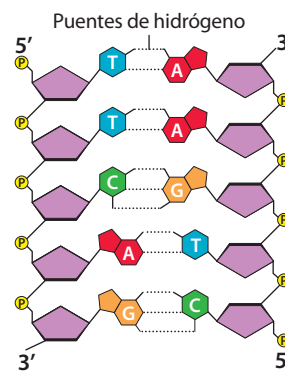
Actividad

1. En parejas, realicen la siguiente actividad. **Integren** los siguientes esquemas y respondan las preguntas que se presentan a continuación. Luego **comparen** sus ideas con el resto del curso.

- Los átomos de carbono de la pentosa están numerados del 1' al 5', cuatro de los cuales se encuentran en los vértices del pentágono. ¿A qué carbono se une el grupo fosfato?, ¿a qué carbono se une la base nitrogenada?
- El grupo fosfato es el que permite que un nucleótido se una con otro y conformen una hebra. ¿A qué carbono del azúcar se une el grupo fosfato del siguiente nucleótido?
- El ADN está compuesto por dos hebras que se unen a través de puentes de hidrógeno entre sus bases nitrogenadas. ¿Existe alguna regularidad de unión entre ellas?, ¿qué diferencias existen entre la unión C-G y A-T?



▲ Estructura de un nucleótido.



▲ El ADN está compuesto por dos hebras.



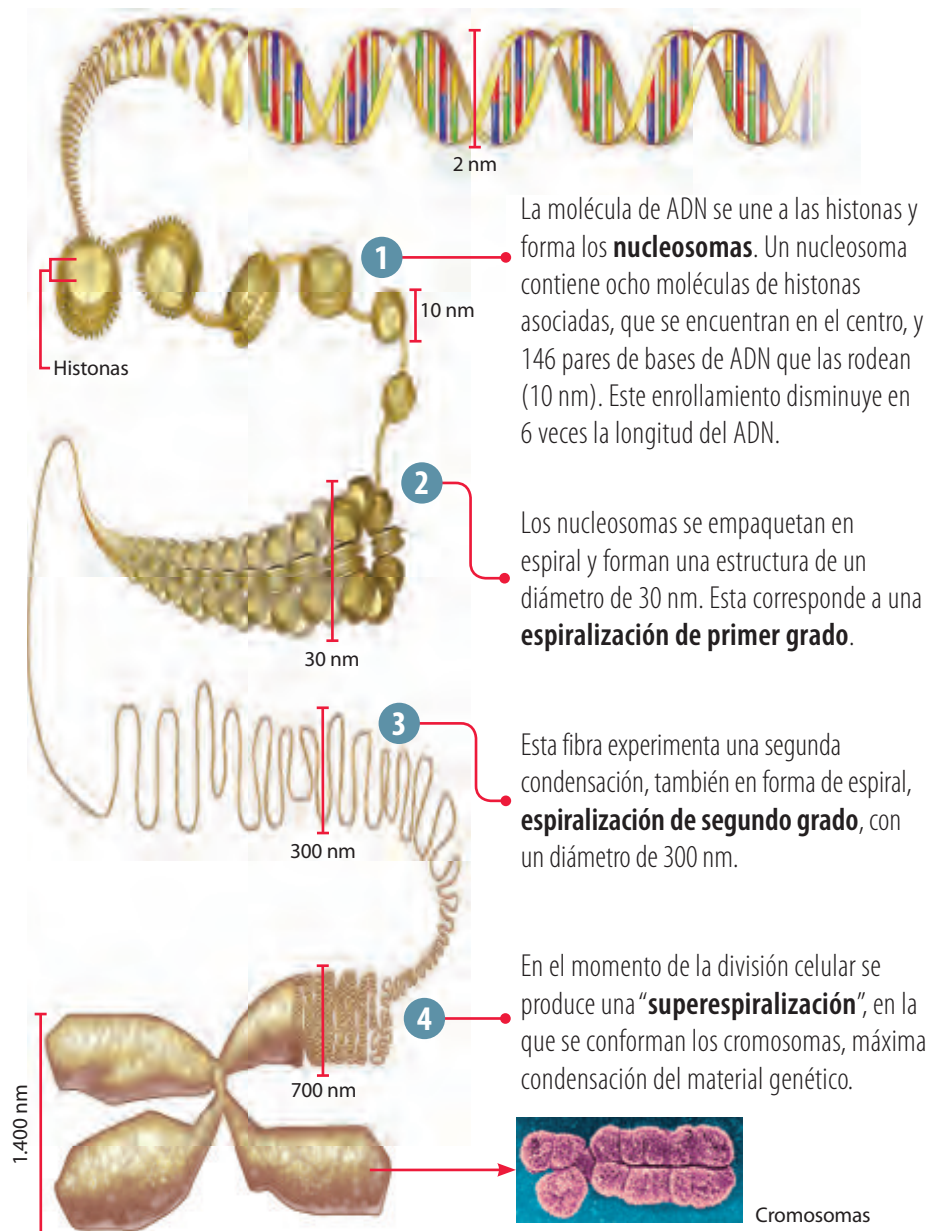
■ Citosina ■ Guanina
■ Adenina ■ Timina

▲ La doble hebra adquiere una forma helicoidal.

¿Cómo se organiza el material genético?

El ADN no se encuentra aislado en el interior del núcleo, sino que está estrechamente ligado a proteínas, llamadas **histonas**, que le permiten condensarse y empaquetarse en estructuras conocidas como **cromosomas**. Gracias a este nivel de compactación, durante la división celular el material genético se podrá repartir de manera equitativa en las células resultantes. Ahora bien, su nivel de empaquetamiento no es una condición estática, ya que el material genético cambia su organización según el estado celular en que se encuentre, es decir, depende de si la célula se va a dividir o no.

Enrollamiento del material genético



Para profundizar

La doble hebra de ADN contenida en el núcleo humano tiene un largo aproximado de dos metros. ¿Te imaginas la capacidad de empaquetamiento que posee esta molécula si el núcleo tiene seis micrómetros (μm) de diámetro? Piensa lo desafiante que sería meter un hilo de un kilómetro de largo dentro de una pelota de tenis.

Ayuda

El nanómetro equivale a una milmillonésima parte de un metro: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$.

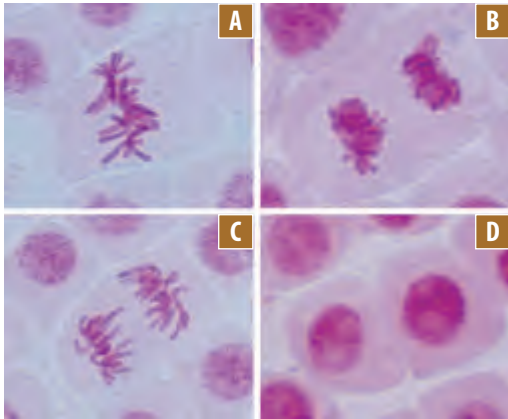
Recuerda

La **fibra de cromatina** presenta una estructura plegada con distintos grados de "compactación", lo que permite la condensación del ADN cuando la célula se va a dividir.

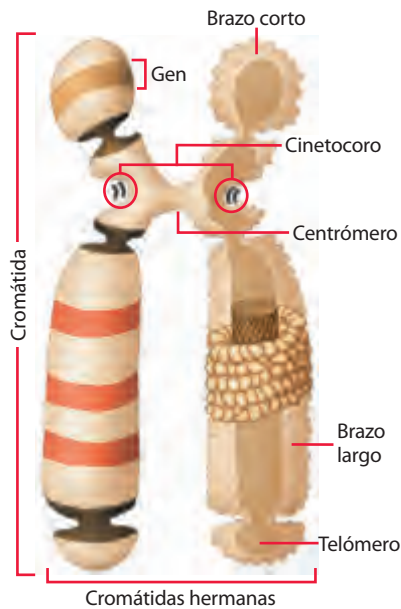
Cromosomas: máxima condensación del material genético

Mientras que el origen etimológico de la palabra *cromatina* corresponde a “sustancia que se tiñe”, el término *cromosoma* corresponde a “cuerpo que se tiñe”. Esto se debe a los distintos aspectos morfológicos que el material genético presenta en la vida de una célula. Cuando una célula entra en división celular, la cromatina inicia un proceso de condensación que concluye con la formación de entidades discretas e independientes: los **cromosomas**. En caso que la célula no esté en división, es decir, en estado de interfase, el material genético se encuentra descondensado como **cromatina**.

En las imágenes de la izquierda se observan los núcleos de distintas células. Si se focaliza la atención en el material genético en el interior de ellas, se podría determinar en qué estado se encuentra la célula: en “reposo” (no división) o en división. En el caso de la célula A, se puede determinar que está en división, porque se ve el material genético condensado que forma los cromosomas. ¿Cuál de las células estaría en estado de “reposo”? ¿Por qué?



▲ Núcleo de células distintas donde se aprecia el estado de su material genético.



▲ Esquema de un cromosoma duplicado.

Estructura de un cromosoma

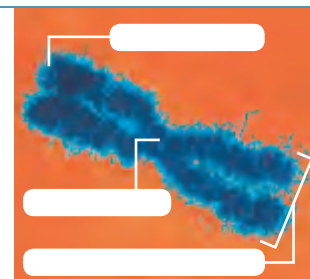
Al observar un cromosoma, se pueden reconocer las siguientes estructuras:

- **Centrómero**
Corresponde a una constricción del cromosoma. En él se encuentra el **cinetocoro**, estructura proteica donde se ancla el huso mitótico. Esta estructura es fundamental para la división celular.
- **Telómero**
Corresponde al extremo de cada cromosoma; es fundamental para la estabilidad estructural de los cromosomas y cuando la célula se va a dividir (división celular).
- **Cromátidas**
Corresponden a moléculas de ADN que conforman una especie de brazo. Pevio a la división celular, el material genético se duplica y los cromosomas quedan constituidos por dos **cromátidas hermanas**, idénticas entre sí, respecto de la información genética que contienen.

Actividad

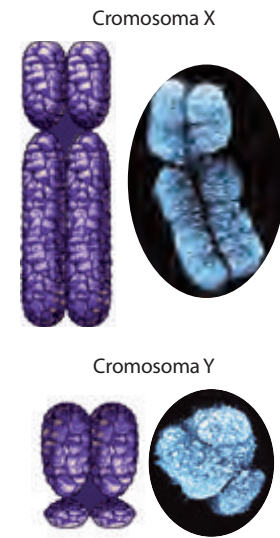
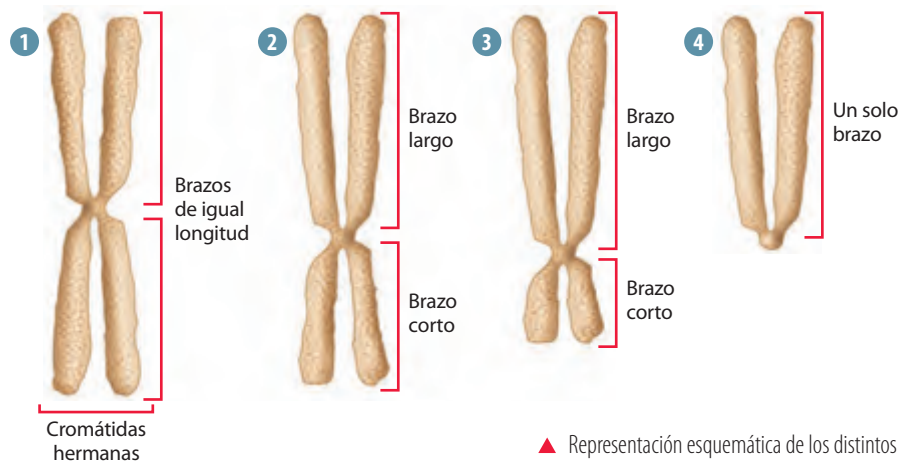
1. **Aplica** lo estudiado anteriormente y responde.

- Si se somete un cromosoma a un tratamiento de descondensación, ¿qué se obtendría luego de su descondensación completa? Explica.
- Reconoce y rotula las estructuras que forman parte del cromosoma.



Tipos de cromosomas

Todos los cromosomas tienen una forma característica. En las siguientes imágenes se representan los distintos tipos de cromosomas que existen. ¿Cuál es el criterio de clasificación utilizado?



▲ Esquema y micrografía electrónica de los cromosomas sexuales duplicados. ¿A qué tipo de cromosomas corresponden? Justifica.

Según la posición del centrómero, los cromosomas se clasifican en:

- 1 Metacéntricos:** el centrómero se localiza en la mitad del cromosoma y los brazos presentan igual longitud.
- 2 Submetacéntricos:** el centrómero se localiza desviado levemente hacia un extremo, por lo que la longitud de un brazo del cromosoma es algo mayor que la del otro.
- 3 Acrocéntricos:** el centrómero se localiza muy cercano a un extremo, por lo que un brazo es muy corto y el otro largo.
- 4 Telocéntricos:** el centrómero se encuentra en el extremo, por lo que solo se aprecia un brazo del cromosoma.

Número de cromosomas

Cada especie tiene un número determinado de cromosomas que la caracteriza; sin embargo, no existe ninguna relación entre el nivel de complejidad evolutiva de un organismo y el número de cromosomas que posee.

El pez carpa dorada presenta una mayor cantidad de cromosomas que nuestra especie, la que se caracteriza por tener 46 cromosomas en sus células somáticas (diploides, $2n = 46$). Esta dotación la poseen todas las células del organismo, salvo los gametos, que en el caso humano poseen 23 cromosomas (haploides, $n = 23$), número que se recupera al momento de la fecundación ($n = 23 + (n = 23) = 2n = 46$).

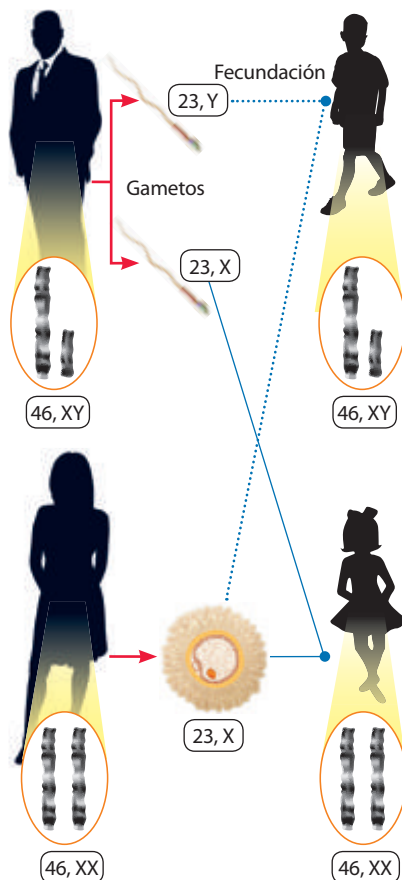
Al juego completo de cromosomas de una célula, ordenados por tamaño, forma y número, se le denomina **cariotipo**. Cada especie tiene un cariotipo que la caracteriza.



▲ Observa la cantidad de cromosomas de cada especie. ¿Se puede establecer alguna relación entre el número de cromosomas y la complejidad evolutiva de estos organismos?, ¿por qué?

Ayuda

Cromosomas homólogos duplicados:



▲ En la fecundación, la pareja de cromosomas sexuales se encuentra y, según la información de los gametos, define el sexo del nuevo ser.

Cariotipo humano

El estudio de los cromosomas de nuestra especie permite conocer sus características fundamentales; por ejemplo, la existencia de cromosomas autosómicos y cromosomas sexuales, los tipos y su organización en parejas, así como también analizar el origen de diversas enfermedades genéticas.

Las principales características de nuestros cromosomas que emergen del análisis del cariotipo son:

- **Juego de cromosomas: los cromosomas homólogos**

Un ser humano (diploide), formado por la unión de dos gametos (haploides), posee dos juegos de cromosomas. Uno de estos juegos es aportado por la madre (23 cromosomas) y el otro por el padre (23 cromosomas), completando la dotación de la especie humana (46 cromosomas).

A cada par de cromosomas del doble juego, uno proveniente de la madre y otro del padre, se le conoce como **cromosomas homólogos**. Estos comparten características comunes, tales como su morfología y tamaño. Pero lo más importante es que presentan genes, dispuestos en igual orden a lo largo de toda su longitud, y que codifican para las mismas características. Por ejemplo, un par de cromosomas homólogos contiene el gen que determina el color de los ojos, uno con la información aportada por la madre y el otro por el padre; sin embargo, estos cromosomas pueden contener distinta información respecto del color. Por ejemplo, gen paterno: ojos negros y gen materno: ojos verdes.

- **Definiendo el sexo: los cromosomas sexuales**

De los 23 pares de homólogos, hay 22 pares de **cromosomas autosómicos** y 1 par de **cromosomas sexuales**. Estos últimos tienen preponderantemente la función de definir el sexo del individuo. Hay dos tipos de cromosomas sexuales: el cromosoma X y el cromosoma Y. Ambos contienen una reducida cantidad de genes comparados con los cromosomas autosómicos y poseen distinto tamaño y forma. Esta pareja de cromosomas (XY) es la excepción a la igualdad de forma y tamaño que caracteriza a los demás homólogos. Sin embargo, poseen zonas equivalentes que permiten clasificarlos como tales. En la fecundación, la pareja de cromosomas sexuales se encuentra y define el sexo del individuo (XX o XY), tal como se representa en el esquema.

- **Diploidía y haploidía**

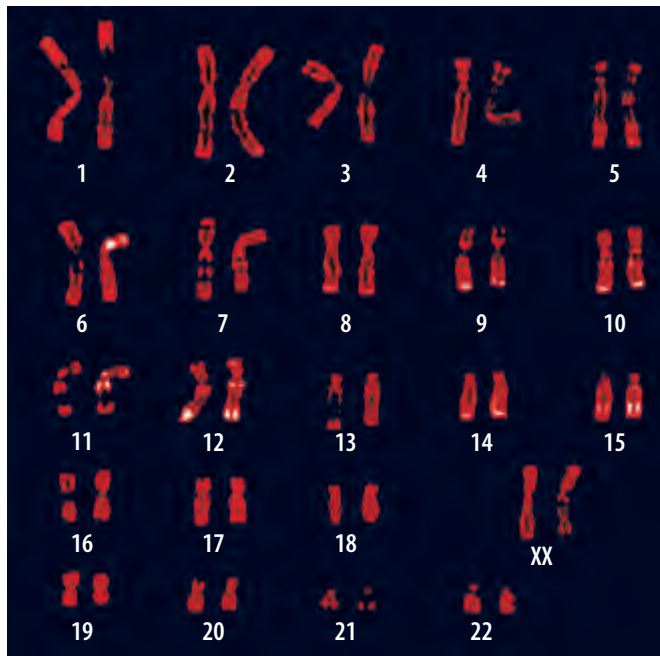
La mayor parte de los seres vivos tienen en sus células dos juegos de cromosomas, heredados cada uno de ellos de sus progenitores. En este caso, se denominan **células diploides**, ya que presentan el material genético total de la especie y se simbolizan como **2n**.

En cuanto a los gametos o células sexuales, estas se denominan **células haploides**, ya que poseen la mitad de la información genética de la especie y se simbolizan como **n**. Cuando se produce la fecundación, los cromosomas homólogos de cada progenitor se encuentran y se recupera la dotación total de la especie.

El cariotipo es como un “mapa” en el que se presentan los cromosomas organizados en pares homólogos según tamaño, número y forma. Es una representación que permite ordenarlos; sin embargo, es importante destacar que en el núcleo los cromosomas se encuentran ubicados azarosamente. El estudio del cariotipo es de gran interés científico, ya que diversas enfermedades y síndromes se explican por anomalías en la cantidad y calidad de los cromosomas.

Actividad

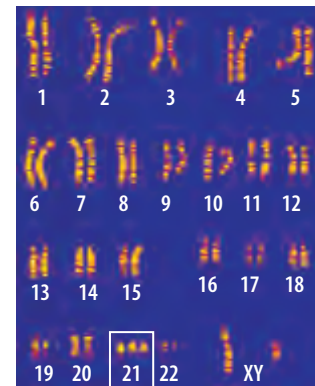
1. A continuación se presenta el cariotipo de una mujer. Este se obtuvo a partir de un cultivo de glóbulos blancos, donde se fijan los cromosomas en estado de metafase, etapa de la mitosis que veremos más adelante, y se les aplica un colorante. Observa con atención este cariotipo y, **aplicando** correctamente la información, responde.



- a. ¿Cuántos cromosomas posee el cariotipo de la mujer?
 - b. ¿Cuántos pares de cromosomas homólogos presenta?
 - c. ¿Cuántos pares de cromosomas sexuales presenta?
 - d. ¿Qué cromosomas constituyen el par sexual?
 - e. ¿Cómo están ordenados los cromosomas en este cariotipo?
 - f. ¿Qué similitudes y diferencias tendrá con el cariotipo de un hombre?
 - g. Si el cariotipo de la mujer se representa como 46, XX, ¿cómo se representaría el cariotipo masculino?
 - h. ¿Cuáles serían las principales características del cariotipo humano?
2. Regresa a la página 17 y **determina** la cantidad de cromosomas presentes en las células diploides y haploides de los seres vivos que se mencionan en las fotografías.
 3. En una mujer, cada uno de los 23 pares homólogos está constituido por cromosomas de forma y tamaño similares. ¿Es posible esta afirmación en el caso del hombre? **Explica**.

Para profundizar

El cariotipo de una persona con síndrome de Down es **47(21), XX** en el caso de una mujer y **47(21), XY** en el caso de un hombre. Es decir, posee un cromosoma más en el par homólogo número 21, por lo que presenta en sus células diploides un total de 47 cromosomas.



▲ Cariotipo de persona con síndrome de Down.

Investigación

Utiliza la información sugerida en la siguiente página web y diseña las etapas necesarias para resolver las actividades que allí se presentan. Luego escribe un informe siguiendo la pauta de investigación que se encuentra en la página 223 de tu Texto.

<http://www.biologia.arizona.edu/human/act/karyotyping/karyotyping.html>

Recuerda que el contenido de las páginas webs puede cambiar.

Recuerda

El cariotipo humano presenta 46 cromosomas en sus células diploides, organizados en 22 pares de cromosomas autosómicos y 1 par de cromosomas sexuales.



▲ En las personas se puede observar una gran diversidad de rasgos. Sin embargo, a pesar de esta variabilidad, todos pertenecemos a la misma especie.



▲ Oreja con lóbulo separado.



▲ Oreja con lóbulo adherido.

Recuerda

El **fenotipo** engloba las diversas características de un individuo, determinadas por su constitución genética (genotipo) y su interacción con el ambiente, el que puede activar o inhibir la expresión de determinadas características en el fenotipo.

Fenotipo: ¿por qué somos como somos?

Todos los organismos vivos presentan características que comparten con los de su misma especie, aun cuando dentro de una especie existe una gran diversidad. Cada una de las características que se expresan se denomina **fenotipo**. Estas no solo incluyen características visibles, sino también aquellas que no se advierten a simple vista.

Las características fenotípicas pueden ser morfológicas, funcionales y conductuales. A continuación se presenta un ejemplo para cada caso.

- **Morfológico visible**

La relación entre el lóbulo de la oreja y la mejilla es una característica morfológica visible. Existen dos fenotipos posibles: lóbulo separado, es decir, suelto de la mejilla (1), y lóbulo adherido a ella (2).

- **Morfológico no visible**

Existen cuatro tipos de grupos sanguíneos: A, B, AB y O. Cada uno de nosotros tiene un grupo sanguíneo. Esto se debe a la presencia de antígenos (proteínas) en la membrana de los glóbulos rojos. Por ejemplo: si nuestra sangre presenta antígenos A y B, entonces seremos del grupo AB.

- **Funcional**

Nuestros glóbulos rojos presentan una proteína llamada hemoglobina, que permite la fijación del oxígeno y su consecuente transporte a los tejidos del organismo. La anemia falciforme es una enfermedad causada por una alteración en la estructura de la hemoglobina, lo que afecta su función y la forma de los glóbulos rojos.

- **Conductual**

Todos nosotros tenemos predisposiciones para desarrollar habilidades distintas (por ejemplo, cantar o tocar un instrumento, bailar, ser un buen deportista o aprender idiomas o ciencias), características en gran parte heredadas de nuestros padres. Debido a la influencia ambiental (estímulos) estas habilidades se desarrollan durante la vida, manifestándose en nuestra conducta.

Actividad

1. **Clasifica** cada característica según la clase de fenotipo y **justifica** tu decisión.

Características	Clase de fenotipo	Justificación
Color del cabello.		
Problemas con la digestión de la lactosa.		
Intereses profesionales.		
Orificios de la nariz: aletas anchas o angostas.		

Origen del fenotipo

¿Cómo están establecidas las innumerables características que determinan el fenotipo de un organismo?, ¿podríamos decir que todas están definidas por la información genética que el individuo posee o existen otros factores?

Gran parte de las características fenotípicas tienen un origen hereditario, es decir, se encuentran "impresas" en el material genético, lo que se conoce como **genotipo**; sin embargo, no todo se define de esta manera. Es así como, por ejemplo, el tocar bien un instrumento (fenotipo conductual) no está solo determinado genéticamente, sino que también depende de la motivación y de la práctica, así como del nivel de aprendizaje que se alcance. Por el contrario, la presencia de hemoglobina "normal" en los glóbulos rojos (fenotipo funcional) sí está determinada exclusivamente por el genotipo.

El genotipo corresponde a la combinación de alelos que determinan la expresión de una característica dada de un individuo. Está representado por la secuencia de bases nitrogenadas del ADN, que determinan la formación de proteínas. Sin embargo, la expresión del genotipo no está determinada solo por su presencia, sino que depende de factores ambientales que pueden activar o inhibir su expresión.

Podemos decir entonces que: **fenotipo** = genotipo + influencia ambiental

Anemia: análisis de esta enfermedad según su origen

La anemia es una enfermedad que provoca una disminución de la llegada de oxígeno a los tejidos. A continuación se analizarán dos tipos de anemia.

- **Anemia falciforme**

La formación anormal de moléculas de hemoglobina se debe a un problema genético. Se sintetiza una hemoglobina funcionalmente defectuosa, que deforma incluso al glóbulo rojo, el que adopta una forma de hoz.

- **Anemia ferropénica**

Los glóbulos rojos se forman en la médula ósea, teniendo como materia prima a los átomos de hierro, los que le otorgarán a la hemoglobina la función de captar oxígeno. Si una persona no consume la cantidad adecuada de hierro contenida en alimentos como carnes, legumbres, frutos secos, verduras verdes y cereales, es muy probable que la formación de glóbulos sea deficiente en hemoglobina y se produzca una anemia ferropénica.

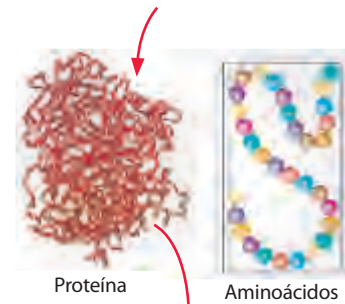
Actividad

1. Luego de leer los tipos de anemia, **explica**.

- ¿Qué relación existe entre la anemia falciforme y el genotipo de una persona?
- ¿Qué relación existe entre la anemia ferropénica y el genotipo de una persona?
- ¿Qué diferencia existe entre ambos tipos de anemia respecto del origen de la enfermedad?
- ¿Qué variables pueden explicar la expresión de un determinado fenotipo?

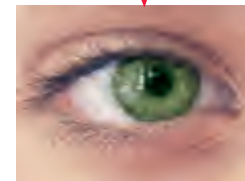


Gen que posee la información para el color de ojos



Proteína

Aminoácidos



Manifestación del carácter color de ojos (verde)

▲ Base genética para la expresión del color de ojos.



▲ Morfología normal de los glóbulos rojos.



▲ La morfología de los glóbulos rojos se modifica debido a la alteración de la hemoglobina.

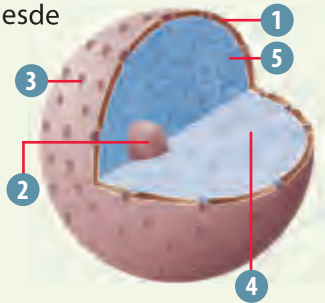
I. Marca la alternativa correcta.

1 ¿Cuál de las siguientes estructuras nucleares corresponde al material genético de la célula?

- A. Poros.
- B. Carioteca.
- C. Cromatina.
- D. Nucléolo.
- E. Membrana externa de la carioteca.

2 ¿Cuál de las siguientes estructuras rotuladas tiene la función de permitir el transporte de materiales hacia y desde el núcleo celular?

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



3 ¿Qué demostró Gurdon a partir del resultado de su experimento?

- A. Que toda la información genética se encuentra en el núcleo.
- B. Que las células sexuales (ovocitos) tienen todo el potencial genético.
- C. Que la información genética se encuentra tanto en el ovocito anucleado como en la célula intestinal de la rana.
- D. Que en la diferenciación celular hay pérdida de genes.
- E. Que los genes de la línea albina son dominantes sobre la silvestre.

4 ¿Qué función cumple el grupo fosfato en la molécula de ADN?

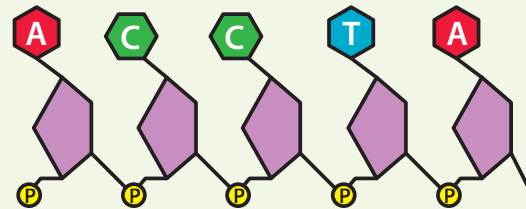
- A. La unión de las bases nitrogenadas a las hebras.
- B. La unión entre los nucleótidos de la misma hebra.
- C. La unión de las dos hebras que son complementarias.
- D. Contiene el material genético.
- E. Permite la unión entre el azúcar y una base.

5 ¿Cuál de las siguientes ideas es **incorrecta** respecto de las bases nitrogenadas en la molécula de ADN?

- I. Están unidas al carbono 1 de la pentosa desoxirribosa (azúcar).
- II. El enlace entre ellas permite la unión de las hebras.
- III. Se unen tanto al azúcar como al fosfato.

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

6 Observa el siguiente esquema de una molécula de ADN. ¿Qué alternativa muestra la secuencia de bases nitrogenadas de la hebra complementaria?



- A. ACCTA.
- B. TGGAT.
- C. TCCAT.
- D. AGGAA.
- E. TGGTT.

7 ¿Cuál(es) de las siguientes características corresponde(n) a una pareja de cromosomas homólogos autosómicos?

- I. Ambos proceden del mismo progenitor.
- II. Presentan los mismos tipos de genes.
- III. Son iguales en tamaño y forma.

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

8 ¿Qué característica(s) es(son) **verdadera(s)** respecto de los cromosomas?

- I. Presentan un centrómero.
 - II. Representan el máximo grado de condensación del material genético.
 - III. Contienen ADN e histonas.
- A. Solo I. D. I y III.
 B. Solo II. E. I, II y III.
 C. I y II.

9 ¿Cuál es el principal objetivo de la condensación del material genético en el núcleo?

- A. Mantener protegido al material genético.
- B. Permitir su distribución equitativa en la división celular.
- C. Disminuir la capacidad de expresión de los genes.
- D. Permitir que se cobije en la carioteca.
- E. Favorecer la formación de cromatina.

10 ¿Qué relación existe entre los factores ambientales y el genotipo de un organismo?

- A. No existe ninguna relación.
- B. Los factores ambientales producen un cambio gradual del genotipo a lo largo de la vida del organismo.
- C. Los factores ambientales están determinados por el genotipo.
- D. Los factores ambientales aumentan o disminuyen la posibilidad de expresión del genotipo.
- E. B y D son relaciones existentes entre el ambiente y el genotipo.

11 Si una célula contiene 13 pares de cromosomas autosómicos y 1 par sexual, ¿a cuánto corresponderían su diploidía (2n) y su haploidía (n)?

- A. $2n = 13, n = 7,5$.
- B. $2n = 26, n = 13$.
- C. $2n = 26, n = 2$.
- D. $2n = 28, n = 13$.
- E. $2n = 28, n = 14$.

II. Responde las siguientes preguntas.

1 Imagina la siguiente situación ficticia: si al ovocito de una oveja se le extrae su núcleo y en su reemplazo se añade el núcleo de una célula de glándula mamaria de vaca y luego se implanta en el útero de una cabra, de generarse un individuo, ¿de qué tipo sería? Argumenta tu respuesta considerando todas las especies involucradas.

2 Los cromosomas homólogos se caracterizan por compartir igual forma, tamaño, la presencia de los mismos tipos de genes y provenir uno de la madre y otro del padre. Analiza el par sexual de los hombres, los cromosomas X e Y, en cada uno de los criterios presentados anteriormente y determina si se cumplen o no en este caso.

3 Completa la siguiente información en tu cuaderno, considerando el cariotipo de un individuo 46, XY:

- a) cantidad total de cromosomas,
- b) cantidad de pares de cromosomas homólogos,
- c) cantidad de cromosomas autosómicos,
- d) cantidad de cromosomas sexuales y
- e) sexo del individuo.

Yo me evalúo

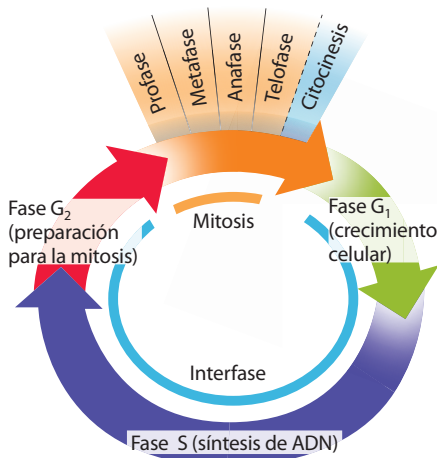
Marca con un los aprendizajes logrados hasta ahora y evalúa tu desempeño.

Pude reconocer que el núcleo almacena la información genética necesaria para dirigir el funcionamiento celular.

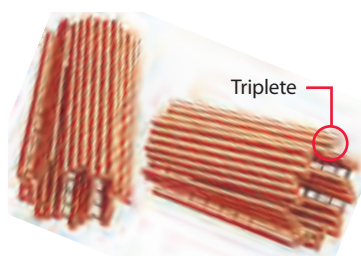
Pude identificar las distintas formas de organización del material genético.

Pude identificar los 22 pares de cromosomas autosómicos y el par sexual que caracterizan a un cariotipo humano.

Ciclo celular: toda célula proviene de otra



▲ En la mayoría de las células, la interfase ocupa gran parte del ciclo, casi el 95%. Si un ciclo tuviera una duración de 24 horas, la mitosis demoraría solo 30 minutos.



▲ Esquematización de un par de centriolos.

El estado en que se encuentra una célula está determinado por una secuencia periódica de crecimiento y división durante la vida de un organismo. Estos procesos están representados en el **ciclo celular** en tres etapas fundamentales: la primera corresponde a la **interfase**, que es de preparación para su posterior división. Cuando se habla de preparación, se debe pensar que la célula requiere crecer para asegurar un volumen suficiente a las células hijas, copiar su material genético (proceso de replicación), ya que se necesitan dos copias para las nuevas células, y también multiplicar sus organelos. La segunda etapa corresponde a la **mitosis**, que, como tal, permitirá la división del material genético previamente replicado. Finalmente, se darán las condiciones para la división completa de la célula, proceso citoplasmático llamado **citocinesis**, que no forma parte de la mitosis.

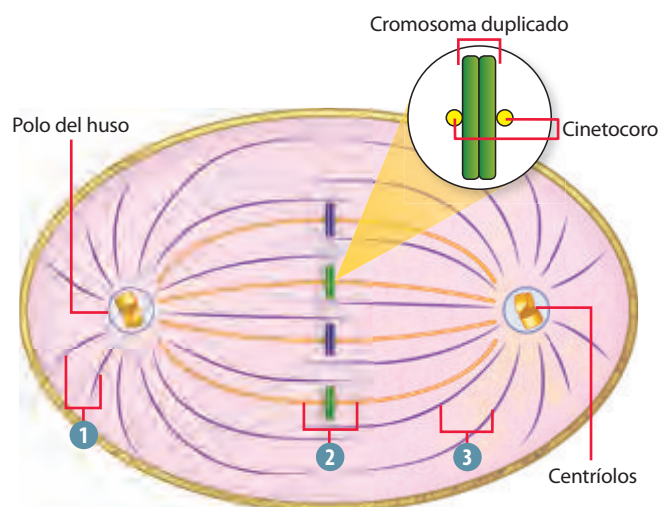
La mitosis y la citocinesis harán posible la formación de nuevas células idénticas a las originales. Gracias a esto, los organismos pluricelulares pueden crecer, desarrollarse, regenerar tejidos y, los unicelulares, reproducirse asexualmente.

En el caso humano, estamos hablando de una división de células diploides (2n) que darán origen a células diploides (2n).

Aparato mitótico: microtúbulos

En el proceso de división celular mitótico es fundamental la participación de **microtúbulos**, estructuras proteicas del citoesqueleto que dirigirán los movimientos propios de los cromosomas, lo que permite la separación de las cromátidas y la migración del material genético a cada polo celular.

Tipos de microtúbulos



- 1 Microtúbulos astrales.
- 2 Microtúbulos cinetocóricos.
- 3 Microtúbulos polares.

- **Centríolos**

Los centriolos son estructuras compuestas por nueve triplete de microtúbulos acomodados en forma circular que se originan de los centros organizadores o centrosoma. Cuando la célula se va a dividir, este centro organizador también se divide y genera dos pares de centriolos, cada uno de los cuales migra a los polos de la célula. En las células vegetales no hay centriolos, pero sí se forman microtúbulos.

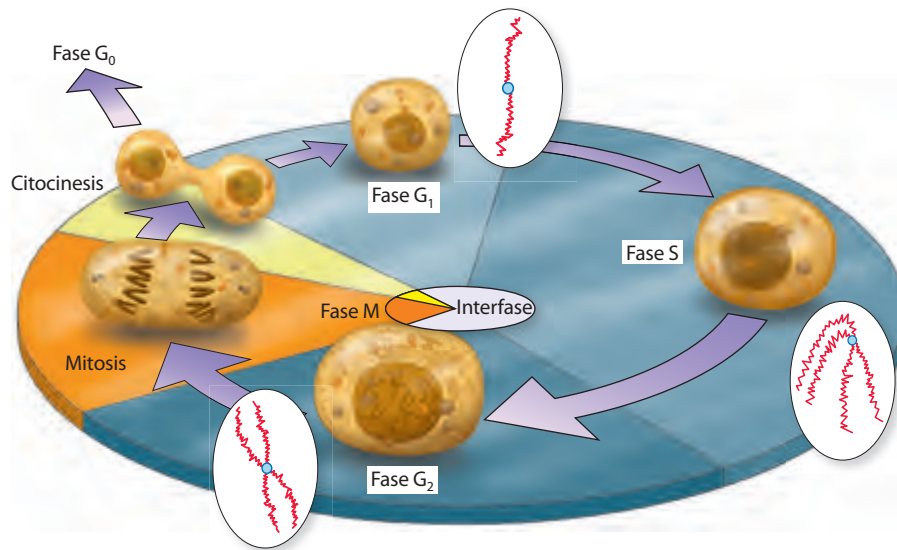
- **Huso**

Es el conjunto de microtúbulos que nacen de los centriolos. Hay tres tipos: los astrales 1, que corresponden a extensiones cortas y radiales; los cinetocóricos 2, que se extienden del polo a los cromosomas, específicamente a sus cinetocoros, y los polares 3, que se extienden de polo a polo.

Interfase: estado de reposo aparente

Al observar el núcleo de una célula en interfase, da la impresión de que se encuentra en reposo. Lejos de ello, se está produciendo una gran cantidad de eventos fundamentales para la división celular. Se trata de un estado de preparación en cuanto al **crecimiento, generación de energía y replicación del material genético**.

A continuación se revisarán las tres etapas de la **interfase**: G_1 , S y G_2 .



- **G_1 (Gap o intervalo): crecimiento celular**

En esta etapa la célula crece hasta alcanzar su tamaño normal y se desarrollan los procesos vitales para su mantención, sobre todo los que respectan a la síntesis de ATP, molécula que fue utilizada en el ciclo anterior, durante la mitosis, para proporcionar energía a las reacciones metabólicas.

- **S: síntesis de ADN**

En esta etapa se copia el ADN, es decir, se da el proceso de "replicación" y se sintetiza un nuevo juego de histonas, lo que genera dos moléculas idénticas para ser repartidas en las dos células hijas durante la mitosis.

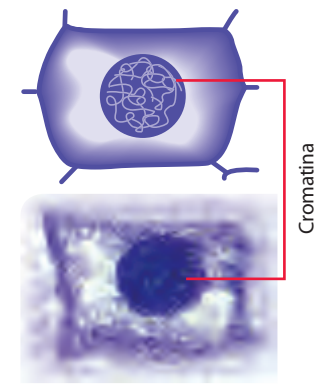
De esta manera, los cromosomas que se formarán una vez iniciada la mitosis tendrán dos cromátidas hermanas unidas a un centrómero, lo que se conoce como cromosoma duplicado o doble. En la etapa anterior (G_1), los cromosomas provenientes de la división celular, si estuvieran condensados, tendrían un centrómero y una cromátida (cromosoma simple).

- **G_2 (Gap o intervalo): preparación para la mitosis**

En esta etapa la célula se prepara antes de entrar en división, sobre todo en lo que respecta a la síntesis de proteínas relacionadas con el despliegue del aparato mitótico, donde comienzan a organizarse los microtúbulos. También se recupera la célula en términos energéticos, ya que en la síntesis de ADN se gastó gran cantidad de ATP.

Ayuda

Durante toda la interfase, el material genético se encuentra en estado de cromatina, ADN asociado a histonas que se encuentra desenrollado en forma de largas hebras, como se observa en el esquema y la fotografía.



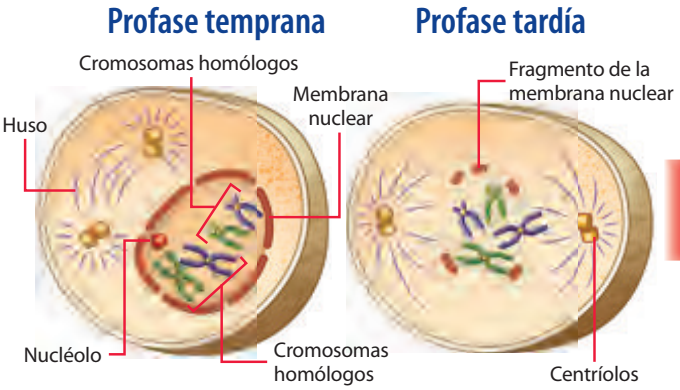
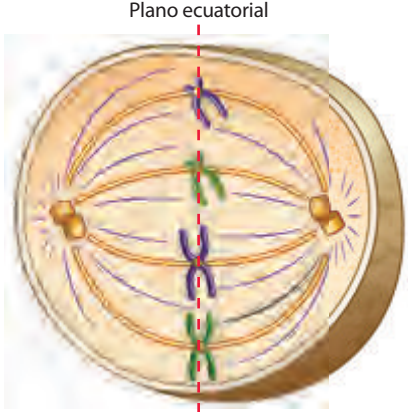
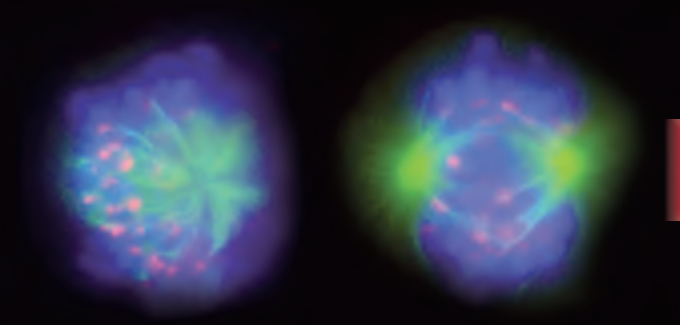

Para profundizar

Los tipos celulares que no se dividen nuevamente, como las células del músculo esquelético o algunas neuronas, se retiran del ciclo celular. En estos casos, la interfase se "eterniza" (etapa G_0) y pasa a ser el estado natural de estas células.

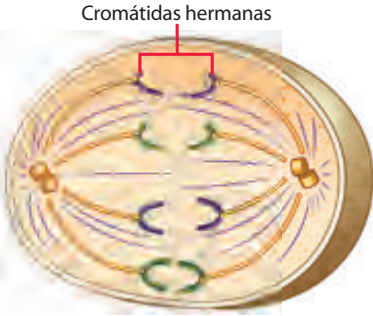
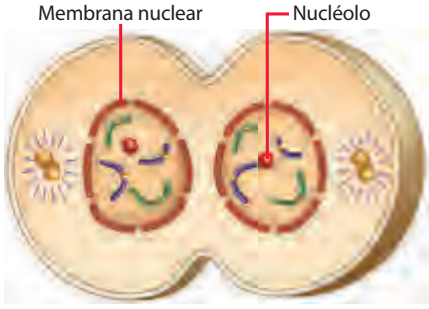
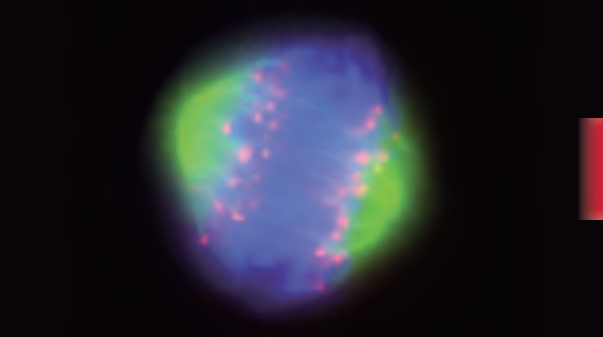
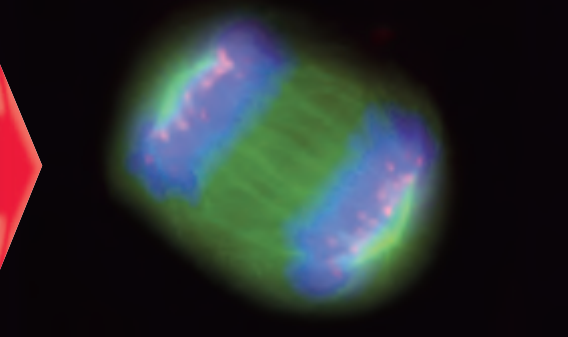
Mitosis

Completado el proceso de interfase, la célula se encuentra preparada para dividirse por **mitosis** y repartir su material genético duplicado en dos células hijas a través de la separación de las cromátidas hermanas. Para su mejor comprensión, en el siguiente esquema este proceso dinámico fue segmentado en cuatro etapas o fases, cada una caracterizada por el comportamiento de los cromosomas.

A continuación se representa la división mitótica de una célula animal de cuatro cromosomas. En una célula somática humana se lleva a cabo este mismo proceso, pero con 46 cromosomas en vez de cuatro.

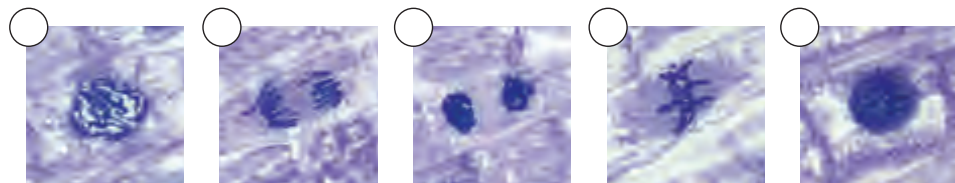
Etapa	Profase	Metafase
Principales acontecimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Condensación de los cromosomas duplicados. • Formación de los microtúbulos del huso. • El huso captura a los cromosomas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alineación de los cromosomas duplicados en el plano central o ecuatorial.
Esquemización		
Imagen de microscopio: mitosis de una célula humana		
Descripción	<p>La cromatina ya duplicada en la etapa S de la interfase comienza a condensarse y se visualizan los cromosomas. Recuerda que las histonas cumplen un papel fundamental en esta condensación.</p> <p>Los centríolos migran hacia los polos, donde empiezan a ensamblarse los microtúbulos del huso desde cada par de centríolos hacia los cromosomas. Acompañando a estos cambios, se desintegran la membrana nuclear y el nucléolo. El inicio de estos cambios se visualiza en la profase temprana, y la consolidación de ellos, en la profase tardía.</p>	<p>En esta etapa se visualiza claramente la desaparición de la membrana nuclear y del nucléolo, al igual que la posición de los centríolos en los polos y la conexión de los cromosomas con el huso.</p> <p>Además, el huso experimenta movimientos de "tira y afloja" hasta que los cromosomas quedan alineados, labor que los cinetocoros regulan a partir de la longitud de los microtúbulos del huso.</p>

La separación de las cromátidas hermanas es fundamental en el proceso de división del material genético, ya que de esta manera se asegura que la información genética se traspare en forma completa a las células resultantes de la división. Veamos cómo se produce:

Etapa	Anafase	Telofase
Principales acontecimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Separación de las cromátidas hermanas. • Migración de los cromosomas simples hacia los polos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recuperación de la membrana nuclear y el nucléolo. • Desintegración del huso.
Esquematación		
Imagen de microscopio: mitosis de una célula humana		
Descripción	<p>Los cinetocoros migran hacia los polos producto del "acortamiento" de los microtúbulos del huso, lo que provoca que los cromosomas dobles se separen, es decir, se produce un alejamiento de las cromátidas hermanas.</p> <p>Los cromosomas simples (con una cromátida) migran hacia los polos. En tanto, los "husos astrales" interactúan presionando los extremos, lo que provoca que la célula adopte una forma ovalada y se incremente así la separación entre los polos.</p>	<p>Esta etapa se inicia cuando los cromosomas han llegado a los polos. De ahí en adelante, la célula comienza a recuperar las condiciones anteriores a la división: los microtúbulos del huso se desintegran y se vuelven a formar la membrana nuclear y el nucléolo.</p> <p>En gran parte de las células comienza la división del citoplasma (citocinesis), lo que permitirá la generación de dos células independientes.</p>

Actividad

1. Observa las siguientes células que se encuentran en distintas etapas de la mitosis. **Determina** en qué etapa está cada una, ordénalas secuencialmente y **argumenta** cada elección.



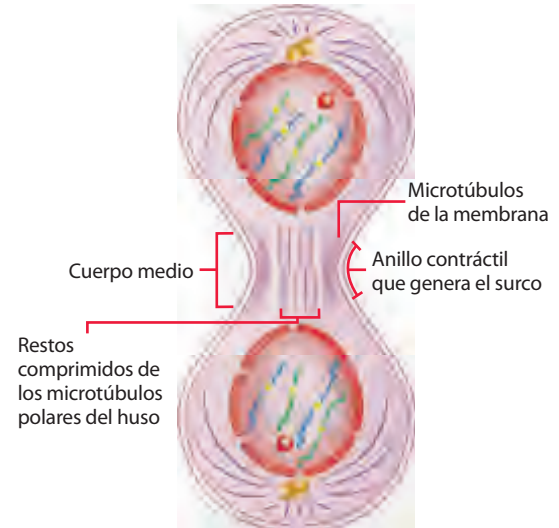
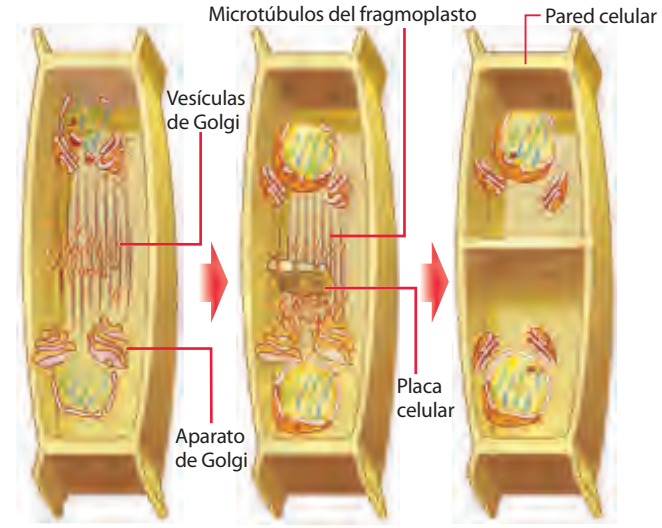
Citocinesis o citodiéresis: división final

Recuerda

La **mitosis** es un tipo de división nuclear que permite obtener células idénticas a la original. Esto se consigue con la separación de las cromátidas hermanas de cada cromosoma duplicado y luego la posterior citocinesis.

Luego de la división del material genético a partir de la separación de las cromátidas hermanas, es necesaria la división de la célula, tanto del citoplasma como del límite celular (membrana y/o pared celular), para la obtención de dos células independientes que entrarán a la etapa G₁ de la interfase.

La presencia de pared celular en organismos como los vegetales y la rigidez de su estructura diferencian el proceso de división citoplasmática respecto de las células animales, que solo poseen membrana. A continuación se presenta un recuadro donde se explica el proceso de **citocinesis** o **citodiéresis** para ambos tipos celulares.

Célula eucarionte animal	Célula eucarionte vegetal
 <p>Microtúbulos de la membrana</p> <p>Anillo contráctil que genera el surco</p> <p>Cuerpo medio</p> <p>Restos comprimidos de los microtúbulos polares del huso</p>	 <p>Microtúbulos del fragmoplasto</p> <p>Pared celular</p> <p>Vesículas de Golgi</p> <p>Aparato de Golgi</p> <p>Placa celular</p>
<p>Como mencionamos anteriormente, las células animales presentan como límite solo la membrana plasmática.</p> <p>Durante la citocinesis (muchas veces ya durante la telofase), unos microfilamentos que se encuentran fijados a la membrana y restos de microtúbulos polares se ubican en la zona media de la célula en división, en forma de anillo, y comienzan a contraerse y a constreñir o estrangular el ecuador celular. Al principio aparecen pequeños surcos en la superficie, que luego se profundizan hasta que la célula se divide por completo.</p>	<p>Las células vegetales, a diferencia de las células animales, presentan dos límites: la membrana plasmática y la pared celular que la recubre. Cuando la célula está en anafase, se forma en la línea media una estructura denominada fragmoplasto, compuesta por microtúbulos y vesículas derivadas del aparato de Golgi.</p> <p>Ya en citocinesis, la cantidad de vesículas formadas permite que se fusionen y formen la placa celular, que está rodeada de membrana plasmática y deja un espacio de separación entre las células resultantes. Luego, cada célula va adicionando polisacáridos que constituirán la nueva pared celular.</p>

Actividad

1. **Confecciona** una tabla comparativa entre la citocinesis animal y vegetal. En la primera columna explicita el criterio de comparación.
2. ¿Qué sucedería si una célula vegetal se divide por mitosis, pero carece de aparato de Golgi? **Analiza** el caso considerando lo que resultaría de esta división celular.

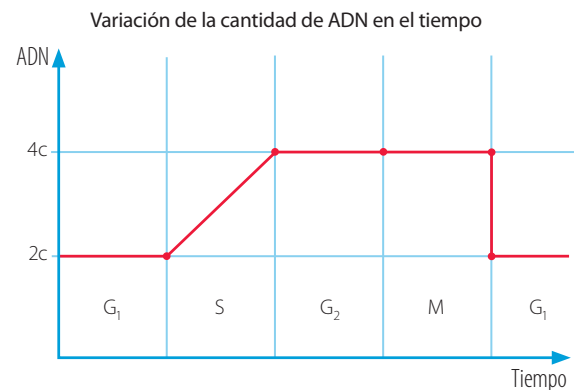
Organización del material genético

A lo largo del ciclo celular y tal como estudiamos anteriormente, el material genético se condensa cuando se va a dividir y luego se descondensa cuando ya se ha llevado a cabo la división. Por ello es importante, ahora que ya hemos revisado los procesos de interfase y mitosis, establecer un breve resumen del estado del material genético durante el ciclo celular en cuanto a la cantidad de fibras de cromatina y cantidad de ADN que posee y la estructura y organización de los cromosomas en cada caso.

Características de una célula humana iniciada la mitosis

- Su cantidad de ADN es de 46 fibras de cromatina duplicadas, es decir, tendrá 92 fibras. Recuerda que se duplican 46 cromosomas simples } , quedando 46 cromosomas dobles X = 92 fibras de cromatina (46x2).
- La cantidad total de ADN en una célula diploide, sin duplicación del material genético, se anota como 2c (46). Por lo tanto, una célula en profase y con su material genético duplicado se denota como 4c (46 X).
- Una célula que inicia la mitosis es diploide (2n), es decir, posee la totalidad de material genético de la especie (46 cromosomas en el caso humano), distribuido en 23 pares de cromosomas: 22 pares autosómicos y 1 par sexual.
- Como el material genético está duplicado, sus cromosomas poseen dos cromátidas hermanas unidas a un centrómero.

Profase	
Cantidad de fibras de cromatina.	92
Cantidad de ADN.	4c
Cantidad de cromosomas.	46
Cantidad de cromátidas.	92 (2 por cada cromosoma)
Diploide o haploide.	Diploide (2n)



▲ En el gráfico se muestra la variación de la cantidad de ADN durante el ciclo celular. Se duplica durante la etapa S de la interfase y luego de la mitosis se restablece la cantidad de ADN de una célula diploide.

Actividad

1. **Completa** la siguiente tabla, que resume el estado del material genético, tanto en interfase como en mitosis. No olvides leer la sección *Ayuda*.

Estado del ciclo	Nº de fibras de cromatina	Cantidad de ADN	Nº de cromosomas	Nº de cromátidas	Diploidía o haploidía
G ₁					
S	92	2c → 4c	46	92	2n
G ₂					
Profase	92	4c	46	92	2n
Metafase					
Anafase					
Telofase	46 (x2)	2c (x2)	46 (x2)	46 (x2)	2n (x2)
Células resultantes.					

▲ En la telofase la célula aún posee la totalidad del material genético que será repartido en dos células resultantes, pero que todavía no se divide.

Ayuda

En las tablas presentes en las páginas 29, 35 y 37 de esta unidad se les entregará o se les solicitará completar el número de cromosomas y de cromátidas en las distintas etapas de la interfase. Si bien en estas etapas el material genético se encuentra descondensado, lo que se espera discriminar es el número de cromosomas y de cromátidas que podrían observarse si el material genético se condensara.

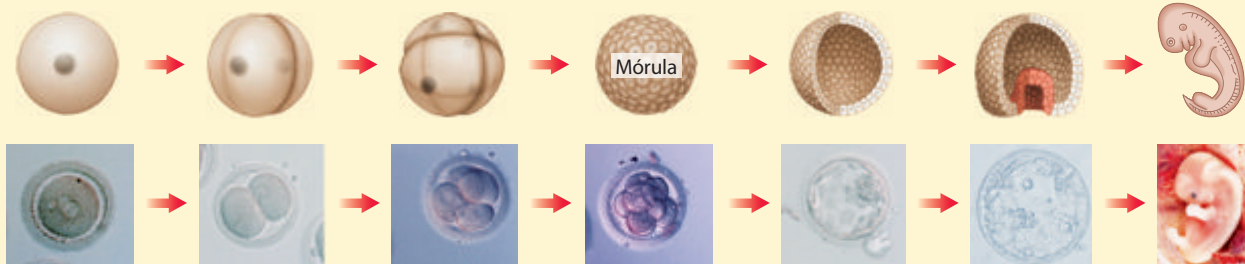
La importancia de la mitosis

La división mitótica permite obtener células idénticas a la célula original y de esta manera conservar el material genético de un organismo. Es así como la mitosis tiene un papel fundamental para los organismos pluricelulares en procesos de desarrollo, crecimiento y regeneración de tejidos. Para los organismos unicelulares, en tanto, la mitosis constituye un mecanismo de reproducción, ya que da origen a nuevos individuos.

• Procesos de desarrollo

En los organismos pluricelulares es fundamental el proceso de mitosis, ya que luego de la unión entre el gameto masculino y el femenino (fecundación), se origina una célula con el total de la información genética de la especie, el **cigoto**, a partir del cual se podrán conformar los distintos tejidos y órganos del nuevo organismo.

Es así como el cigoto comienza a experimentar sucesivas divisiones. Tal como se muestra en el esquema, las primeras divisiones del cigoto dan origen a la "mórula", masa esférica que contiene células idénticas a la original. Luego estas células migran hacia diferentes zonas que darán origen a los distintos tipos celulares que formarán parte del organismo.



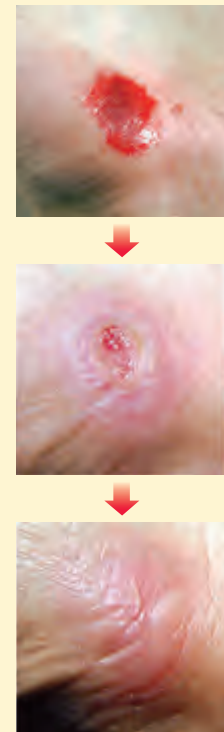
• Procesos de crecimiento

Una vez que se genera un individuo, este debe crecer en cada una de sus estructuras. Es así como la mitosis cumple un papel fundamental en el aumento de la cantidad de células. Tal como lo muestra la imagen inferior, una planta que ha germinado comienza un proceso de crecimiento de sus raíces, tallos y hojas, que se debe en parte al aumento del número de células en cada una de sus estructuras. Lo mismo nos sucede a nosotros; durante nuestro crecimiento hay un incremento de células en huesos, músculos, piel y en todos los demás órganos del cuerpo.



• Procesos de regeneración

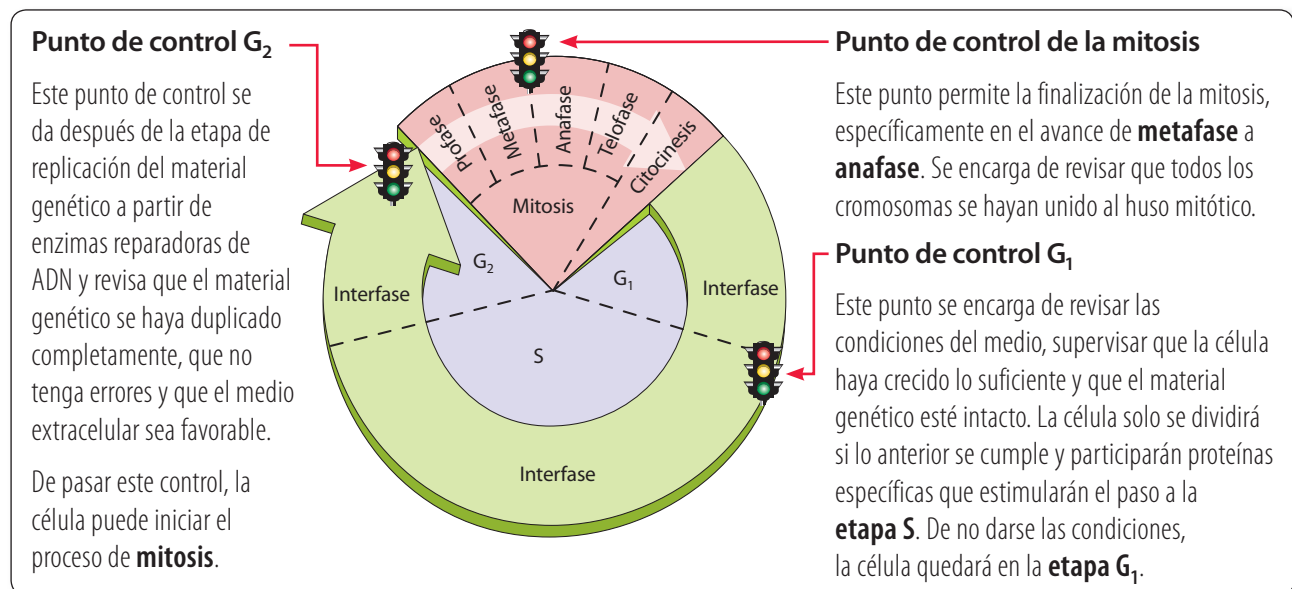
En muchas ocasiones, los organismos pluricelulares pueden perder células de ciertos tejidos, por lo que se hace necesaria su reconstitución. Este proceso también se lleva a cabo por divisiones mitóticas. Se produce por ejemplo en la piel, la que en caso de sufrir alguna herida cicatriza y regenera el tejido que había sido dañado por uno sano.



La importancia de regular la mitosis

Como vimos anteriormente, la mitosis es un proceso celular muy preciso, ya que en lo que respecta a la división del material genético, este debe ser repartido en forma igualitaria para que las nuevas células puedan sobrevivir. Pero no solo esto es primordial, sino también el inicio y término de las divisiones celulares: ¿cuándo se dividen las células?, ¿cómo una célula "sabe" cuando debe hacerlo?, y también, ¿hasta cuándo dividirse y no sobrepasar el número preciso de células que debe tener un determinado tejido?

Todos estos procesos celulares poseen mecanismos de control que son regulados por diversos factores, fundamentalmente por proteínas que se sintetizan a partir de genes específicos. El ciclo celular presenta **puntos clave** donde **controla los procesos celulares** para iniciar o no una división. Pensemos los controles como los semáforos que regulan el tráfico vehicular en una ciudad. En cada uno de los puntos de control se hace una revisión a través de la información que entrega la célula, lo que pone en marcha o retrasa la siguiente fase.



En la regulación del ciclo celular participa una gran cantidad de proteínas formadas a partir de genes específicos:

- Los **protooncogenes** codifican proteínas que regulan positivamente el ciclo celular, es decir, activan la proliferación celular. Las principales son: proteínas ciclinas y proteínas quinasas dependientes de ciclinas (Cdk), fundamentales en la promoción de las etapas de G₁ a S y de G₂ a mitosis.
- Los **genes supresores de tumores**, en cambio, codifican proteínas que regulan negativamente el ciclo celular y se encargan de que la mitosis no continúe debido a que la replicación del ADN ha ocurrido en forma incorrecta. Si el daño en el ADN es severo, una proteína codificada (p53) induce a una **muerte celular programada (apoptosis)**. Cuando una célula no es necesaria o es una posible amenaza, esta puede morir por apoptosis, en un proceso ordenado y sin dañar a sus células vecinas.

Cáncer, descontrol de la división celular

Limitaciones de los modelos y teorías científicas

Una de las enfermedades que causan mayor temor en las personas es el cáncer. No es casual, ya que en la actualidad una de cada tres personas padece de algún tipo de cáncer durante su vida y una de cada cuatro muere.

A comienzos del siglo XX, el científico norteamericano Peyton Rous descubre que un sarcoma, cáncer que se desarrolla en los tejidos que dan soporte e interconectan el cuerpo, era causado por un virus que se transmitía de un individuo a otro. **El modelo propuesto para este caso (ver esquema lateral) fue rápidamente replicado para casos humanos, es decir, se trató al cáncer como una enfermedad infectocontagiosa.**



Con el paso del tiempo y el consecuente desarrollo tecnológico, se determinó que solo un 15% de los cánceres humanos eran causados por agentes patógenos virales. ¿Qué sucedía entonces con el 85% restante?

Distinción de células cancerosas

Los primeros estudios sobre el cáncer determinaron que la mayor parte de ellos se produce porque las células cancerosas difieren de sus células normales equivalentes. **Se generó de esta manera un modelo predictivo (lee la sección Ayuda) que definía el comportamiento de estas células.**

Ayuda

Los modelos científicos corresponden a representaciones de un fenómeno y pueden tener distintos objetivos. En el ámbito científico destacan los modelos **explicativos** (explican un fenómeno) y los **predictivos** (predicen un fenómeno).

Aspectos estudiados	Resultados obtenidos	
	Células cancerosas	Células normales
Control de la división celular a partir de factores de crecimiento y hormonas.	Pierden la capacidad para responder a los controles de la división celular, lo que hace que se formen grandes masas celulares o tumores.	Solo se dividen si son expuestas a factores de crecimiento y hormonas.
Capacidad para invadir tejidos vecinos.	Algunas pueden presentar gran capacidad de diseminación a tejidos vecinos y otros órganos.	Su división se circunscribe al tejido al que pertenecen.

Tipo de tumor	Similitud con el tejido del que proviene	Velocidad de división	Localización
Benigno	Alta	Lenta	Permanece en el lugar en que se desarrolla.
Maligno	Baja	Rápida	Invade otros tejidos.

Este modelo permitía que los especialistas, al observar tejidos con presencia de tumores, tuvieran la posibilidad de confirmar la ocurrencia de un cáncer, determinar el tipo y el nivel de avance que presentaba.

Modelo explicativo del cáncer: paso a paso

A partir del estudio de cánceres inducidos por virus, se descubrió que dichos organismos introducían genes en la secuencia normal de ADN, denominados **oncogenes**, y que estos eran los principales responsables del desarrollo de la enfermedad, ya que actuaban estimulando la división celular. Posteriormente se descubrió que algunos **protooncogenes**, genes normales reguladores del ciclo celular, se podían transformar en oncogenes al activarse en células que no debían dividirse o al aumentar la frecuencia de división de células con actividad mitótica.

La activación de los protooncogenes se debe a daños en el ADN que se pueden dar espontáneamente o a partir de ciertas sustancias denominadas **carcinógenas**, tales como el alquitrán de los cigarrillos, los aditivos de los alimentos, la luz ultravioleta, entre otras.

A pesar de existir mecanismos especializados en el reconocimiento y la reparación de errores en el material genético, en el ser humano el ADN presenta constantes alteraciones (mutaciones). Resultaba extraño, entonces, que no hubiese una relación proporcional entre la tasa de mutaciones en el material genético y la cantidad de tumores cancerígenos.

En la década de los setenta, el científico norteamericano Alfred Knudson utilizó estas observaciones para predecir que para que se desarrollara un tumor, debían también inactivarse **genes supresores de tumores**, los que codifican proteínas que permiten mantener a las células en G_1 . Estos genes vienen a completar un **modelo explicativo** sobre el cáncer que permite esclarecer la aparición de tumores en distintas condiciones de predisposición genética y de contacto con sustancias cancerígenas.

La principal limitación de los modelos científicos aplicados a este tipo de enfermedades es que no explican por completo la patología de la cual están dando cuenta, ya que se van modificando a partir del avance tecnológico disponible. Por ello, **los modelos están en constante cambio**, son dinámicos y no siempre son aplicables en todas las situaciones. A pesar de lo anterior, los modelos son fundamentales para comprender los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor, para predecir los sucesos asociados a estos y, en caso de ser atingente, poder aplicarlos.

Actividad

1. A partir de lo estudiado en estas páginas, **explica**.
 - a. ¿Cuál fue el error de replicar para el cáncer el modelo utilizado para el tratamiento de enfermedades infectocontagiosas?
 - b. ¿Qué consecuencias puede traer la aplicación generalizada de un modelo?
2. **Identifica y explica** dos limitaciones y un beneficio de los modelos utilizados para comprender el origen de enfermedades cancerígenas.
3. Usando un destacador, **subraya** las principales ideas relacionadas con la evolución de un modelo explicativo para el cáncer.

Para profundizar

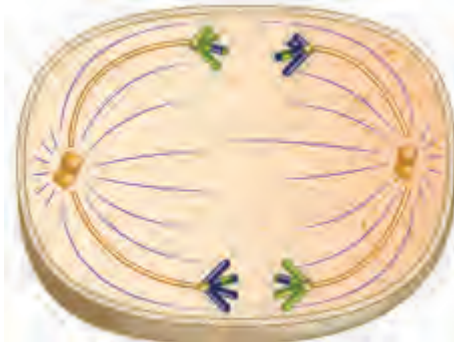
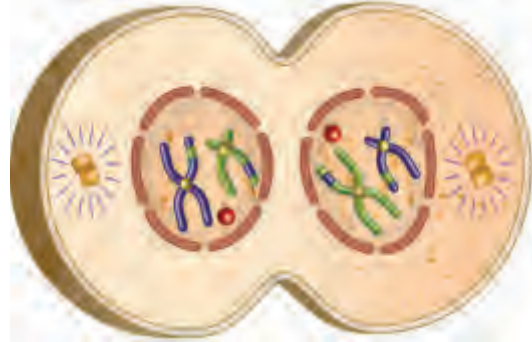
El principal producto de un gen supresor, también llamado “el guardián del genoma”, es el **p53**, encargado de mantener a las células en G_1 . Esto lo hace al actuar como factor de transcripción de una proteína que bloquea la interacción entre **ciclina** y **quinasas**, fundamental para la continuación del ciclo celular.

Meiosis I: reducción del material genético y base de la variabilidad

A continuación se presenta otra forma de división celular, la **meiosis**, que permite la formación de células con la mitad de la información genética de la célula que se divide. A partir de una célula diploide se obtienen cuatro células haploides, gracias a dos divisiones sucesivas (meiosis I y meiosis II) con una sola duplicación de material genético.

En el siguiente esquema se representa la primera parte de la división meiótica de una célula animal de cuatro cromosomas: la **meiosis I**.

	Profase I	Metafase I
Esquemización	<p>Cromosomas homólogos (par 1)</p> <p>Huso</p> <p>Quiasmas</p> <p>Cromosomas homólogos (par 2)</p>	<p>Genes recombinados</p>
Descripción	<p>Al igual que en la profase mitótica, la cromatina se condensa y forma los cromosomas. Los centríolos migran hacia los polos y desaparecen la envoltura nuclear y el nucléolo.</p> <p>Entrecruzamiento o <i>crossing-over</i></p> <p>Lo fundamental de esta etapa es que los cromosomas homólogos se aparean (sinapsis) y forman lo que se conoce como tétrada o cromosoma bivalente, dando la impresión de que se trata de un cromosoma con cuatro cromátidas. En estas tétradas se forman uniones llamadas quiasmas, zonas en las que ambos homólogos intercambian material genético o genes, proceso que se denomina entrecruzamiento o <i>crossing-over</i>.</p> <p>Cromosomas homólogos</p> <p>Par 1</p> <p>Par 2</p> <p>Sinapsis</p> <p>Quiasmas</p> <p>Entrecruzamiento</p>	<p>Los cromosomas homólogos se disponen en el ecuador de la célula al azar, uno frente al otro, todavía unidos en las zonas donde hubo entrecruzamiento. Los cromosomas homólogos han conservado su centrómero de manera independiente, y mediante estos, cada cromosoma se asocia a una fibra del huso meiótico.</p> <p>Permutación cromosómica</p> <p>En cada uno de estos pares, tanto el cromosoma de origen materno como el paterno pueden ubicarse hacia cualquiera de los polos, lo que se denomina permutación cromosómica.</p> <p>Esto genera variabilidad en las células que se van a originar, ya que existen múltiples posibilidades de permutación. En el caso del ser humano, se pueden generar más de ocho millones de gametos con información distinta.</p> <p>— Cromosomas paternos</p> <p>— Cromosomas maternos</p>

	Anafase I	Telofase I
Esquematación		
Descripción	Cada uno de los cromosomas homólogos recombinados es arrastrado por el huso y conducido hacia los respectivos polos. Este proceso se denomina segregación o disyunción de los cromosomas homólogos.	Los cromosomas ya se disponen en los polos y comienza la reorganización de la envoltura nuclear y del nucléolo. Luego ocurre la citodíesis y se forman dos células con la mitad de los cromosomas de la célula original: células haploides .

Características de las células resultantes de la meiosis I

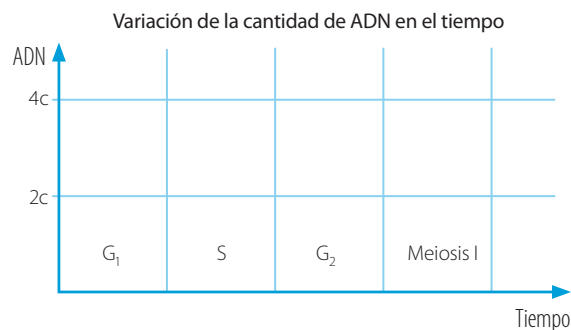
Luego de la meiosis I se obtienen dos células. Cada una contiene un cromosoma doble de cada par de cromosomas homólogos, con porciones de ADN intercambiadas.

En la tabla se resume el estado del material genético de una célula humana al final de cada una de las etapas, tanto en interfase como en meiosis I. Ten presente que antes de iniciada la primera división meiótica, la célula se encontraba en interfase, etapa durante la cual se duplica el material genético (en S).

Estado del ciclo celular	Cantidad de ADN	Nº de cromosomas	Nº de cromátidas	Diploidía (2n) o haploidía (n)
G ₁	2c	46	46	2n
S	2c → 4c	46	92	2n
G ₂	4c	46	92	2n
Profase I	4c	46	92	2n
Metafase I	4c	46	92	2n
Anafase I	4c	46	92	2n
Telofase I	2c (x2)	23 (x2)	46 (x2)	n (x2)
Células resultantes.	2c	23	46	n

Actividad

1. Considerando los datos de la tabla anterior, **completa** el siguiente gráfico según la cantidad de ADN al final de cada una de las etapas, tanto en interfase como en meiosis I.

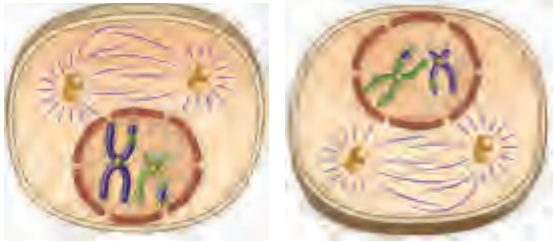
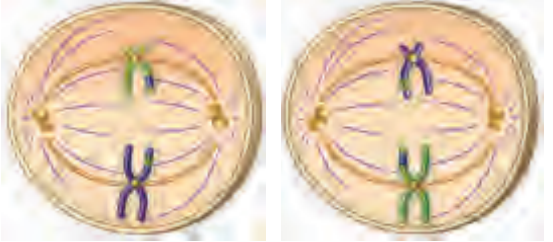


◀ En este gráfico no está considerado el tiempo real que dura cada etapa.

Meiosis II

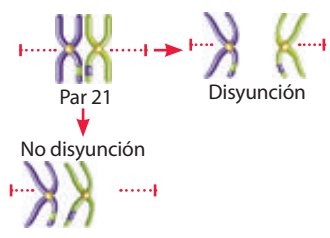
A continuación se presenta la segunda parte del proceso de división meiótica a partir de las células resultantes de la meiosis I que vimos en las páginas anteriores. Recordemos que cada una de estas células son haploides, con $2c$ de ADN. Anterior al desarrollo de la meiosis II, estas células pasan por una interfase corta, ya que en este caso no hay duplicación del material genético.

En el siguiente esquema se representa la segunda parte de la división meiótica (**meiosis II**) a partir de las dos células resultantes de la meiosis I, cada una con sus cromosomas duplicados.

	Profase II	Metafase II
Esquematación		
Descripción	A medida que la cromatina comienza a condensarse, se pueden visualizar los cromosomas dobles. Los centríolos, por su parte, migran hacia los polos y se forma el huso meiótico. Además, comienzan a desintegrarse la envoltura nuclear y el nucléolo.	En esta etapa ya no es posible visualizar la envoltura nuclear ni el nucléolo. En tanto, los cromosomas dobles con porciones de material genético intercambiado se disponen en el ecuador de la célula, sostenidos por las fibras del huso meiótico que se ha unido a los cinetocoros.

Para profundizar

La trisomía 21 o síndrome de Down se caracteriza por la no disyunción del par homólogo 21. Se forma un gameto de 24 cromosomas, ya que los homólogos migran para un mismo polo. Este gameto puede ser fecundado por uno de 23 cromosomas, lo que dará como resultado un individuo de 47 cromosomas, con uno extra en el par 21.



Aneuploidías: problemas en la separación de los cromosomas homólogos



Las aneuploidías corresponden a anomalías que se evidencian en el número de cromosomas de un individuo y se producen por la no disyunción (separación) de los cromosomas homólogos durante la etapa de anafase I. Las más comunes y viables son las monosomías y trisomías.

- **Monosomías**

Por la falta de un cromosoma en el cariotipo, provocada por la no disyunción de los homólogos, se forma un gameto con 22 cromosomas en vez de 23. En el ser humano existe una monosomía que es viable, el **síndrome de Turner**, cuyo cariotipo es **45(XO)**, es decir, las células presentan solo 45 cromosomas debido a la ausencia (O) de un cromosoma sexual.

- **Trisomías**

En estos casos, hay un cromosoma extra debido a la formación de un gameto de 24 cromosomas por la no disyunción de uno de los pares homólogos. En seres humanos se da la no disyunción en el par sexual, lo que se deriva en síndromes tales como: **síndrome de Klinefelter**, 47(XXY); **síndrome del XYY**, 47(XYY), y **síndrome del XXX**, 47(XXX). También pueden producirse trisomías por la no disyunción en los cromosomas autosómicos: **síndrome de Down**, 47(21), condición que presenta una trisomía en el par 21.

	Anafase II	Telofase II
Esquematación		 <p>Células hijas haploides</p>
Descripción	Al igual que en la mitosis, los cromosomas son arrastrados por el huso hacia los polos, por lo que se acercan hacia los centríolos, y el cromosoma doble se divide, lo que se conoce como separación de las cromátidas hermanas .	Los cromosomas simples, generados a partir de la separación de las cromátidas hermanas, se agrupan en ambos polos. Se comienzan a reorganizar la envoltura nuclear y el nucléolo. Ocurre la citodiéresis, y por cada célula que se divide por meiosis II, se obtienen dos células haploides con 1c de ADN.

Características de las células resultantes de la meiosis II

Finalizada la **meiosis completa** de una célula diploide, se forman cuatro células haploides. En el caso del ser humano, una célula germinal de 46 cromosomas dobles ubicada en una gónada femenina o masculina forma cuatro células de 23 cromosomas simples cada una. Ahora bien, estas células reproductivas no solo tienen la mitad del material genético de la especie, sino también son distintas unas de otras debido a procesos de variabilidad propios de esta división: el **entrecruzamiento** y la **permutación cromosómica**.

Recuerda

La **meiosis** es un proceso de división celular fundamental para la formación de gametos en los individuos que se reproducen sexualmente, ya que permite la reducción del material genético y es una fuente de variabilidad para los descendientes.

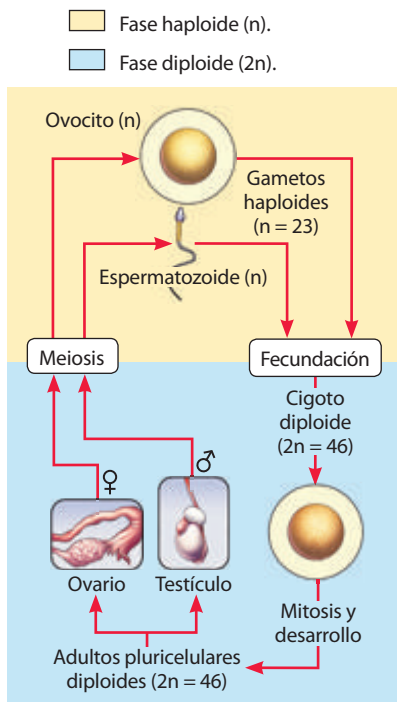
Actividad

1. **Completa** la siguiente tabla respecto de la cantidad y organización del material genético en la especie humana durante la meiosis II. Recuerda que previo al inicio de la segunda división meiótica, la célula se encontraba en interfase, sin duplicación del material genético.

Estado del ciclo celular	Cantidad de ADN	Nº de cromosomas	Nº de cromátidas	Diploidía (2n) o haploidía (n)
G ₁				
S	2c	23	46	n
G ₂				
Profase II	2c	23	46	n
Metafase II				
Anafase II	2c	46	46	2n
Telofase II	c (x2)	23 (x2)	23 (x2)	n (x2)
Células resultantes.				

Importancia de la meiosis

Formación de gametos y variación genética



▲ Esquema en el que se representa la unión de dos gametos haploides y la formación de un cigoto diploide que, al desarrollarse, dará origen a un nuevo ser humano.

Tal como revisamos en las páginas anteriores, la meiosis involucra dos divisiones sucesivas que generan cuatro células con la mitad del material genético de la célula original, es decir, se obtienen células haploides. Esta división es fundamental para los organismos que se reproducen sexualmente, ya que a través de la unión de estas células en la fecundación se restablece el número total de la especie con la contribución de cada uno de los progenitores.

En el ciclo vital del ser humano existen órganos especializados en la formación de gametos, las **gónadas**, donde se encuentran las únicas células diploides que pueden dividirse por meiosis y formar células haploides, los gametos. Cada uno de estos contiene un juego de cada par de cromosomas homólogos (23 en vez de 46). ¿Y el otro juego? Se encuentra en otros gametos. Cuando un gameto femenino se une con un gameto masculino en la fecundación, se restablecen ambos juegos de homólogos y la diploidía de la especie (2n, 46 cromosomas).

La reproducción sexual permite generar nuevas combinaciones genéticas debido a tres mecanismos, dos de los cuales se desarrollan en la meiosis: el **entrecruzamiento** o **crossing-over** en la profase I, donde se da el intercambio de información genética entre las cromátidas de los cromosomas homólogos, y la **permutación cromosómica**, que se produce en la metafase I. Este último mecanismo tiene como consecuencia una **distribución independiente** o azarosa de los cromosomas homólogos en la anafase I, donde cada gameto recibe un cromosoma de cada uno de los 23 pares de homólogos, pero de cualquiera de los progenitores, lo que añade aún más combinaciones posibles.

Se debe agregar a los procesos anteriores la **fecundación**, ya que la unión entre los dos gametos que producen los progenitores en forma independiente es al azar. Pero ¿qué importancia puede tener la variabilidad para un organismo? Puede contribuir a que un individuo presente características más favorables que las que tenían sus progenitores para su adaptación al medio, es decir, es un mecanismo que puede favorecer la evolución de las especies.

Actividad

1. En una hoja de bloc y utilizando lápices de colores, dibuja y pinta cuatro cromosomas duplicados. Usa un color para los de origen paterno y otro color para los de origen materno. Se recomienda hacerlos de 5 cm de largo, aproximadamente.
2. Recorta los cromosomas y ubícalos frente a sus respectivas parejas. Estas duplas equivalen a dos pares de homólogos.
3. Primero realiza los pasos de la meiosis con las siguientes condiciones: entrecruza una porción de cromátidas (recorta las porciones intercambiadas del color contrario y pégalas en el lugar que corresponda) y considera que en la permutación los cromosomas del padre migran a un polo y los de la madre al otro. Pega en otra hoja las cuatro células resultantes.
4. Ahora, con los mismos colores iniciales, realiza los pasos de la meiosis, pero considera dos entrecruzamientos en ambos pares de homólogos y la permutación cruzada de cromosomas. Pega en otra hoja las cuatro células obtenidas.
5. **Compara** los resultados en términos de variabilidad y **elabora** una conclusión al respecto.

Comparación entre mitosis y meiosis

Actividad

1. A continuación se presenta una tabla comparativa entre el proceso de mitosis y meiosis I, que es donde existen las mayores diferencias.

Etapa	Criterio de comparación	Mitosis	Meiosis I
Interfase	Preparación de la célula para el proceso de división.	Existe una preparación en cuanto a crecimiento, organización del aparato mitótico y generación de energía.	También existe una preparación en cuanto a crecimiento, organización del aparato meiótico, en este caso, y generación de energía.
Profase	Características de la célula que se va a dividir.	Una célula diploide y con el material genético duplicado.	La célula también es diploide al comenzar la meiosis y tiene el material genético duplicado.
	Características de los cromosomas en las células originales.	Cromosomas duplicados, cada uno con dos cromátidas hermanas unidas por el centrómero.	Cromosomas duplicados, cada uno con dos cromátidas hermanas unidas por el centrómero.
	Intercambio de porciones de material genético.	No existe ningún tipo de intercambio de material genético.	Se produce el entrecruzamiento de material genético entre las cromátidas de los cromosomas homólogos. Fuente de variabilidad.
	Formación de tétradas.	Como se alinean individualmente y no hay apareamiento entre homólogos, no hay formación de tétradas.	El apareamiento de los cromosomas homólogos posibilita la formación de tétradas.
Metafase	Presencia de nucléolo.	El nucléolo se desorganizó en la profase, por lo que no aparece en esta etapa.	Tampoco aparece el nucléolo; se desorganizó en la profase I.
Anafase	Citodiéresis	Comienza la división del citoplasma.	Comienza la división del citoplasma.
Telofase	Características de los cromosomas resultantes.	Cromosomas simples, producto de la separación de las cromátidas hermanas.	Cromosomas dobles recombinados, no hay separación de las cromátidas.

2. **Completa** la tabla en tu cuaderno, **comparando** los siguientes criterios:

- | | |
|--|--|
| <p>a. En interfase: - Duplicación del material genético.</p> <p>b. En profase: - Migración de los centriolos a los polos.
- Apareamiento de los homólogos.</p> <p>c. En metafase: - Alineamiento en el ecuador de la célula.
- Presencia de membrana nuclear.</p> | <p>d. En anafase: - Migración de los cromosomas a los polos.
- Disyunción de los cromosomas.
- Separación de las cromátidas hermanas.</p> <p>e. En telofase: - Reconstitución de la membrana nuclear.
- Reconstitución del nucléolo.
- Cantidad de cromosomas.</p> |
|--|--|

Respecto de la meiosis II en comparación con la mitosis, ambos son mecanismos similares en gran parte de los criterios, **excepto** que:

- Las células que están dividiéndose por meiosis II tienen la mitad de los cromosomas que una célula original de la especie que se divide por mitosis.
- En la interfase de la meiosis II no hay fase S, es decir, no hay replicación del material genético.
- Las cromátidas que participan en la meiosis II poseen genes entrecruzados, no así en la mitosis.

Etapas experimentales

1. Planteamiento del problema.

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

¿Qué es un problema de investigación?

Es una pregunta que se plantea el investigador o la investigadora luego de observar e identificar las variables involucradas en el estudio. Estas son: la variable manipulada o independiente y la variable respuesta o dependiente.

Pasos para plantear un problema de investigación

Paso 1: observar el fenómeno que se desea estudiar.

Paso 2: identificar las variables involucradas.

Paso 3: relacionar las variables en una pregunta.

Obtención de resultados

Un grupo de estudiantes se propuso llevar a cabo un proyecto de ciencias cuyo objetivo era desarrollar métodos para el cultivo de helechos. Comenzaron el cultivo en condiciones aptas para ello: un lugar sombrío y con humedad. Los estudiantes no intervinieron en los mecanismos reproductivos de los helechos, pero no quedaron conformes con las cantidades obtenidas (ver tabla) y decidieron hacer una investigación bibliográfica respecto de las modalidades reproductivas de los helechos.

Mes	Helechos nuevos
Primero	2
Segundo	3
Tercero	5
Cuarto	4

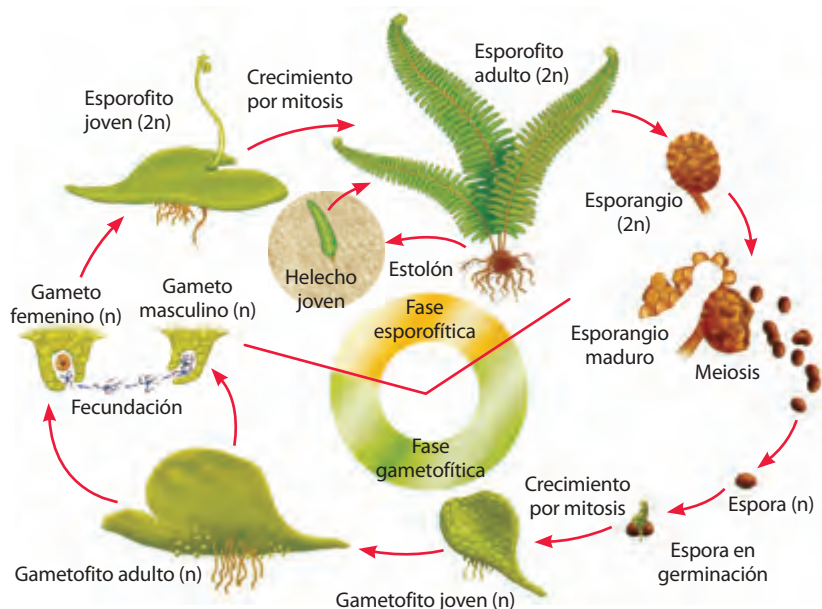
Durante su investigación aprendieron que los helechos presentan en el envés de las frondas (órganos tipo hoja de los helechos) unas estructuras denominadas soros, en cuyo interior se encuentran las esporas (ver *Ayuda*). Cuando las esporas germinan, a partir de divisiones mitóticas, se genera una estructura haploide con forma de corazón, denominada **prótalo** o **gametofito**. En el gametofito se diferencian y desarrollan dos tipos de órganos reproductivos: el órgano sexual femenino o arqueogonio, donde se encuentran los gametos femeninos, y el órgano sexual masculino o anteridio, donde se producen los gametos masculinos. De esta unión por reproducción sexual entre gametos se desarrolla una planta adulta diploide o **esporofito**. Los estudiantes concluyeron que el ciclo de vida de los helechos depende de una fase diploide (esporofito) y una fase haploide (gametofito). También se consideró que además algunos helechos pueden reproducirse en forma vegetativa (clonal) a partir de **estolones**.

Observa el esquema e identifica los siguientes eventos:

- ¿En qué fase(s) del ciclo es fundamental la mitosis?
- ¿En qué fase del ciclo se produce la meiosis?
- ¿En qué fase del ciclo se produce la fecundación?

Ayuda

Los esporangios que producen las esporas de los helechos se agrupan y forman los soros en el envés de las frondas.



Los **estolones** son largos y finos tallos con yemas terminales, que si se separan y se dejan en la tierra, pueden crecer. Este es un tipo de reproducción asexual que presentan algunas plantas y que les permite reproducirse sin intervención de gametos (a diferencia de la reproducción sexual). Los estudiantes pensaron que esta estrategia sería más fácil que la manipulación de los gametos y de esta manera aumentaría la cantidad de helechos producidos por el cultivo. Según esto, responde.

- d. ¿Qué consecuencias tiene este modo de reproducción con respecto a la variabilidad de la descendencia?

Procedimiento experimental

A partir de la revisión bibliográfica anterior y de los primeros resultados, los estudiantes se propusieron realizar el experimento que se presenta en el lateral de esta página. Cumpliendo con las condiciones descritas, construyeron cinco bandejas tipo 1 (de la 1 a la 5) y cinco bandejas tipo 2 (de la 6 a la 10).

Planteamiento del problema

A partir del diseño experimental anterior y de las observaciones que surgieron de la investigación de los estudiantes, elige cuál de los siguientes problemas encabezó su proyecto y argumenta tu elección.

Problema 1: ¿qué relación existe entre el modo de reproducción de los helechos y su capacidad para generar esporofitos en condiciones de laboratorio?

Problema 2: ¿qué efecto tiene la temperatura sobre la germinación de esporas y estolones de helechos?

Formulación de hipótesis e interpretación de resultados

- a. Según el problema elegido, formula una hipótesis que le dé respuesta.
- b. ¿Qué resultados deberían darse para que tu hipótesis sea correcta?
- c. ¿Cómo se relacionan los procesos de mitosis y meiosis con la modalidad reproductiva de los helechos?
- d. ¿Mediante qué tipo de reproducción se produjo un mayor número de esporofitos? ¿Por qué crees que ocurrió esto? Analiza los datos de la tabla.

	Esporofitos obtenidos a partir de esporas (bandejas tipo 1)					Esporofitos obtenidos a partir de estolones (bandejas tipo 2)				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Número de esporofitos obtenidos.	5	1	6	11	8	16	18	15	17	14
Porcentaje en relación con el total de la bandeja.	25	5	30	55	40	80	90	75	85	70

Elaboración de conclusiones

- a. ¿Qué conclusión puedes elaborar a partir de los resultados obtenidos? ¿Aceptas o rechazas la hipótesis que formulaste inicialmente? Explica.



▲ Ejemplo de reproducción asexual por estolones.

Actividad procedimental avanzada

Experimento

- Mezcla de turba y arena que cubra la superficie de dos bandejas.
- Temperatura de 20 °C.
- Siembra de las esporas y los estolones, respectivamente.
- Riego de agua una vez al día para conservar la humedad sobre un 60%.



▲ Bandejas tipo 1: 20 esporas.

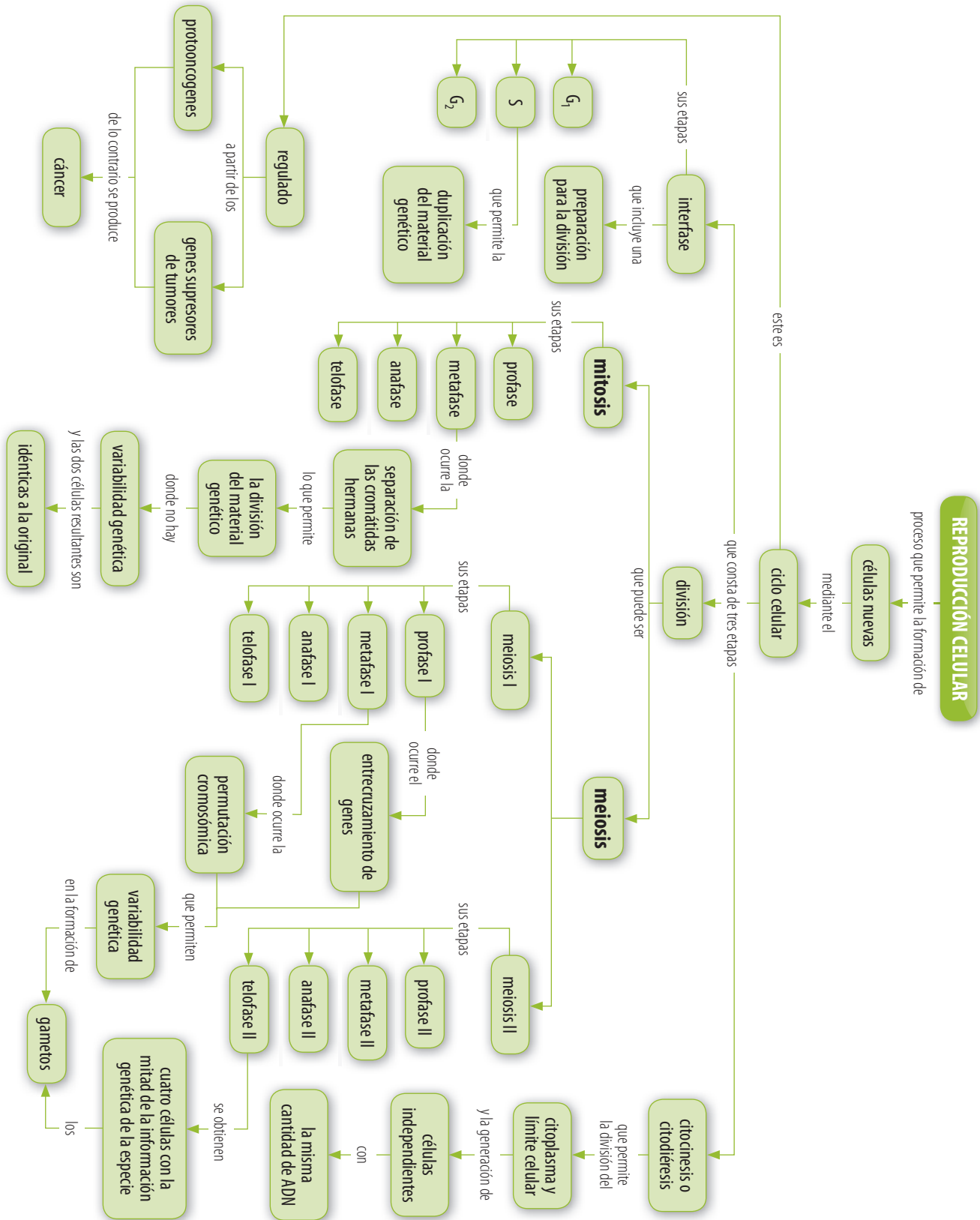


▲ Bandejas tipo 2: 20 estolones.

Ayuda

Del diseño experimental emergen las variables del experimento. Aquella que manipula el investigador y varía en el experimento es la **variable independiente** y la que se espera obtener es la **variable dependiente** o **respuesta**.

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



I. Analiza la siguiente situación procedimental y luego responde.

El cáncer tiene su origen en el descontrol de la división celular. Se puede decir, entonces, que la división celular es un proceso que se encuentra controlado, tal como sucede con el movimiento de un automóvil. En este último caso, para su movimiento debe apretarse el pedal del acelerador y a su vez debe quedar liberado el pedal del freno.

Los científicos han estudiado por años cómo se produce el control de la división celular para comprender de esta manera qué es lo que sucede en las células cancerosas. Es así como encontraron una serie de genes que actúan como pedales de aceleración de la división y otros que lo hacen como pedales de freno.

A continuación te presentamos los resultados de un experimento realizado en un tejido donde se manejó la expresión de dos genes involucrados en el control de la división celular.

Experiencia 1		
Genes	Acción	Resultado
Gen 1.	Se activó.	Hubo división.
Gen 2.	Se inhibió.	

Experiencia 2		
Genes	Acción	Resultado
Gen 1.	Se inhibió.	Se detuvo la división.
Gen 2.	Se activó.	

Según el experimento anterior, se pudo concluir que la división celular se regula a partir de la activación e inhibición alternada de genes que aceleran la división y aquellos que la detienen.

Posterior a la realización de este experimento, se determinó la existencia de genes que efectivamente aceleran la división celular, los que reciben el nombre de **protooncogenes**, y la existencia de genes que detienen la división celular, los que reciben el nombre de **genes supresores de tumores**.

Planteamiento del problema

- 1 Menciona dos observaciones que se desprendan del experimento.
- 2 Identifica las variables de este experimento: variable independiente o manipulada y variable dependiente o respuesta.
- 3 Relaciona las variables anteriores y propón un posible problema que encabece la investigación anterior.

II. Marca la alternativa correcta.

- 1 ¿Cuál de estas afirmaciones es **incorrecta** respecto del ADN?
- Corresponde a un polímero.
 - El nucleótido es su unidad estructural.
 - Está compuesto por dos hebras.
 - Sus bases complementarias se unen.
 - Es el material genético exclusivo de la célula.
- 2 ¿Qué particularidad(es) posee la citocinesis de una célula vegetal respecto de una animal?
- Participación activa del Golgi.
 - Formación del fragmoplasto.
 - Intervención de microtúbulos.
- Solo I. D. I y III.
 - Solo II. E. I, II y III.
 - I y II.
- 3 Observa la microfotografía de una célula en división. ¿A qué etapa de la mitosis corresponde?
- 
- Profase temprana.
 - Metafase.
 - Anafase.
 - Telofase.
 - Profase tardía.
- 4 ¿Cómo se denomina la estructura de cromatina con el máximo grado de condensación?
- Centrómero.
 - Cromátida.
 - Cromosoma.
 - ADN.
 - Histona.
- 5 ¿Cuál sería la dotación cromosómica diploide ($2n$) de esta especie?
- 
- 1 par de cromosomas.
 - 2 pares de cromosomas.
 - 3 pares de cromosomas.
 - 4 pares de cromosomas.
 - 8 pares de cromosomas.
- 6 ¿Qué le ocurre a una célula de la especie A, desprovista de núcleo, si se le implanta el núcleo de una especie B?
- Mantiene sus características.
 - Muere al igual que la célula de la especie B.
 - Adquiere las características de B.
 - Combina su información con la de B.
 - Genera una especie distinta de A y B.
- 7 La anemia falciforme se caracteriza por la formación anormal de la proteína hemoglobina. ¿Qué es correcto decir de esta enfermedad?
- Está influenciada solo por el ambiente.
 - Depende exclusivamente del genotipo.
 - Se ve claramente la asociación entre el genotipo y los factores ambientales.
 - Se revierte con una ingesta mayor de fierro.
 - Su expresión está determinada por factores ambientales, como la alimentación.
- 8 ¿Cuántos cromosomas y de qué tipo van a ser los resultantes en células humanas después de finalizar una división mitótica?
- 23 cromosomas simples.
 - 23 cromosomas dobles.
 - 46 cromosomas simples.
 - 46 cromosomas dobles.
 - 92 cromosomas simples.
- 9 ¿Por qué se puede afirmar que la separación de las cromátidas hermanas es el principal evento de la mitosis?
- Porque permite la división del citoplasma.
 - Porque permite la conformación de los cromosomas.
 - Porque permite la reorganización del núcleo.
 - Porque permite la división del material genético.
 - Porque permite el encuentro entre los cromosomas homólogos.

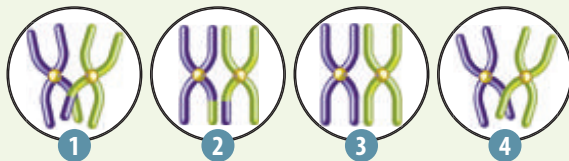
10 ¿Cuál de los siguientes eventos es exclusivo de la meiosis?

- A. Separación de las cromátidas hermanas.
- B. Ordenamiento de los cromosomas en el ecuador celular.
- C. Apareamiento de los homólogos.
- D. División del citoplasma y del límite celular.
- E. Migración de los cromosomas hacia los polos.

11 ¿Cuál(es) de las siguientes características presentan las células resultantes de la meiosis (I y II) respecto de la célula original?

- I. La mitad de los cromosomas.
 - II. Igual cantidad de genes.
 - III. Variabilidad en la información genética.
- A. Solo I. D. I y II.
 - B. Solo II. E. I y III.
 - C. Solo III.

12 ¿Cuál es el orden correcto del entrecruzamiento de estos homólogos?



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

13 ¿Qué ocurriría al extraer las histonas del núcleo?

- I. No se visualizarían cromosomas en profase.
 - II. No se observarían nucleosomas.
 - III. En caso de dividirse, el material genético se repartiría en forma desigual.
- A. Solo I. D. I y III.
 - B. Solo II. E. I, II y III.
 - C. Solo III.

14 ¿Cuál de los siguientes eventos se comparten entre la mitosis y la meiosis II?

- A. La separación de las cromátidas hermanas.
- B. El entrecruzamiento entre los homólogos.
- C. La permutación cromosómica.
- D. La conformación de células con cromosomas dobles.
- E. La separación de los homólogos.

15 ¿En qué se parece una célula resultante de la mitosis con una resultante de la meiosis I?

- I. Tienen la misma cantidad de ADN.
 - II. Presentan el mismo número de centrómeros por cada cromosoma.
 - III. Ambas presentan cromosomas simples.
- A. Solo I. D. I y II.
 - B. Solo II. E. II y III.
 - C. Solo III.

Yo me evalúo

Marca el nivel de logro de tus aprendizajes dentro de la unidad. Usa para ello la escala que se presenta después de la tabla.

Evaluación sección	
Actividad de inicio.	
Evaluación de proceso.	
Evaluación final.	

1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

Unidad

2

Herencia biológica



¿Qué aprenderás?	¿Para qué?	¿Dónde?
Formulación de hipótesis.	Formular hipótesis a partir de la observación de un fenómeno, desarrollar las etapas del método científico y ponerlas a prueba.	Páginas 48, 49, 66, 67 y 79.
Leyes de la herencia.	Comprender las leyes de la herencia a partir de los estudios de Mendel.	Páginas 50 a 67.
Descripción de una investigación científica clásica.	Identificar las etapas que comprende una investigación científica clásica a partir de los trabajos desarrollados por Mendel.	Páginas 62 y 63.
Tipos de herencia.	Aplicar los principios básicos de genética mendeliana en ejercicios de transmisión de caracteres según el tipo de herencia: dominancia completa, codominancia, dominancia incompleta, herencia ligada al sexo y alelismo múltiple.	Páginas 68 a 71.
Herencia en la especie humana.	Comprender los principales tipos de herencia humana a partir del análisis de árboles genealógicos y del conocimiento de enfermedades hereditarias.	Páginas 72 a 77.

Evaluación inicial

Construye un breve árbol genealógico que incluya a tus padres, abuelos, hermanos y hermanas. Para cada integrante de tu árbol, anota algunas de sus características físicas, como estatura, color de cabello, color de ojos, forma de la nariz, tamaño del mentón, color de piel, tamaño de la frente, entre otras que se te ocurran. Ahora compara si hay puntos comunes.

1. ¿En qué características te pareces a los demás miembros de tu familia?
2. ¿Con qué familiares encuentras similitudes?
3. ¿Hay alguna característica que compartas con uno de tus abuelos, pero no con tus padres? Si es así, ¿cómo lo explicarías?



▲ En una camada de conejos pueden darse ejemplares con distintos colores de pelaje, a pesar de que los padres sean muy parecidos. ¿Cómo puede ser posible esto?

Etapas experimentales

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

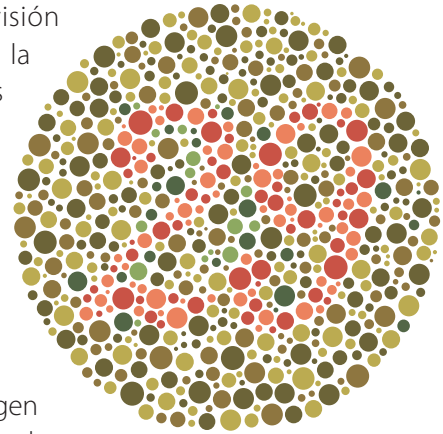
¿Qué es una hipótesis?

Es una afirmación anticipada que da respuesta a la pregunta que se plantea en el problema de investigación. En ella se relacionan las mismas variables presentes en el problema y que se pondrán a prueba en el desarrollo experimental. Recuerda que en las conclusiones debes enfrentar la hipótesis formulada con la interpretación de los resultados obtenidos.

Pasos para formular una hipótesis

- Paso 1:** identificar el problema de investigación que se desea resolver.
- Paso 2:** identificar las variables involucradas y hacer una suposición.
- Paso 3:** relacionar las variables en una respuesta al problema de investigación y formular la hipótesis a partir de una predicción.

El daltonismo es una alteración de la visión normal que se caracteriza porque quien la padece no logra distinguir determinados colores. En los casos más extremos, no se distingue el color rojo del verde. Aunque esta condición puede complicar algunas actividades, no compromete en nada la vida de la persona. Alrededor del 8% de los hombres son daltónicos, mientras que en las mujeres no alcanza el 1%.



¿No sabes si eres daltónico? Al mirar la imagen de esta página, una persona de visión normal ve el número 29 y un daltónico el 70. ¿Cuál ves tú?

Analicemos el siguiente caso y, recurriendo a los conocimientos que ya tienes y a la información que a continuación se te entrega, intenta resolverlo.

Planteamiento del problema y obtención de resultados

Pedro tiene ceguera para los colores y sabe que el daltonismo es un carácter familiar, pero no conoce su modo de herencia. Esta es la descripción que hace de cómo afecta a sus familiares más próximos:

“Mi madre y mis hermanas Berta e Isabel distinguen perfectamente los colores, pero mi padre y yo somos daltónicos. Berta tiene dos hijos varones y los dos son daltónicos, pero su única hija es totalmente normal. Yo tengo un hijo y una hija que tienen ambos la visión normal, como su madre. Aunque mi madre tiene la visión normal, su hermano tenía el mismo problema que yo”.

¿Por qué sucede esto?, se pregunta Pedro. ¿Cómo podrías darle una respuesta? Vamos paso a paso para ver si ello resulta posible.

- a. Inventa una manera de representar la información familiar entregada por Pedro y utiliza una simbología que te permita distinguir hombres, mujeres, daltónicos y no daltónicos.

- b. ¿Qué puedes inferir de lo anterior?
- c. ¿Por qué una determinada característica, en este caso una alteración como el daltonismo, aparece en ciertos individuos, luego parece “desaparecer” y después reaparece en algunos individuos de la generación siguiente?
- d. Piensa ahora en cualquier otra característica, como la estatura. Toma como ejemplo lo que sucede en tu familia, considerando a tus padres, hermanos, tíos, primos y abuelos. ¿Qué ocurre en este caso?

Interpretación de resultados

- a. Observa la cantidad de individuos daltónicos. ¿De qué sexo es la mayoría de ellos? ¿Coincide tu respuesta con el antecedente que se te entrega inicialmente? ¿Qué te dice esto sobre el tipo de herencia que caracteriza al daltonismo?
- b. Como cada cromosoma homólogo posee un gen que determina una característica, entonces un individuo posee dos copias que codifican para la misma característica. ¿Qué pasa si esas informaciones son distintas? ¿Cuál de las dos se expresará? ¿Puede resultar una dominante sobre la otra? Explica con tus propias palabras cómo crees que funciona este mecanismo. Si es necesario, complementa tu explicación con un ejemplo.
- c. Considerando lo que sabes de meiosis, ¿cómo podrías explicar lo que sucede con la herencia en la familia de Pedro? Lee además la información de la sección *Ayuda*.

Formulación de hipótesis

- a. A partir de tus respuestas anteriores, elabora una hipótesis que pueda explicar lo sucedido en la familia de Pedro; en otras palabras, que intente responder cómo se hereda el daltonismo.

Elaboración de conclusiones

- a. Anota en tu cuaderno, a modo de comunicado, una síntesis del caso anterior y de los antecedentes que te permiten, a partir de lo que sabes, elaborar una hipótesis al respecto. Una vez que estudies esta unidad, podrás ratificar si es correcto o no lo que ahora postulas de manera intuitiva.

Yo me evalúo

De la actividad anterior:

- ¿qué te resultó más difícil?, ¿por qué?

En esta actividad se te pidió **formular una hipótesis** que explicara los antecedentes con que contabas.

- ¿Qué entendiste que debías hacer?
- ¿Consideraste la información presente en el recuadro lateral de la página anterior?

Ayuda

Un **gen** es una región del ADN que controla una característica hereditaria específica. Cada gen posee dos copias, una proveniente de la madre y otra del padre.

Explicaciones sobre la herencia: ¿por qué son parecidos progenitores y descendientes?

Por muchos años se buscó la respuesta a esta pregunta, tiempo durante el cual surgieron diversas teorías que pretendían explicar los mecanismos que permiten que ciertas características se hereden de una generación a otra. A continuación se presentan tres de las más importantes junto a quienes las apoyaron.

Pangénesis en la Grecia antigua

Esta idea propone que la herencia se debe a la mezcla de fluidos al momento de la fecundación. El semen masculino se mezcla con el fluido menstrual femenino. A partir de este material, se forman la carne y la sangre de los descendientes. Anaxágoras, Demócrito y Aristóteles son algunos representantes de las ideas pangenéticas.

Preformismo en el siglo XVII

Esta idea propone que en el interior de los espermatozoides está contenido un ser humano en miniatura, el "homúnculo", que luego de la fecundación va creciendo. Marcello Malpighi, padre de la histología, fue un defensor de este postulado.

► Representación de un homúnculo (pequeño hombrecillo).



Pangénesis en el siglo XIX

Esta idea propone que cada célula del cuerpo produce las "gémulas" o partículas hereditarias que viajan vía sanguínea a las gónadas. Luego de la fecundación, cada gémula da origen a los diferentes tejidos y órganos de un individuo. Charles Darwin fue un defensor de estas ideas.

Las ideas presentadas anteriormente no alcanzaron un desarrollo suficiente para dar prueba del mecanismo de heredabilidad en los seres vivos, y hacia el siglo XIX la teoría más ampliamente sostenida fue la de la **"herencia por mezcla"**, según la cual las características de la descendencia estarían dadas por la combinación entre los gametos, tal como si se mezclaran dos tintas de diferentes colores. Así, entonces, los descendientes de animales de pelaje blanco y pelaje negro resultarían grises, los que a su vez también tendrían descendencia gris, ya que una vez mezcladas sus características, sería imposible separarlas.

Si bien las ideas propuestas por más de dos mil años no fueron suficientes para determinar los mecanismos que hacen posible la herencia, trajeron consigo un avance importante en el manejo procedimental para la reproducción selectiva de individuos con características deseables (flores de un color especial, perros de un tamaño determinado, caballos de un color de pelaje definido, etc.).



▲ Algunas razas de perros son un ejemplo de reproducción selectiva de características que se desean conservar, como tamaño, conducta, pelaje, etc.

Caracteres heredados y adquiridos: no toda característica es heredable

Antes de comenzar a revisar los mecanismos que definen la herencia, es necesario destacar que no todas las características fenotípicas son heredables, ya que muchas de ellas, como el tipo de peinado, las cicatrices, la presencia de espinillas, entre otras, las hemos adquirido durante nuestra vida y no se transmiten a nuestros descendientes: son los llamados **caracteres adquiridos**. En cambio, los **caracteres heredados**, tema central de una disciplina biológica denominada **genética**, se transmiten de padres a hijos a través de los cromosomas. La expresión de la información contenida en los genes es influenciada por el ambiente, interacción desde la cual surge el fenotipo.

En la tabla se presentan algunos de los caracteres heredados más comunes:

Carácter		Algunos fenotipos posibles
Rostro	Forma de la cara.	
	Color de ojos.	
	Lóbulo de la oreja (unido o separado).	
	Ancho de frente.	
Pelo	Color	
	Grosor	
	Línea de nacimiento.	
	Textura	
Piel	Color	
	Vellosidad	
	Tipo (seca o grasa).	
Manos	Tamaño	
	Largo de dedos.	
	Presencia de vellos.	
	Lateralidad (uso de mano izquierda o derecha).	

No solo las características físicas de nuestro cuerpo corresponden a caracteres heredados. También hay características funcionales que se heredan, como el grupo de sangre. Ser del grupo O, A, B o AB dependerá de lo que nuestros padres nos transmitan a partir de la información genética aportada por los gametos que se unen en la fecundación.

Ejemplo de carácter heredado

La capacidad que tienen algunas personas para doblar la lengua en U corresponde a un carácter heredado.



Ejemplo de carácter adquirido

El desarrollo muscular que se produce al realizar ejercicios no es heredable. En ningún caso los descendientes de deportistas heredarán la musculatura desarrollada por sus progenitores.





Gregor Mendel
padre de la genética

- 1822 Nace en Heinzendorf, territorio perteneciente al Imperio austrohúngaro, hoy República Checa.
- 1843 Ingresa al monasterio agustino en Austria.
- 1847 Es ordenado sacerdote.
- 1851 Estudia matemáticas y ciencias naturales.
- 1856 Inicia sus trabajos de investigación a partir de cruzamientos con guisantes, que realiza en el jardín del monasterio.
- 1865 Presenta los resultados de sus trabajos a la Sociedad de Historia Natural de Brünn.
- 1884 Muere en la ciudad de Brünn.


Mendel y su trabajo de investigación

Mendel trabajó ocho años de su vida para lograr determinar los principios básicos de la herencia; sin embargo, los resultados que obtuvo pasaron completamente inadvertidos en su momento. Solo 35 años más tarde fueron reconocidos y comprendidos. Hoy es considerado **el padre de la genética**, ya que fue el primero en identificar uno de los tantos mecanismos de herencia que se dan entre progenitores y descendientes. También se destaca su ordenada y meticulosa forma de trabajo, que marcó la diferencia con la de otros científicos de su época. A continuación se analizan sus principales aciertos.

Elección del material

En sus experimentos, Mendel utilizó la planta de **arveja** o **guisante** (*Pisum sativum*). Para muchos esta elección fue fortuita, ya que a pesar de reunir las características adecuadas para este tipo de trabajo, eso no era completamente previsible antes de realizar los experimentos.

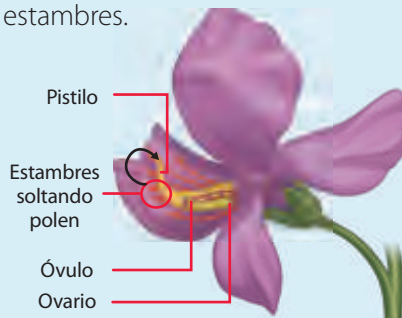
Esta planta presenta una gran cantidad de atributos fácilmente observables, características fenotípicas que Mendel denominó **caracteres**. Además, seleccionó las más contrastantes y reconocibles, con solo dos expresiones fenotípicas posibles, dejando de lado aquellas difíciles de diferenciar. Eligió siete:

Posible fenotipo		Carácter	Posible fenotipo	
Amarillo		Color de la semilla.	Verde	
Púrpura		Color de la flor.	Blanca	
Lisa		Forma de la semilla.	Rugosa	
Verde		Color de la vaina.	Amarilla	
Lisa		Aspecto de la vaina.	Rugosa	
Axial		Posición de la flor.	Terminal	
Largo		Largo del tallo.	Corto	

Mecanismos de cruce

Autopolinización

La flor de la arveja generalmente se **autofecunda**. Esto se debe a la presencia de órganos sexuales de ambos sexos y a que la flor se encuentra prácticamente cerrada, lo que impide la acción de la mayoría de los agentes polinizadores. Si se necesita que esta flor **no se autofecunde**, entonces se cortan los estambres.



- ▲ Estas plantas se reproducen sexualmente a partir de su flor, donde se encuentran el órgano reproductor masculino (estambre) y el órgano reproductor femenino (pistilo).

Polinización cruzada artificial

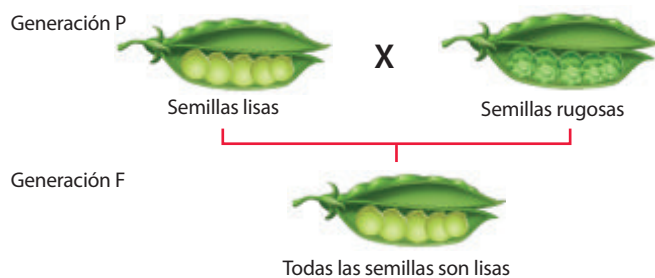
Se cortan los estambres para evitar la autofecundación y con un pincel se extrae el polen (gameto masculino) de otro estambre y se deja en el pistilo, que tiene los óvulos (gameto femenino) en su interior.



- ▲ Mendel contabilizó en los descendientes el número de plantas con rasgos diferentes y determinó la razón entre los fenotipos de un mismo rasgo. Para comprender mejor esta idea, lee la sección *Ayuda*.

Terminología

Las descripciones de los experimentos de Mendel alcanzaron gran claridad, dentro de lo que destaca la creación de una terminología o nomenclatura para representar los distintos cruzamientos. Tomaremos como ejemplo el cruce entre plantas con semillas lisas y plantas con semillas rugosas:



- **Generación P (parental, que significa “de los padres”)**
Corresponde a la generación progenitora, de la que se obtendrán los descendientes. Si se trata de los progenitores iniciales, se simboliza como P_1 ; si los descendientes pasan a ser padres, se simboliza como P_2 .
- **Generación F (filial, que significa “de los hijos”)**
Corresponde a la generación que aparece como producto del cruce de la generación **P**. A la primera generación se le denomina F_1 , a los descendientes del cruce entre las F_1 se les denomina F_2 , y así sucesivamente.

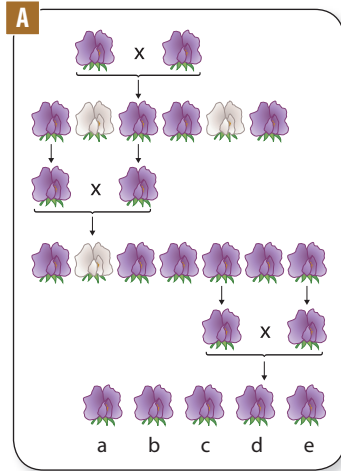
Ayuda

Una **razón** es la forma de comparar dos magnitudes mediante una división.

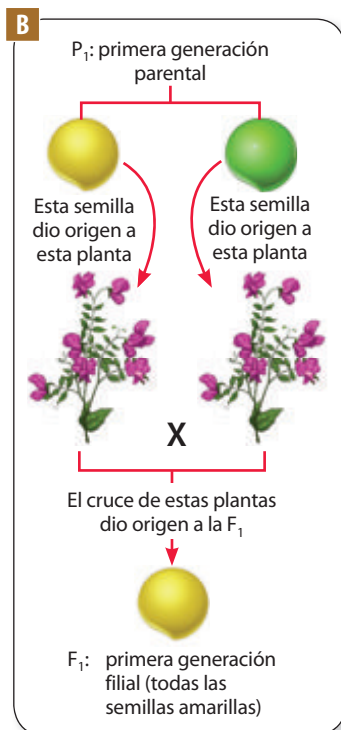
Cuando Mendel estudió el rasgo forma de la semilla y cruzó plantas de “semilla lisa” con plantas de “semilla rugosa”, todas las que obtuvo fueron semillas lisas. Luego, al cruzar las plantas provenientes de estas semillas (P_2) obtuvo 5 474 plantas con forma de semilla lisa y 1 850 plantas con forma de semilla rugosa.

¿Cómo se calcula su valor? Al resolver la división de ambos valores, se obtiene $2,95 \approx 3$. Por lo que, $5\,474 : 1\,850$ se puede considerar equivalente a $3 : 1$. Esto quiere decir que de cada 4 plantas, 3 dan semillas lisas y 1 da semillas rugosas.

El primer experimento de Mendel



▲ Procedimiento para la obtención de variedades puras. Mendel realizó el mismo procedimiento para cada uno de los caracteres seleccionados (ver cuadro de página 52).



▲ Resultado de un cruce monohíbrido para el carácter color de semilla.

Las flores del guisante pueden ser de color púrpura o blanco. El primer objetivo de Mendel fue obtener “variedades puras” de plantas con flores púrpura y de plantas con flores blancas. ¿Cómo se obtienen? En la figura **A** se esquematiza el procedimiento que se debe seguir para la obtención de variedades puras. En este caso, rotulado de la **a** a la **e** se representa el conjunto de flores púrpura obtenidas tras reiterados cruzamientos. Así, luego de varias generaciones, Mendel obtuvo una variedad pura para el carácter color de la flor.

Primera parte del experimento 1: cruzamiento de variedades puras

Esta primera experiencia se trató de un cruzamiento **monohíbrido**, es decir, cada planta de arveja parental correspondía a una línea pura para un **mismo carácter**, pero con un **rasgo diferente**. En el lenguaje de Mendel, el **carácter** correspondía a un atributo o característica de la planta; por ejemplo, el color de la semilla, y el **rasgo**, a las posibilidades de expresión de este carácter. En el caso de la semilla (carácter) estas podían ser de color amarillo o de color verde (rasgos posibles).

Mendel realizó fecundaciones cruzadas entre variedades puras, evitó la autofecundación cortando los estambres de las flores y obtuvo los descendientes. Así lo hizo con cada uno de los siete caracteres elegidos. En la figura **B**, se presenta el resultado de uno de los cruces monohíbridos, con el carácter de color de la semilla y sus correspondientes rasgos verde y amarillo.

Este resultado se repitió en todos los caracteres y se comprobó que la primera generación filial era uniforme, ya que se expresó solo uno de los dos rasgos, mientras que el otro “desaparecía”. Mendel hipotetizó que los individuos de esta generación eran “híbridos” genéticamente, porque debían haber heredado una “unidad de herencia” correspondiente a cada progenitor.

Denominó carácter **dominante** al que aparecía en los híbridos y **recesivos** a los que no aparecían. En este caso, ¿cuál resultó ser dominante para el color de la semilla?

En la tabla lateral de la página siguiente se presentan los rasgos que se expresaron como resultado de los cruces monohíbridos para los otros seis caracteres. ¿Cuáles fueron los caracteres dominante y recesivo en cada caso?

Actividad

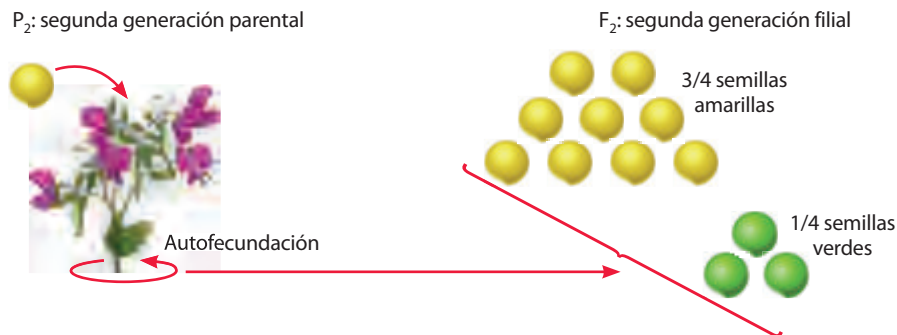
1. Respecto de la obtención de líneas puras y los esquemas de esta página, responde.

- Considerando la figura A, ¿qué harías para obtener una variedad pura para el color de semilla amarillo? **Explica.**
- Si las plantas utilizadas en la figura B son variedades o líneas puras para el color de la flor, ¿de qué color serán las flores de la descendencia que resulte al cruzarlas? **Explica.**

Segunda parte del experimento 1: autofecundación de los híbridos

A los híbridos descendientes de la F_1 Mendel les dejó los estambres; con ello permitió que se autofecundarán (ver página 53).

A continuación se presenta el resultado de la autofecundación de los descendientes híbridos para el carácter de color de la semilla (F_1). Se puede ver que no todos resultaron con semillas de color amarillo.



Mendel encontró que en la F_2 el carácter recesivo “reapareció”. En el caso del color de la semilla, se produjeron 6 022 plantas con semillas de color amarillo y 2 001 plantas con semillas de color verde; esto se puede representar con la razón 6 022 : 2 001.

Calculando el valor de esta, se tiene que: $\frac{6\ 022}{2\ 001} = 3,01 \approx 3$

Por lo tanto, 6 022 : 2 001 se puede considerar equivalente a 3 : 1. Esto significa que de cada 4 descendientes, 3 darán semillas de color amarillo y 1 dará semillas verdes. Lo anterior se mantiene para el resto de los caracteres.

Resultados de los cruces monohíbridos
F ₁ : 100% flor púrpura.
F ₁ : 100% semillas lisas.
F ₁ : 100% vaina verde.
F ₁ : 100% vaina lisa.
F ₁ : 100% flor axial.
F ₁ : 100% tallo largo.

Para profundizar

Cabe destacar en el experimento de Mendel el minucioso trabajo de contabilización de los descendientes.

En la F_2 , considerando los siete caracteres, obtuvo un total de **19 929** individuos.

Actividad

1. A continuación se presentan los resultados de la F_2 para los siete caracteres. **Calcula** el valor de la razón para cada rasgo. ¿Qué se puede **concluir** a partir de los resultados?

Caracteres	Resultados de la generación F ₂		Valor de la razón
Color de la semilla.	6 022 amarillas.	2 001 verdes.	3,01
Color de la flor.	705 púrpura.	224 blancas.	
Forma de la semilla.	5 474 lisas.	1 850 rugosas.	
Color de la vaina.	428 verdes.	152 amarillas.	
Aspecto de la vaina.	882 lisas.	299 rugosas.	
Posición de la flor.	651 axiales.	207 terminales.	
Largo del tallo.	757 de tallo largo.	277 de tallo corto.	

Teoría particulada, la explicación de Mendel

Ayuda

Lo que Mendel denominaba “unidad de herencia” es lo que hoy conocemos como **gen**. Las distintas alternativas posibles de cada gen se denominan **alelos**.

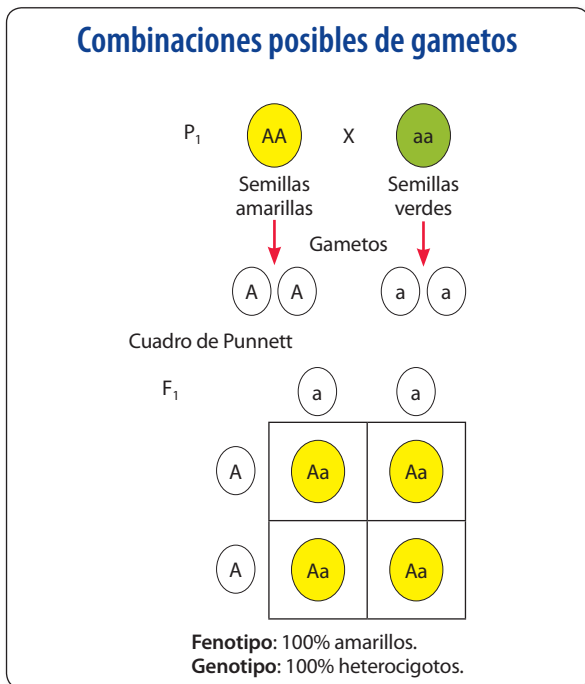
Por convención, la letra mayúscula se utiliza para representar el alelo dominante, y la minúscula, para el alelo recesivo. Comúnmente se emplea la letra de la inicial del rasgo.

Locus es el lugar o sitio físico de ubicación de cada gen dentro de los cromosomas.

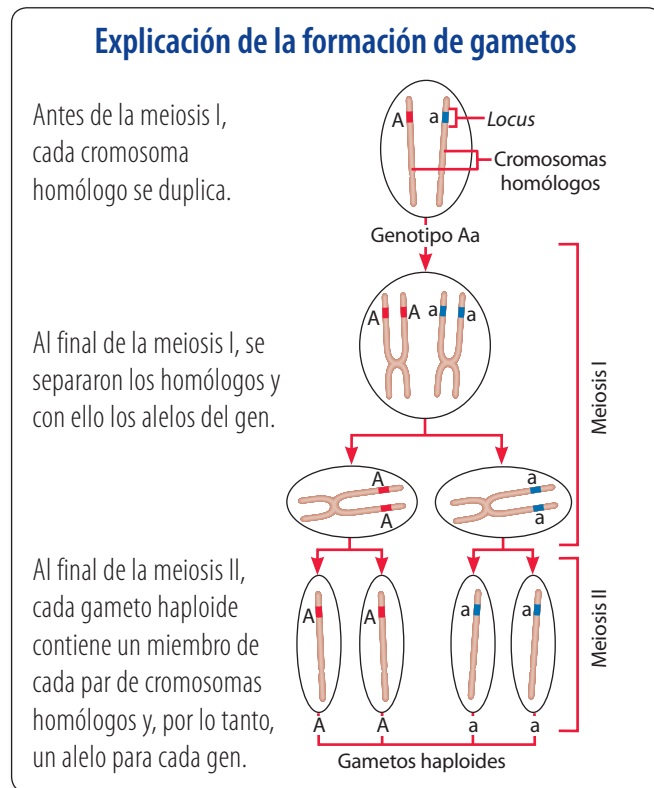
A partir de los resultados de los experimentos anteriormente revisados, Mendel propuso la existencia de “unidades responsables de la herencia de rasgos específicos”, conocidas actualmente como genes. Hoy se sabe que los genes se encuentran de a pares para cada carácter (uno en cada homólogo) y se separan o segregan durante la formación de los gametos (meiosis). De esta manera, solo una de las unidades apareadas para un carácter es transferida a un gameto. Es así como cada gameto contiene una unidad o gen y el cigoto contiene dos para cada carácter, ya que se forma a partir de la unión de los dos gametos.

La aplicación de esta teoría en la **primera parte** del **experimento 1** determina que el progenitor con semillas de color amarillo presenta un par de genes del mismo tipo, que se denomina **A (alelo dominante)**, configurando su genotipo como **AA (homocigoto dominante)**, y el progenitor con semillas verdes presenta dos genes **a (alelo recesivo)**, configurando su genotipo como **aa (homocigoto recesivo)**.

El progenitor **AA** produce gametos que contienen, cada uno, un solo alelo **A**, y el progenitor **aa** produce gametos con un único alelo **a**. Es así como los descendientes de **F₁** presentarán un alelo **A** de uno de los progenitores y un alelo **a** del otro, configurándose el genotipo **Aa** (heterocigoto), lo que da como resultado el fenotipo “semilla amarilla” debido a la dominancia del alelo **A** sobre el alelo **a**. A continuación se explica la forma de representar los genotipos y fenotipos posibles de este cruce:



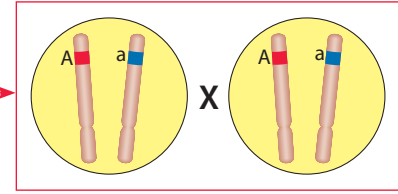
▲ El cuadro de Punnett considera todas las combinaciones posibles de gametos si se produce la fecundación.



▲ Alelos de un gen para la forma de semilla.

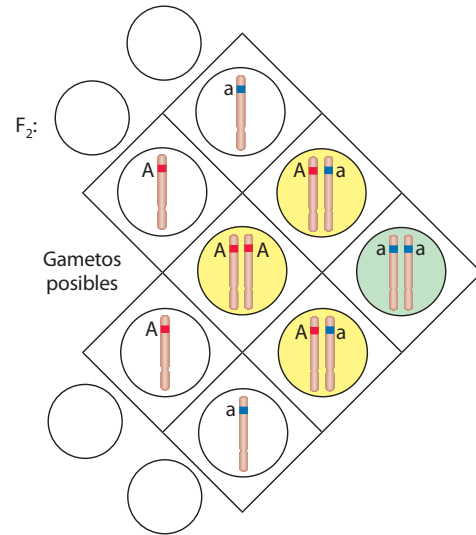
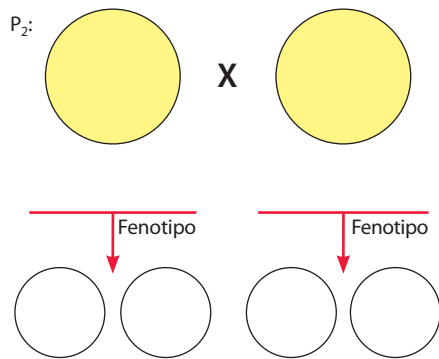
Aplicación de la teoría particulada de Mendel en la segunda parte del experimento 1

En la actividad se esquematiza la generación parental 2 (P_2) y la generación filial 2 (F_2). Hoy se sabe que los genes, o unidades de herencia para Mendel, corresponden a regiones del cromosoma; por lo tanto, se puede esquematizar de la siguiente forma.



Actividad

1. **Completa** los genotipos al interior de las semillas, los fenotipos en la línea y los gametos según corresponda en el cuadro de Punnett.



A continuación se detallan distintas formas de lectura de los resultados del cruce.

Genotipo: 1 homocigoto dominante, 2 heterocigotos y 1 homocigoto recesivo (**1 : 2 : 1**).
 ¼ homocigoto dominante, ½ heterocigoto y ¼ homocigoto recesivo.
 25% homocigoto dominante, 50% heterocigoto y 25% homocigoto recesivo.

Fenotipo: 3 plantas con semillas amarillas y 1 planta con semillas verdes (**3 : 1**).
 ¾ de plantas con semillas amarillas y ¼ con semillas verdes.
 75% de plantas con semillas amarillas y 25% con semillas verdes.

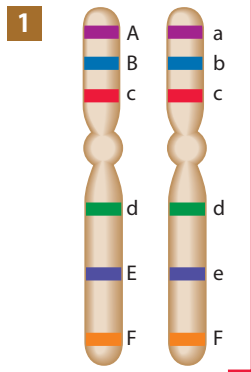
A partir de su primer experimento, Mendel encontró un principio que dirige la herencia, conocido como la **primera ley de la genética**.

Primera ley de Mendel

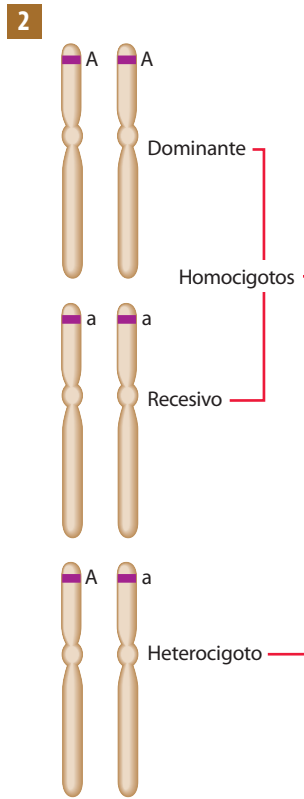
Esta ley, también conocida como ley de la segregación, dice que cuando un organismo produce gametos, los alelos se separan, de manera que cada gameto recibe solo un miembro del par de copias del gen. Se debe considerar que Mendel llegó a formular esta ley sin tener el conocimiento de la presencia de cromosomas ni del proceso de meiosis en la formación de gametos. Este raciocinio fue la manera de explicar por qué un rasgo recesivo desaparece en una primera generación cuando es cruzado con una línea pura del rasgo dominante y luego reaparece en la segunda generación cuando se reproducen los híbridos de la F_1 .

Ayuda

Una **ley** es una generalidad, mientras que puede haber varias **teorías** para explicar un mismo fenómeno. Teorías y leyes poseen una misma validez científica.



▲ Dos cromosomas homólogos. En ellos se indican seis parejas de genes, con alelos distintos o el mismo alelo para cada caso.



▲ Genotipos posibles para un determinado carácter: homocigoto dominante, homocigoto recesivo y heterocigoto.

Terminología genética

- **Genes**

Gen es una región del ADN que controla una característica hereditaria específica de un ser vivo. En los organismos diploides hay dos copias para cada gen, una por cada cromosoma homólogo, porque ambos tienen genes para los mismos caracteres. Una excepción se produce en algunas regiones de los cromosomas sexuales.

- **Genes alelos**

Son dos o más alternativas distintas de un gen. Los alelos ocupan la misma posición (*locus*) en los cromosomas homólogos y se separan uno del otro en la meiosis. Como un organismo diploide tiene dos copias de cada gen, en los cromosomas homólogos puede tener alelos distintos para un gen o repetirse el mismo alelo. Existen alelos dominantes y recesivos. Los dominantes se representan con letra mayúscula y los recesivos con letra minúscula.

- **Dominancia**

En algunos caracteres se da la herencia por dominancia, en la que el gen alelo dominante enmascara la expresión del alelo recesivo. Es decir, si para un gen se da la combinación de alelo dominante y recesivo, se expresa fenotípicamente el rasgo del dominante.

- **Genotipos**

Cada individuo diploide presenta dos copias del mismo gen para cada carácter; por lo tanto, pueden darse tres posibles genotipos: que ambas copias del gen sean iguales (**AA**) o (**aa**), a los que se les denomina **homocigotos**, los que a su vez pueden ser dominantes (**AA**) o recesivos (**aa**), o que las dos copias del gen tengan alelos diferentes, a los que se les denomina **heterocigotos** o **híbridos** (**Aa**).

- **Fenotipos**

Corresponde a la expresión del genotipo. En la herencia por dominancia, el carácter dominante se expresará cuando su genotipo sea homocigoto dominante (**AA**) o heterocigoto (**Aa**), y el carácter recesivo solo en su estado homocigoto recesivo (**aa**).

- **Monohibridismo**

Cruzamientos de dos individuos homocigotos de la misma especie que se diferencian en un solo rasgo (uno dominante y otro recesivo) para la obtención de heterocigotos (híbridos), en los que se analiza el rasgo en estudio.

Actividad

1. Observa la figura 1 e **identifica** si el individuo al que corresponde esta información será homocigoto o heterocigoto para cada uno de los caracteres.
2. Escribe los posibles genotipos y fenotipos de una planta para el carácter "forma de la semilla".
3. Si el gen que determina el color púrpura de las flores en las plantas de arvejas es P, **determina** el fenotipo de los siguientes genotipos: pp, Pp y PP. **Explica** en cada caso.

Ejercicios resueltos de genética

1. ¿De qué color serán las semillas de las plantas que resulten de la F_1 al cruzar una planta de semillas amarillas (heterocigota) con otra de semillas verdes?

P₁: Semillas amarillas Aa x Semillas verdes aa

Gametos: $A - a - a - a$

F₁:

	A	a	
a	Aa	aa	2 Aa y 2 aa (1 : 1)
a	Aa	aa	

50% amarillas y 50% verdes

El resultado se expresa en porcentaje (%).

Para determinar las posibilidades del cruce se utiliza el cuadro de Punnett, donde se ponen los gametos posibles de cada progenitor.

Razón mínima.

Las semillas amarillas de la F_1 son todas heterocigotas y las semillas verdes de la F_1 son todas homocigotas.

2. Si las plantas que Mendel obtuvo en la F_1 (heterocigotas) hubieran producido 400 plantas, ¿cuántas habrían sido homocigotas y cuántas heterocigotas?

F₂: 1 homocigota dominante (AA), 1 homocigota recesiva (aa) y 2 heterocigotas (Aa)

Razón mínima.

50% homocigotas.

50% heterocigotas.

El 50% de 400 es 200; por lo tanto, 200 plantas serían homocigotas y 200 serían heterocigotas.

3. Si la descendencia dio 112 plantas de arvejas altas y 48 plantas bajas, ¿cuál es el genotipo más probable de los progenitores?

En primer lugar, se debe pensar que para que resultaran descendientes "bajos" es primordial que el gen "a" (bajo) esté en los progenitores, es decir, de ser un progenitor alto, debería ser heterocigoto, ya que de otra manera sería

imposible que resulten plantas "bajas" en la descendencia. Los dos posibles cruces serían: $Aa \times Aa$ y $Aa \times aa$. El primero se acerca más al resultado, con una razón de 3 : 1.

Actividad

1. Lee el siguiente ejercicio y **explica** tus respuestas.

Los genes alelos "P" y "p" rigen el desarrollo de las plumas de las gallinas. PP determina gallinas con plumas muy rizadas y pp normalmente rizadas. Pp son gallinas con plumas medianamente rizadas. Cuando se cruza una gallina con plumas normales con un gallo con plumas muy rizadas, responde.

- ¿Qué razón de individuos de la F_1 tendrá las plumas normales?
- ¿Qué razón de individuos de la F_1 tendrá las plumas medianamente rizadas?
- ¿Qué razón de individuos de la F_2 tendrá las plumas medianamente rizadas?
- ¿Resulta algún individuo con las plumas muy rizadas en la F_2 ?

I. Marca la alternativa correcta.

- 1 ¿Cuál de las siguientes afirmaciones es propia de los caracteres heredables?
- A. Se adquieren durante la vida de un individuo.
 - B. Se transmiten de padres a hijos.
 - C. Están determinados exclusivamente por el ambiente.
 - D. Corresponden solo a características físicas.
 - E. Siempre se generan por la mezcla de información genética.
- 2 ¿Cómo se entiende, en este contexto, la definición del término carácter?
- A. Como las dos copias de un gen.
 - B. Como una de las copias del gen aportada por cada progenitor.
 - C. Como la característica fenotípica de un individuo.
 - D. Como el gen que determina una característica.
 - E. Como la capacidad de herencia que tiene una característica.
- 3 ¿Cuál es la principal diferencia entre los trabajos de Mendel y los realizados por otros científicos respecto a la herencia de los caracteres?
- A. El análisis matemático de los resultados.
 - B. El manejo de los cruces entre las plantas.
 - C. La elección al azar de los caracteres en estudio.
 - D. El trabajo con plantas de arveja.
 - E. El conocimiento acabado de la forma de reproducción de las plantas.
- 4 ¿Qué fenotipos de progenitores utilizó Mendel en su primer experimento al estudiar el color de la vaina de las plantas de arveja?
- A. Vaina amarilla x vaina amarilla.
 - B. Vaina verde x vaina verde.
 - C. Vaina púrpura x vaina blanca.
 - D. Vaina verde x vaina amarilla.
 - E. Vaina larga x vaina verde.
- 5 ¿Cuál de los siguientes resultados se origina del cruce de líneas puras respecto del color de la flor de las plantas de arveja, sabiendo que el color púrpura es dominante sobre el blanco?
- I. 100% de plantas con flores púrpura.
 - II. 75% de plantas con flores púrpura y 25% de plantas con flores blancas.
 - III. 100% de híbridos.
- A. Solo I.
 - B. Solo II.
 - C. Solo III.
 - D. I y II.
 - E. I y III.
- 6 Respecto del estudio de Mendel sobre el aspecto de las semillas en las plantas de arveja en que el carácter liso es dominante sobre el carácter rugoso, ¿cuál es el genotipo de P_2 ?
- A. LL x LL.
 - B. LL x Ll.
 - C. Ll x Ll.
 - D. Ll x LL.
 - E. ll x ll.
- 7 ¿A qué concepto actual corresponden las “unidades de herencia de rasgos específicos” a las que se refería Mendel?
- A. Gametos.
 - B. Gen.
 - C. ADN.
 - D. Cigoto.
 - E. Diploide.
- 8 Considerando los progenitores que Mendel tomó del cruce entre “líneas puras”, ¿qué pareja de genotipos representa a los padres?
- A. AA, aa.
 - B. Aa, aa.
 - C. Aa, Aa.
 - D. aa, aa.
 - E. aa, Aa.

9 ¿Cuáles son los genotipos de los progenitores si como resultado de un cruce de dos plantas de arveja se obtiene el 50% de plantas con flores blancas y el 50% con flores púrpura?

- A. Pp x pp.
- B. pp x pp.
- C. PP x Pp.
- D. PP x PP.
- E. Pp x Pp.

10 ¿Qué idea(s) es(son) deducible(s) a partir de la primera ley de Mendel?

- I. Las copias de un gen se separan en la formación de gametos.
- II. La meiosis es fundamental para la separación de los cromosomas homólogos.
- III. Es posible que un carácter no encontrado en una generación pueda aparecer en la siguiente.

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

11 A partir de un cruzamiento se obtienen cuatro individuos, los que presentan un fenotipo recesivo. Acerca del genotipo de los padres, ¿qué se puede asegurar?

- A. Que ambos son recesivos.
- B. Que al menos uno es recesivo.
- C. Que ninguno es recesivo.
- D. Que solo uno de ellos tiene alelos recesivos.
- E. Que ambos padres tienen al menos un alelo recesivo.

II. Responde las siguientes preguntas.

1 Al cruzar una planta con flores en posición "axial" con otra de flores en posición "terminal", Mendel obtuvo una F_1 de plantas con flores en posición "axial". La F_2 , en tanto, estaba formada por plantas con flores en posición "axial" y otras en posición "terminal" en una razón de 3 : 1.

- a. Simboliza las dos alternativas del gen que controla el carácter "posición de la flor".
- b. ¿Cuál de los alelos es el dominante? Explica.
- c. Representa mediante un esquema los cruzamientos descritos y define el genotipo y el fenotipo de cada uno de los individuos.

2 En un cruce entre un cobayo (roedor) de pelaje negro y uno de pelaje blanco, todos los individuos de la F_1 resultaron negros. La F_2 , en tanto, estaba formada por $\frac{3}{4}$ partes de cobayos negros y $\frac{1}{4}$ de cobayos blancos, aproximadamente.

- a. Haz un esquema de los cruzamientos descritos e indica el genotipo y el fenotipo de cada individuo.
- b. Explica la primera ley de Mendel a la luz de los resultados de este cruce.
- c. Si se cruzan dos cobayos blancos de la F_2 , ¿a quién se parecerán los descendientes?

Yo me evalúo

Marca con un los aprendizajes logrados hasta ahora y evalúa tu desempeño.

- Reconocí los tipos de caracteres y sus particularidades.
- Pude comprender en qué consistió el primer experimento de Mendel y su respectivo análisis.
- Pude resolver ejercicios de monohibridismo.

El segundo experimento de Mendel

A continuación se presenta el desarrollo de una investigación científica a partir del seguimiento del experimento 2 de Mendel: cruzamientos dihíbridos.

Marco conceptual

En el experimento 1, Mendel había concluido que en la formación de gametos de los organismos sexuales, las unidades hereditarias (conocidas hoy como genes) se separan y se incorporan independientemente en cada gameto que se forma. Sin embargo, el procedimiento experimental había considerado el comportamiento hereditario de un solo carácter, hecho que en la realidad no se da, ya que las plantas de arvejas que se cruzan poseen variadas características, las que se heredan en forma simultánea.

Planteamiento del problema

Mendel fue más allá de las conclusiones del experimento 1 y se preguntó acerca de la herencia considerando más de dos caracteres. Al respecto reflexionó:

- ¿Qué sucederá al cruzar dos progenitores que difieren en dos o más caracteres?
- ¿Cómo se comportarán los genes para más de dos caracteres en la formación de los gametos? ¿Los genes de origen materno quedarán en un gameto y los de origen paterno en otro?

Considerando un organismo heterocigoto para dos caracteres, **Aa** y **Bb**, en el cual los alelos **A** y **B** provinieran de la madre y los alelos **a** y **b** del padre, se preguntó qué sucedería cuando este organismo formara sus gametos. ¿Los alelos **A** y **B** segregarían hacia un gameto y los alelos **a** y **b** segregarían hacia otro? En definitiva, Mendel se enfrentó al siguiente problema:

¿Cómo se comportarán los genes de distintas características durante la formación de los gametos?

Formulación de hipótesis

Mendel manifestó que si existía segregación independiente entre una copia del gen y la otra, entonces la F_2 presentaría los fenotipos posibles de la combinación de cada una de las características. En este caso, semillas amarillas–lisas, semillas verdes–lisas, semillas amarillas–rugosas y semillas verdes–rugosas.

Procedimiento experimental

Mendel realizó un gran número de experimentos, en los que siempre se daba que las plantas de arvejas que cruzaba diferían en dos caracteres y eran líneas puras para ambos.



Utiliza la información sugerida en la siguiente página web y diseña las etapas necesarias para resolver las actividades que allí se presentan. Luego escribe un informe siguiendo la pauta de investigación que se encuentra en la página 223 de tu Texto.

<http://bios0910.blogspot.com/2009/11/practica-leyes-de-mendel.html>

Recuerda que el contenido de las páginas webs puede cambiar.

Al igual que en el experimento 1, las plantas híbridas fueron obtenidas de la cruce entre líneas puras para los caracteres estudiados. Por ejemplo:



Luego, cruzó a los organismos híbridos resultantes de la cruce anterior. Es decir, mantuvo la misma idea del **experimento 1**, pero ahora considerando dos caracteres, lo que se conoce como **dihibridismo**.

P_2 : Plantas con semillas amarillas-lisas (dihíbridas) \times Plantas con semillas amarillas-lisas (dihíbridas) $\rightarrow F_2$: ¿?

Obtención de resultados

La F_2 entregó los cuatro fenotipos que se presentan en la tabla. Explica los resultados obtenidos empleando un cuadro de Punnett.

Razones	Fenotipo de las semillas
9 : 16	Amarillas y lisas.
3 : 16	Verdes y lisas.
3 : 16	Amarillas y rugosas.
1 : 16	Verdes y rugosas.

Interpretación de resultados

Mendel contrastó los resultados con la hipótesis formulada inicialmente y evidenció que estaban en concordancia. Dentro de la hipótesis que había planteado, se explicaba por qué si en la formación de gametos los alelos se separaban independientemente se podían formar plantas con los cuatro fenotipos posibles. ¿Recuerdas por qué? Porque por cada progenitor heterocigoto para cada carácter se producirían cuatro tipos de gametos en números iguales (AB, Ab, aB y ab) y la combinación aleatoria (al azar) en la fecundación daría la posibilidad de los cuatro fenotipos.

Elaboración de conclusiones

Recuerda que siempre en la conclusión de una investigación científica se debe aceptar o rechazar la hipótesis propuesta. En este caso, a partir de la interpretación de los resultados, se puede concluir que la hipótesis formulada por Mendel era correcta, ya que las copias de genes diferentes se distribuyen independientemente durante la formación de gametos.

Ten presente que en esta revisión experimental utilizamos el concepto de copias de genes, aunque Mendel no utilizó ese término, sino unidades hereditarias para referirse a lo mismo.

La conclusión del experimento 2 de Mendel derivó en el surgimiento de la **segunda ley de la herencia o ley de la distribución independiente**. Esta ley, a diferencia de la primera, no se cumple en todos los casos, ya que solo se aplica a los genes que se ubican en cromosomas distintos. De encontrarse los genes en el mismo cromosoma, se segregarán juntos (ver sección *Para profundizar*).

Para profundizar

Mendel formuló una hipótesis que resultó ser correcta, pero además de esta, había propuesto una hipótesis alternativa, con la cual le daba otra respuesta al mismo problema:

“Si los alelos mantienen las asociaciones que tenían en los progenitores, entonces las plantas generadas en la F_2 presentarán dos fenotipos: semillas amarillas-lisas y semillas verdes-rugosas en una razón de 3 : 1”.

Los resultados que obtuvo Mendel se dieron gracias a que los genes con los que trabajó estaban todos en cromosomas distintos.

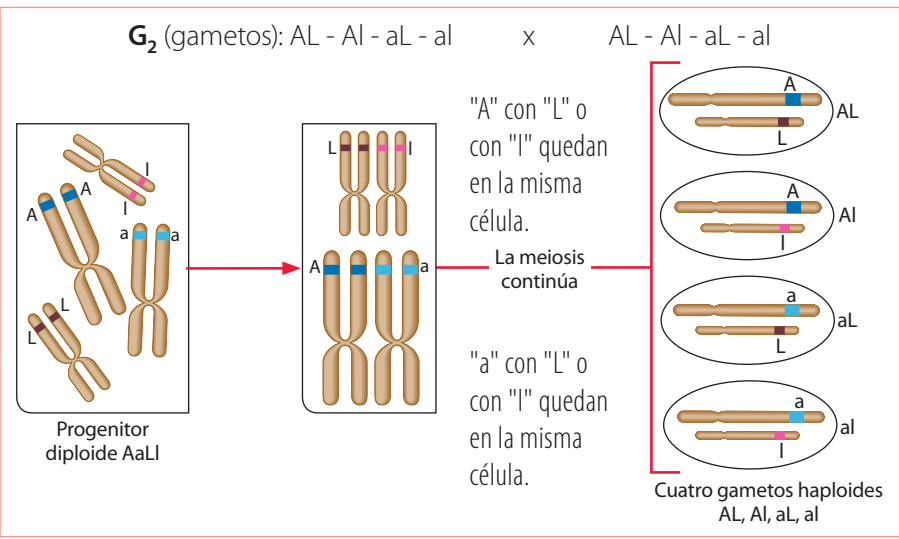
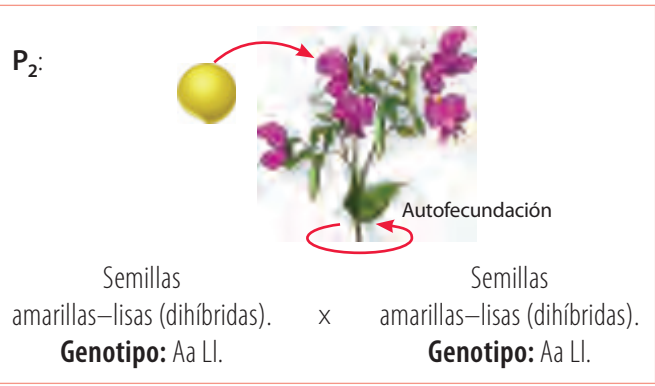
Explicación del experimento 2 de Mendel

Segunda ley de Mendel

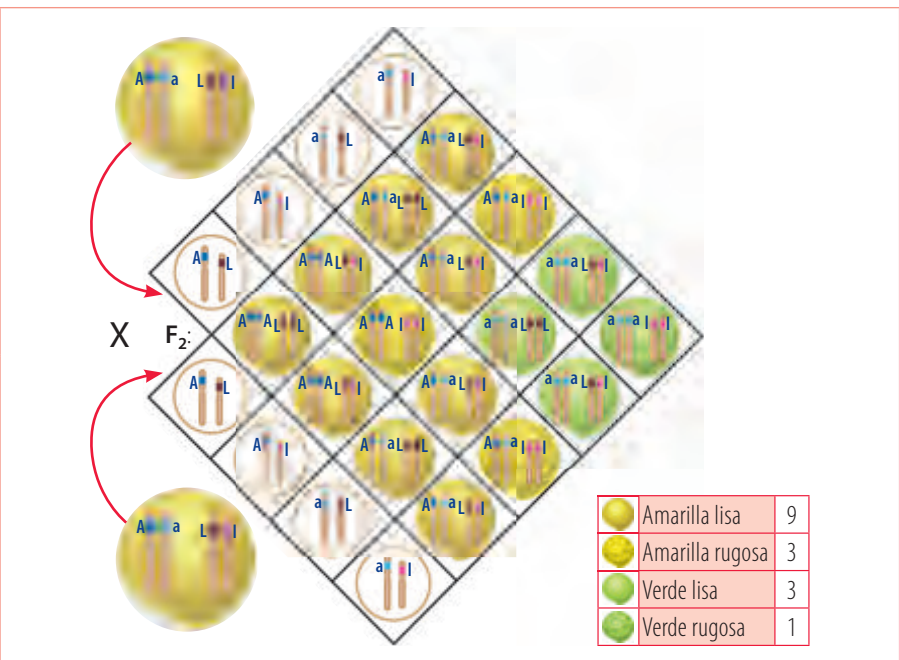
Esta ley, también conocida como ley de la distribución independiente, dice que en una cruce dihíbrida, los alelos (dominante y recesivo) de genes diferentes se distribuyen en forma independiente uno del otro durante la formación de gametos. Por esta razón, aparecen todas las combinaciones posibles para esos caracteres.

La división meiótica, en metafase I, explica la distribución independiente de los alelos cuando se encuentran en cromosomas distintos.

El genotipo de los dihíbridos se representa en la forma de heterocigotos para ambos caracteres.



Utilizando el cuadro de Punnett e incluyendo los cuatro gametos por cada uno de los progenitores se obtienen las posibles combinaciones. Se trata de 16 combinaciones en los genotipos y cuatro fenotipos distintos en la razón 9 : 3 : 3 : 1.



Ejercicios resueltos de dihibridismo

A continuación se presentan dos ejercicios modelo para comprender los cruzamientos dihíbridos.

- Si en la F_2 , producto del cruce de dihíbridos, se han contado 180 semillas amarillas–lisas, ¿aproximadamente cuántas esperas encontrar que sean amarillas–rugosas?, ¿y cuántas verdes–rugosas?

Sabemos que cuando se cruzan dihíbridos, la descendencia resultará en una razón de 9 : 3 : 3 : 1, donde 9 de 16 corresponderán al fenotipo con ambos rasgos dominantes; en este caso, semillas amarillas–lisas. Si 180 plantas corresponden a 9/16, entonces se debería calcular a cuántas plantas corresponderían las proporciones de semillas amarillas–rugosas (3/16) y de semillas verdes–rugosas (1/16).

Para semillas amarillas–rugosas:

$$\frac{180 \text{ plantas}}{9} = \frac{X}{3}$$

$$X = \frac{180 \text{ plantas} \times 3}{9} \quad X = 60 \text{ plantas}$$

Para semillas verdes–rugosas:

$$\frac{180 \text{ plantas}}{9} = \frac{X}{1}$$

$$X = \frac{180 \text{ plantas} \times 1}{9} \quad X = 20 \text{ plantas}$$

- Se cruza una planta de arvejas de flores púrpura (línea pura)–larga (heterocigota) con otra planta heterocigota para los mismos caracteres. Determina la proporción fenotípica de la descendencia.

En primer lugar, hay que escribir el genotipo de los progenitores:

P: PP LI x Pp LI

Luego, obtener los posibles gametos por cada progenitor:

G: PL - PI - pL - pl x PL - PI - pL - pl

Para obtener los descendientes (F), se ponen los posibles gametos en un cuadro de Punnett y se hacen los cruces.

Gametos	PL	PI	pL	pl
PL	PP LL	PP LI	Pp LL	Pp LI
PI	PP LI	PP II	Pp LI	Pp II
pL	Pp LL	Pp LI	pp LL	pp LI
pl	Pp LI	Pp II	pp LI	pp II

Flores púrpura - larga	12
Flores púrpura - corta	4

Finalmente, se cuenta la cantidad de individuos con igual fenotipo. La razón es de 12 : 4, que se puede considerar equivalente a 3 : 1, lo que significa que por cada 3 plantas con flores púrpura–larga, existe 1 planta con flores púrpura–corta.

Actividad

- Ahora **resuelve** los siguientes ejercicios.

a. Construye un cuadro de Punnett para establecer la descendencia que se puede obtener de un cruce entre una mosca del vinagre de ojos rojos heterocigota–alas vestigiales (muy reducidas) y otra de ojos sepia–alas normales heterocigota. Sabiendo que en la mosca del vinagre los ojos rojos (R) y las alas normales (N) son caracteres dominantes, determina el fenotipo de los descendientes y la razón en que aparecen.

b. Se cruzaron plantas de arvejas, teniendo ambos progenitores flores de color púrpura y semillas de color amarillo. Los resultados del cruce fueron: 120 plantas con flores púrpura–semillas amarillas y 40 plantas con flores púrpura–semillas verdes. Según esto, ¿cuál es el genotipo de los progenitores respecto del color de la semilla? Explica.

Etapas experimentales

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

¿Qué es una hipótesis?

Es una afirmación anticipada que da respuesta a la pregunta que se plantea en el problema de investigación. En ella se relacionan las mismas variables presentes en el problema y que se pondrán a prueba en el desarrollo experimental. Recuerda que en las conclusiones debes enfrentar la hipótesis formulada con la interpretación de los resultados obtenidos.

Pasos para formular una hipótesis

- Paso 1:** identificar el problema de investigación que se desea resolver.
- Paso 2:** identificar las variables involucradas y hacer una suposición.
- Paso 3:** relacionar las variables en una respuesta al problema de investigación y formular la hipótesis a partir de una predicción.

Planteamiento del problema

Antecedentes para su planteamiento:

Un grupo de estudiantes se propuso replicar los experimentos de Mendel. Para ello, sabían que necesitaban obtener líneas puras de las plantas que presentaban las características dominantes; sin embargo, no contaban con el tiempo suficiente para realizar los cruzamientos necesarios para la obtención segura de estas. Buscaron entonces una forma rápida para determinar líneas puras, es decir, que tuvieran los rasgos dominantes para los caracteres en estudio.

Su profesor les explicó que cuando un individuo presenta el fenotipo dominante tiene dos posibles genotipos: homocigoto o heterocigoto, y que es necesario para el primer cruce de Mendel contar con el genotipo homocigoto. Teniendo eso claro, los estudiantes aplicaron esta idea a los caracteres que iban a trabajar y escribieron en el pizarrón lo que ya sabían de los experimentos de Mendel.

*"En plantas de arveja que presentan flores de color púrpura y en posición axial, el primer carácter (color) está determinado por un gen cuyo alelo dominante **P** (color púrpura) presenta dominancia completa frente al alelo recesivo **p** (color blanco). En tanto, el segundo carácter (posición de la flor) está determinado por el alelo dominante **A** (posición axial), que presenta dominancia completa frente al alelo recesivo **a** (posición terminal)".*

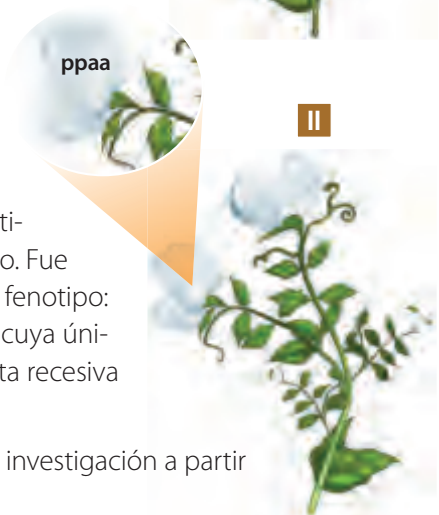
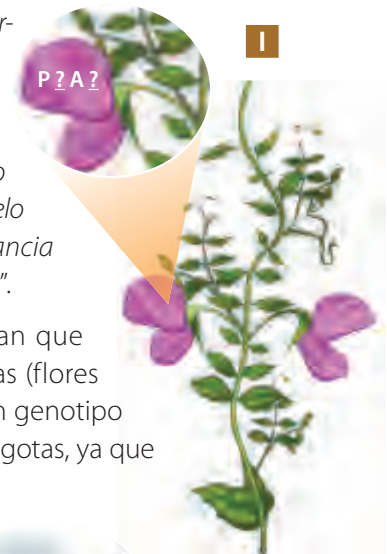
Considerando lo anterior, los estudiantes sabían que las plantas de arveja con estas dos características (flores color púrpura y en posición axial) presentarían un genotipo desconocido. No podían asumir que eran homocigotas, ya que también podían ser heterocigotas (figura I).

¿Cómo resolver el misterio?

Sin la posibilidad de realizar exámenes genéticos para determinar el genotipo de estas plantas, los estudiantes idearon un método experimental. Pensaron en realizar un cruce con una planta que tuviera un genotipo conocido y que generara un fenotipo único. Fue así como llegaron a la planta con el siguiente fenotipo: flores de color blanco y en posición terminal, cuya única posibilidad de genotipo era ser homocigota recesiva para ambos caracteres (figura II).

Los estudiantes se apuraron a desarrollar su investigación a partir del siguiente problema:

¿Puede el cruce con un individuo de fenotipo recesivo determinar el genotipo desconocido de un individuo que presenta el fenotipo dominante?



Formulación de hipótesis

Antecedentes para su formulación:

Luego de identificar el problema de investigación que deseaban resolver (**primer paso**), fue necesario que realizaran una suposición basada en lo que conocían de las variables que querían analizar (**segundo paso**).

¿Qué conocían de las variables?

Respecto del genotipo desconocido, había dos posibilidades para cada uno de los caracteres (ver 1). Ahora bien, como se trata de una cruce para dos caracteres, tenían distintas posibilidades (ver 2).

A partir del análisis de los posibles cruzamientos, pudieron aproximar la obtención de distintos resultados según las combinaciones que dan ciertos cruces. Por ejemplo:

Si cruzaban una planta que tiene un fenotipo recesivo para ambos caracteres con una planta con un fenotipo dominante para ambos caracteres, siendo las dos plantas líneas puras, entonces en la generación siguiente no podría aparecer ningún individuo con las características recesivas. ¿Por qué?

P₁: PP AA x pp aa

G₁: PA x pa

F₁: 100% Pp Aa, es decir, el total de plantas con flores color púrpura y en posición axial.

- ¿Qué sería lo más probable de encontrar en la generación siguiente si las plantas de flores color púrpura y posición axial fueran heterocigotas para ambos caracteres?
- Conociendo los antecedentes de las variables, ahora formula una hipótesis a partir de una predicción (**tercer paso**) que dé respuesta al problema de investigación propuesto por los estudiantes.

Obtención e interpretación de resultados

Si los resultados fuesen los siguientes:

F₁: 31 plantas con flores color púrpura–posición axial y 29 plantas con flores color blanco–posición axial.

- ¿Cómo completarías el genotipo desconocido?
P₁: P__ A__ x pp aa
- ¿Cuál es la conclusión? Enfrenta tu hipótesis con los resultados anteriores.
- ¿Qué otros resultados podrían esperarse?
- Elabora en tu cuaderno una tabla con los resultados probables, la determinación del genotipo desconocido en cada caso y la respectiva explicación.

Carácter	Fenotipo	Genotipos posibles
Color de las flores.	Púrpura	PP o Pp
Posición de las flores.	Axial	AA o Aa

Carácter	Fenotipo	Genotipos posibles
Color y posición de las flores.	Color púrpura y posición axial.	PP AA Pp AA PP Aa Pp Aa

Para profundizar

Este tipo de cruzamiento, cuyo objetivo es determinar el genotipo desconocido de un organismo, se conoce como **cruzamiento de prueba** o **retrocruce**. Se utiliza sobre todo para definir si un organismo es “puro” o “híbrido” para uno o más caracteres.

Herencia ligada al sexo

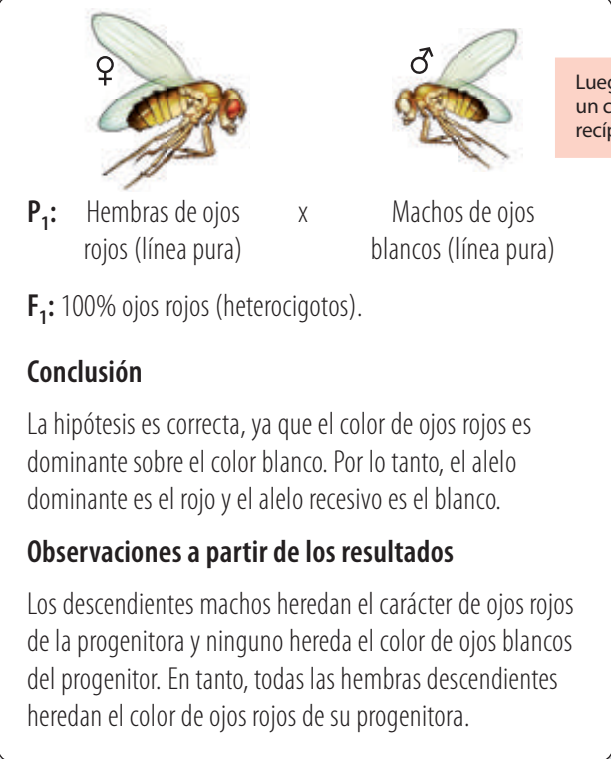
Para profundizar

La mosca *Drosophila melanogaster* es el organismo más utilizado en experimentación genética debido a su número reducido de cromosomas (4 pares) y a la presencia de genes implicados en enfermedades humanas.

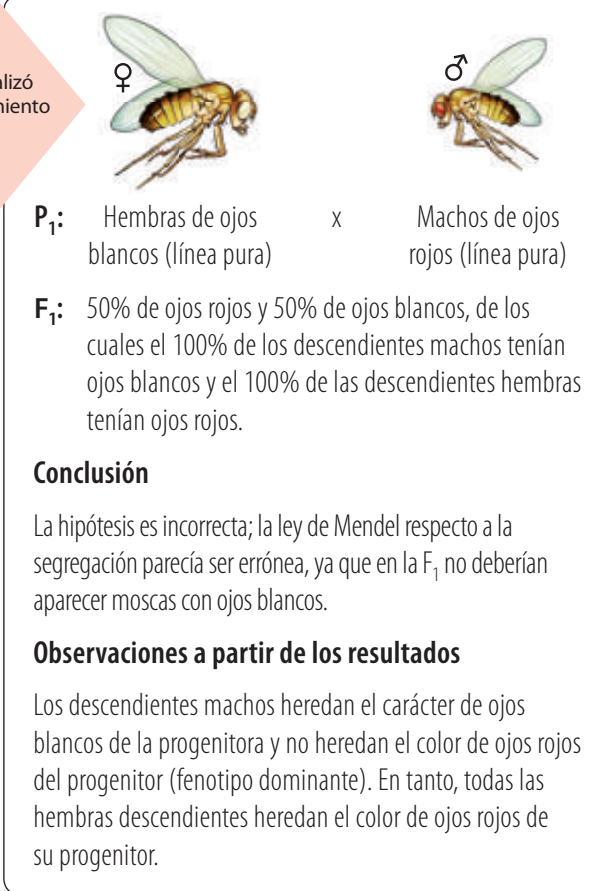
Los trabajos de Morgan que pusieron en duda las leyes mendelianas

En 1900, la teoría de la herencia de Mendel había sido redescubierta y el genetista estadounidense **Thomas H. Morgan** estaba muy interesado en aplicar las respectivas leyes en animales, basando su trabajo en la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*.

El color de los ojos del tipo silvestre de *Drosophila* es rojo, pero Morgan descubrió un mutante de ojos blancos. Ante la aparición de este fenotipo tan distinto, repitió el experimento 1 de Mendel y estudió los resultados. ¿Cómo lo hizo?



Luego, realizó un cruzamiento recíproco



Ayuda

Recuerda que en el experimento 1 de Mendel se cruzaron progenitores de líneas puras para cada posible fenotipo de un carácter, de cuya descendencia el 100% resultó con el rasgo dominante.

Actividad

1. Respecto del experimento que Morgan hizo en las moscas, **plantea** el problema de investigación y la hipótesis según la primera ley de Mendel.
2. ¿Qué resultados tendría que haber obtenido en el cruzamiento recíproco para que la hipótesis fuera válida? **Explica**.

La explicación de Morgan

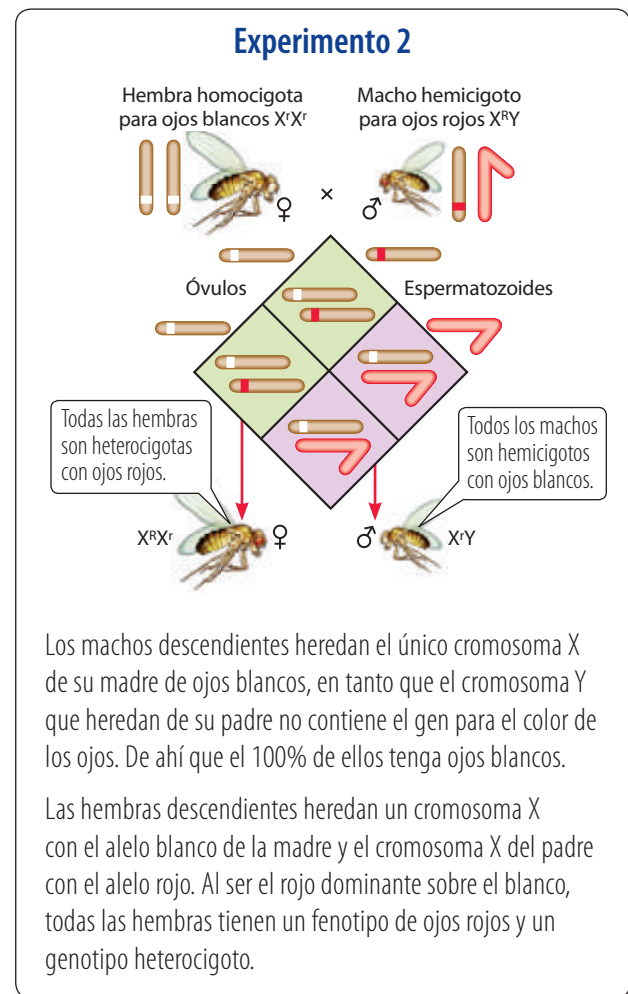
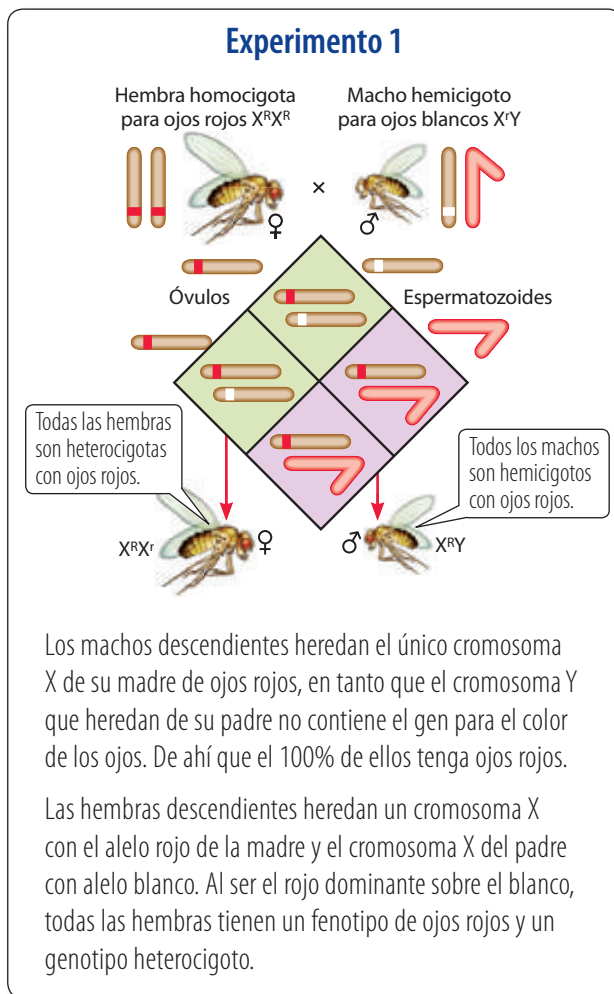
Tras sus resultados experimentales, Morgan propuso la hipótesis de que en *Drosophila* el gen del color de los ojos estaba ubicado en los cromosomas sexuales, exclusivamente en el cromosoma X. Considerando que el color de ojos rojos es el dominante (R) y el color blanco el recesivo (r), los genotipos y fenotipos posibles serían:

Homocigoto dominante	Heterocigoto	Homocigoto recesivo	Hemicigoto	Hemicigoto
$X^R X^R$	$X^R X^r$	$X^r X^r$	$X^R Y$	$X^r Y$
Hembras de ojos rojos		Hembras de ojos blancos	Machos de ojos rojos	Machos de ojos blancos

Ayuda

Cuando un gen está asociado al cromosoma X, en los machos se habla de hemicigoto, ya que posee un solo alelo.

En tanto, las hembras heterocigotas se denominan "portadoras", porque si bien tienen el fenotipo dominante, portan el gen recesivo.



En síntesis, podemos decir que la **herencia ligada al sexo** tiene relación con aquellos genes que se encuentran en los cromosomas sexuales, por lo que estos presentan mecanismos de herencia distintos a los ubicados en los cromosomas autosómicos y descritos en la primera ley de Mendel. Como el cromosoma Y tiene menos genes que el cromosoma X, es más probable que la herencia ligada al sexo se relacione con este último.

Para profundizar

El mecanismo descubierto por Mendel corresponde al de **dominancia completa**, en que un alelo domina sobre otro (dominante sobre recesivo). Esto se evidencia en el genotipo heterocigoto, donde se expresa como fenotipo el rasgo dominante del carácter.

Ayuda

Para la **F₁**, según Mendel, se esperaba:

100% de flores rojas o 100% de flores blancas, dependiendo del alelo dominante.

A pesar de que el resultado fue distinto a lo esperado, se realizó el cruce entre los híbridos para ver si aparecían las proporciones de Mendel en la **F₂**, del cual se obtuvo:

25% rojas, 50% rosadas y 25% blancas.

A pesar de los resultados, este tipo de herencia se explica a partir de la primera ley de Mendel, pero se debe considerar que no hay dominancia entre los genes.

Herencia sin dominancia completa

Dentro de las variaciones observadas en los patrones de herencia con respecto a las proporciones mendelianas, como la herencia ligada al sexo revisada anteriormente, se encuentran algunas que en el pasado eran clasificadas en su conjunto como herencia intermedia. En estos casos lo que se observa es que los heterocigotos presentan un tercer fenotipo. Sin embargo, nuevos avances en el entendimiento de los patrones de herencia han permitido distinguir entre ellas.


Dominancia incompleta

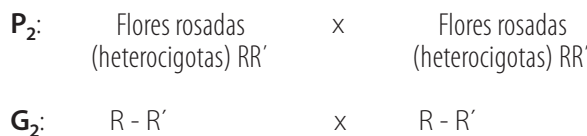
Este caso ocurre cuando un alelo es responsable de la síntesis de un producto (proteína o enzima) funcional y el otro alelo de un producto no funcional. En este caso, los heterocigotos cuentan con una cantidad intermedia del producto alélico funcional y, por lo tanto, su fenotipo es intermedio entre los que presentan los homocigotos de ambos alelos. Ejemplo: color de las flores de la planta llamada "dondiego de la noche" o jazmín de México (*Mirabilis jalapa*).

Alelos: R (flores rojas) y R' (flores blancas)



Gametos	R'	R'
R	RR'	RR'
R	RR'	RR'

 **F₁:** 100% flores rosadas.
G₁: 100% RR' (heterocigotas).



Gametos	R	R'
R	RR	RR'
R'	RR'	R'R'

F₂: 25% rojas, 50% rosadas, 25% blancas. Razón (1 : 2 : 1).
G₂: 50% homocigotas y 50% heterocigotas.

Actividad

1. Aplicando lo anterior, responde las siguientes preguntas.

- ¿De qué color serán las flores resultantes del cruzamiento de flores rojas con flores rosadas?
- Respecto a la **F₂**, ¿en qué se diferencia la herencia del color de estas flores con la de las arvejas?

Codominancia o dominancia compartida

Este caso ocurre cuando ambos alelos son responsables de la síntesis de un producto funcional diferente. En este caso, los heterocigotos presentan los dos productos alélicos funcionales y, por lo tanto, su fenotipo muestra una mezcla de los caracteres de ambos alelos. Lo importante es que, tanto en la dominancia intermedia como en la codominancia o dominancia compartida, se obtiene un tercer fenotipo intermedio entre los otros dos (expresión de homocigosis); y por esto, en general a estos casos se les ha llamado también herencia intermedia. Veamos un ejemplo a partir del color del pelaje de los caballos.

Alelos: C^C (pelaje café rojizo) y C^B (pelaje blanco). En este caso, la C representa la letra inicial del carácter (color del pelaje) y las letras de los superíndices representan el color de cada rasgo (ejemplo, café rojizo y blanco).

P₁: Pelaje café rojizo (línea pura) $C^C C^C$ x Pelaje blanco (línea pura) $C^B C^B$

G₁: $C^C - C^C$ x $C^B - C^B$

F₁: En este caso se produce un fenotipo con pelaje roano, ya que la descendencia tiene pelos de color rojizo y otros blancos (aspecto manchado).

Gametos	C^B	C^B
C^C	$C^C C^B$	$C^C C^B$
C^C	$C^C C^B$	$C^C C^B$

F: 100% de los caballos con pelaje roano o manchados.

G: 100% $C^C C^B$ (heterocigotos).

P₂: Pelaje roano (heterocigoto) $C^C C^B$ x Pelaje roano (heterocigoto) $C^C C^B$

G₂: $C^C - C^B$ x $C^C - C^B$

F₂:

Gametos	C^C	C^B
C^C	$C^C C^C$	$C^C C^B$
C^B	$C^C C^B$	$C^B C^B$

Fenotipo: 25% rojizos, 50% roanos y 25% blancos. Razón (1 : 2 : 1).

Genotipo: 50% homocigotos y 50% heterocigotos.

Alelos múltiples

Este tipo de herencia se da cuando un mismo gen presenta tres o más alelos como posibilidad de ocupar el lugar del gen en los cromosomas (*locus*). Hasta el momento solo habíamos revisado genes que tenían dos alelos posibles. La herencia en el pelaje de los conejos, por ejemplo, está regida por un gen que presenta cuatro alternativas de alelos: C^+ , c^{ch} , c^h y c^a . Estas series alélicas presentan una gradación respecto a su dominancia: $C^+ > c^{ch} > c^h > c^a$, con lo que se conforman las relaciones entre genotipos y fenotipos posibles que se presentan en la tabla.

Actividad

1. **Aplicando** lo estudiado, realiza los siguientes cruces.

- Determina la razón fenotípica resultante de un cruce entre un caballo macho color rojizo y una hembra de pelaje manchado. Recuerda que presentan codominancia para este carácter.
- En el caso del pelaje de los conejos, ¿existe alguna probabilidad de generar descendientes albinos si se realizan cruces entre fenotipos agutí, chinchilla e himalaya? **Explica.**



▲ Ejemplar de caballo con pelaje roano.

Para profundizar

En el caso de los grupos sanguíneos humanos (sistema ABO), existe codominancia para el grupo AB, es decir, entre los alelos que determinan la presencia del antígeno A (I^A) y del antígeno B (I^B).

El fenotipo de esta persona corresponde al grupo AB.

Genotipos posibles	Fenotipos
$C^+ C^+$, $C^+ c^{ch}$, $C^+ c^h$, $C^+ c^a$	Pelo gris (agutí).
$c^{ch} c^{ch}$, $c^{ch} c^h$, $c^{ch} c^a$	Pelo gris plateado (chinchilla).
$c^h c^h$, $c^h c^a$	Cuerpo blanco con extremidades y orejas negras (himalaya).
$c^a c^a$	Completamente blancos con ojos rosados (albinos).

Herencia en la especie humana



▲ Familia albina.

En nuestra especie, la herencia de los caracteres se ajusta a las mismas leyes que rigen para el resto de los seres vivos; sin embargo, su estudio no ha resultado expedito como el de plantas y animales debido, fundamentalmente, a la imposibilidad de utilizar a las personas como material de experimentación.

A continuación presentamos algunos de los tantos caracteres hereditarios de nuestra especie.

Herencia autosómica recesiva: albinismo

En las personas no albinas, el pigmento melanina se distribuye por todo el cuerpo, dando color y protección a la piel, pelo e iris del ojo. Este pigmento se forma a partir de una serie de reacciones enzimáticas. En los individuos albinos, esta ruta metabólica está interrumpida debido a la presencia de un gen que imposibilita la producción del pigmento, por lo que la persona presenta una disminución o ausencia de pigmentación, como se puede observar en la fotografía.

Esta condición corresponde a un ejemplo de herencia de un carácter que depende de un alelo recesivo (a) frente al alelo dominante (A) presente en el cromosoma 11 (autosómico).

¿Es posible que progenitores no albinos generen descendientes albinos?
 Demos respuesta a esta pregunta a través del ejemplo.

Genotipos posibles	Fenotipos
AA (homocigoto dominante).	Sin albinismo.
Aa (heterocigoto).	Sin albinismo.
aa (homocigoto recesivo).	Albino

P₁: Mujer no albina (heterocigota) Aa x Hombre no albino (heterocigoto) Aa

G₁: A - a x A - a

F₁:

Gametos	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

Genotipo: 25% homocigoto dominante, 50% heterocigoto y 25% homocigoto recesivo.

Fenotipo: 75% no albinos y 25% albinos.

Si ambos progenitores son portadores del gen recesivo, entonces tendrán una probabilidad de 0,25 de que uno de sus descendientes sea albino.

Para profundizar

En los cromosomas autosómicos también existen caracteres que dependen del alelo dominante, como la acondroplasia (enanismo) y la polidactilia (presencia de más de cinco dedos en manos o pies), entre otros. En estos casos se habla de herencia autosómica dominante.

Alelismo y codominancia: grupos sanguíneos

Este carácter está controlado por un gen que tiene tres alelos posibles (A, B y O), entre los que puede darse dominancia completa o codominancia.

¿Cómo es esto? La membrana de los glóbulos rojos presenta antígenos que determinan el grupo sanguíneo de los individuos. Si tiene antígeno A, significa que el individuo es del grupo A; si su antígeno es B, es del grupo B; si presenta ambos antígenos, es del grupo AB, y si no posee ninguno de los dos antígenos, es del grupo O. Pero ¿cómo se determinan los grupos sanguíneos a partir de la relación entre los alelos?

Simbología

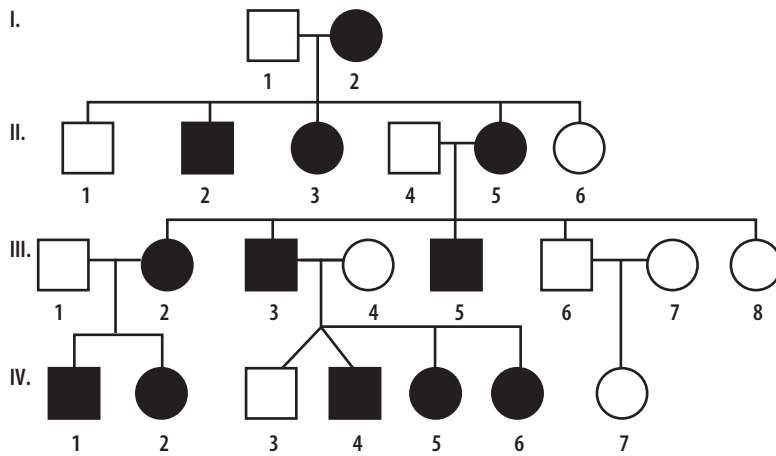
Para la correcta interpretación de los árboles es necesario conocer la simbología utilizada:

- Los \bigcirc representan a las mujeres y los \square a los hombres.
- Hombre afectado \blacksquare .
- Hombre portador \square .
- Mujer afectada \bullet .
- Mujer portadora \bigcirc .
- Los padres se unen a través de una línea horizontal.
- Los descendientes provienen de líneas verticales que se desprenden de la línea horizontal de los padres.
- Los hermanos están unidos por una línea horizontal.
- Las generaciones se simbolizan con números romanos. Dentro de cada generación, los individuos se identifican por números arábigos (1, 2, 3, etc.).

Árbol genealógico: estudio de la herencia

Para estudiar el comportamiento de un rasgo se usan los **árboles genealógicos**. A partir de ellos se puede determinar el tipo de herencia que caracteriza la expresión de ese rasgo. Este método es muy útil para aquellos organismos en los que no se pueden diseñar cruces, ya sea por el tiempo que debe transcurrir antes de generar descendencia o por el escaso número de descendientes que presentan.

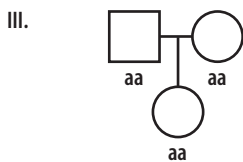
Los símbolos de cada individuo se sombreen en caso de que estos manifiesten en el fenotipo el carácter estudiado. En algunos ejemplos, aquellos individuos que no manifiestan el rasgo, pero que presentan el alelo estudiado, tienen solo la mitad izquierda sombreada.



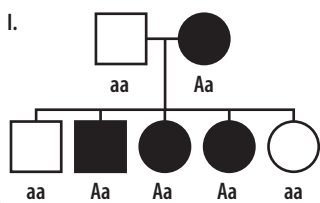
Al analizar el árbol anterior, se puede inferir que la herencia del rasgo estudiado se clasifica como **dominante autosómica**, considerando que se transmite de generación en generación y que ambos sexos presentan el fenotipo en la misma razón.

Este tipo de herencia se puede confirmar observando lo que sucede con los progenitores y sus respectivos descendientes, de modo de determinar cada uno de los genotipos. Por ejemplo, los individuos 6 y 7 de la generación III (ambos sin el rasgo) dan origen a un individuo que tampoco expresa el rasgo; por lo tanto, lo más probable es que sus genotipos sean homocigotos recesivos (ver esquema 1) y, por otro lado, cuando uno de los progenitores de la primera generación presenta el rasgo y el otro no, se generan descendientes con el rasgo y sin él (ver esquema 2).

Esquema 1



Esquema 2



Actividad

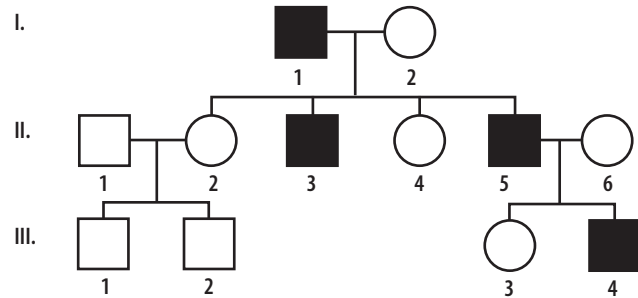
1. Con ayuda de la simbología, **interpreta** la información del árbol y luego responde.

- a. ¿Cuántas generaciones presenta el árbol genealógico?
- b. ¿Cuántas mujeres nacen de la pareja de la primera generación?
- c. ¿Cómo se explica que los individuos 1 y 2 de la generación III den origen a dos descendientes con el rasgo estudiado?

¿Cómo sería el árbol genealógico de una herencia ligada al cromosoma Y?

Este tipo de herencia también se conoce como **holándrica**. Se caracteriza, fundamentalmente, porque solo aparece en los descendientes varones, ya que el rasgo está presente solo en el cromosoma Y. Por lo tanto, no hay posibilidad de que una mujer exprese el rasgo.

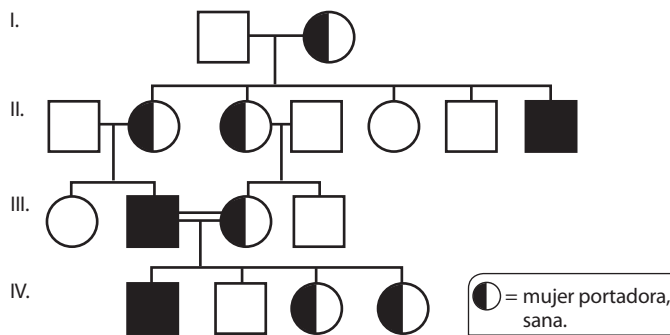
En el caso de los individuos 1 y 2 de la generación I, el genotipo del padre es XY* (* = presencia del rasgo) y el de la madre XX; por ende, todos los espermatozoides con el cromosoma Y tendrán el alelo, y, en consecuencia, los hijos expresarán el rasgo.



Actividad

1. Lee las siguientes situaciones y responde las preguntas a partir del **análisis** de los respectivos árboles genealógicos.

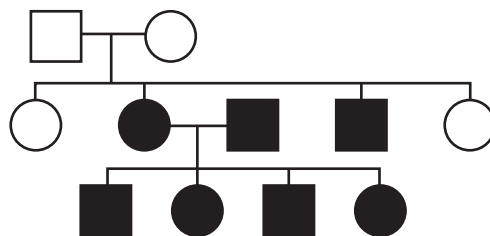
a. El siguiente árbol representa el estudio de la herencia de una enfermedad recesiva ligada al cromosoma X.



- Determina los genotipos de cada uno de los individuos.
- ¿Qué características del árbol son exclusivas de este tipo de herencia?, ¿cómo cambiaría este árbol si la herencia de esta enfermedad fuera autosómica recesiva?

b. Determina a qué tipo de herencia corresponde el siguiente árbol genealógico.

Argumenta tu respuesta.



Recuerda

Existen distintos **tipos de herencia**, que se basan en la interacción entre un alelo y otro. Una forma de determinar la herencia de un carácter estudiado es a partir de la construcción de un árbol genealógico, que además permite determinar el genotipo de los individuos y predecir la ocurrencia de la expresión de un gen y, por ende, de un rasgo.

Enfermedades hereditarias

Para profundizar

Las enfermedades genéticas son aquellas que tienen relación con los genes, pero éstas no necesariamente se heredan. Un ejemplo de éstas es el cáncer de piel, cuya principal causa es la exposición excesiva a los rayos UV, lo cual produce mutaciones en el ADN de las células, alterándose su ciclo celular.

El estudio de las enfermedades hereditarias constituyó una base importante para los descubrimientos acerca de la genética humana, sobre todo en lo que respecta a los tipos de herencia.

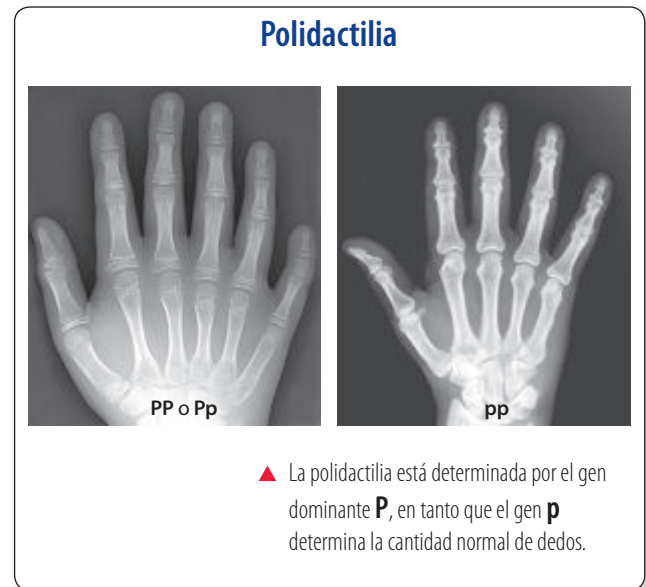
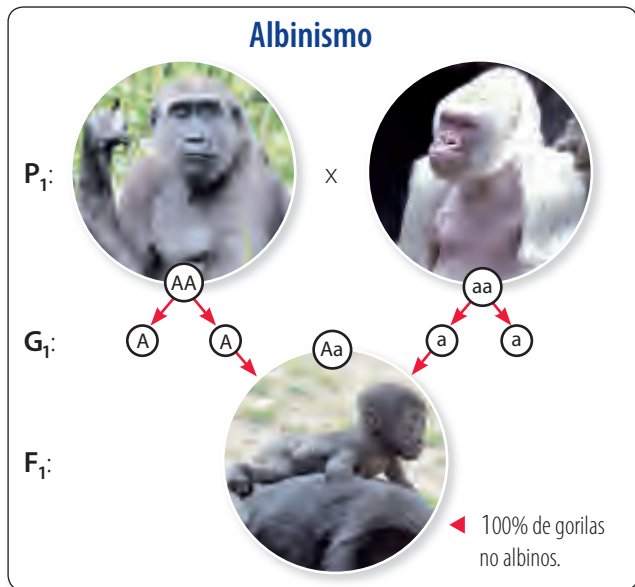
Lo que define a las enfermedades hereditarias es la posibilidad de que un cambio genético pueda ser transmitido de una generación a la siguiente. Es así como estas enfermedades están determinadas por distintos tipos de herencia, que se pueden encontrar asociados a los cromosomas autosómicos o sexuales. En estas dos páginas se presentan algunas de estas enfermedades y sus modalidades de herencia.

Trastornos ligados a los autosomas

Aquellos trastornos que se deben a un gen **autosómico dominante** se expresarán tanto en homocigotos como en heterocigotos, por lo que siempre que un individuo padezca el trastorno, al menos uno de sus progenitores estará afectado (ejemplo, polidactilia).

En tanto, aquellos trastornos que se deben a un gen **autosómico recesivo** solo se expresarán en estado homocigoto. En estos casos, pueden pasar varias generaciones en las que no aparezca el trastorno, incluso si uno de los progenitores lo presenta (ejemplo, albinismo).

Trastorno	Dominante o recesivo	Alteración	Efecto	Frecuencia en nacimientos humanos
Sindactilia	Dominante	Dedos unidos por una membrana.	Imposibilidad de realizar ciertos movimientos.	1 de cada 3 000 nacidos.
Polidactilia	Dominante	Presencia de más de cinco dedos en manos o pies. Por lo general, un dedo más.	Movimientos dificultosos.	1 de cada 500 nacidos.
Albinismo	Recesivo	La poca o nula actividad de la enzima tirosinasa, la que permite la transformación del aminoácido tirosina en melanina.	Incapacidad para formar melanina, por lo que la piel, el pelo y los ojos no están pigmentados.	1 de cada 17 000 nacidos.



Trastornos ligados a los cromosomas sexuales

Aquellos trastornos que se deben a la presencia de un gen **recesivo** en el cromosoma X le confieren a la herencia ciertas particularidades. Veamos esto considerando el ejemplo del daltonismo:

- Los hombres solo tienen un cromosoma X; por lo tanto, no se aplica la denominación de homocigotos ni de heterocigotos para un determinado alelo. En otras palabras, todos los caracteres ligados al cromosoma X se van a expresar, independientemente de que sean dominantes o recesivos. En este caso, los hombres reciben el gen recesivo por parte de sus progenitoras. Para que un hombre sea daltónico, solo es necesario que su madre sea heterocigota para el daltonismo; su padre puede ser normal.
- Las mujeres, por su parte, solo expresarán el daltonismo si reciben el alelo recesivo de ambos progenitores, en tanto que su estado heterocigoto las hace portadoras, pero no presentarán el trastorno. Una mujer daltónica debe tener padre daltónico y madre heterocigota u homocigota para el daltonismo. Tal combinación es poco frecuente.
- Los rasgos recesivos ligados al cromosoma X suelen ser mucho más comunes en hombres que en mujeres.

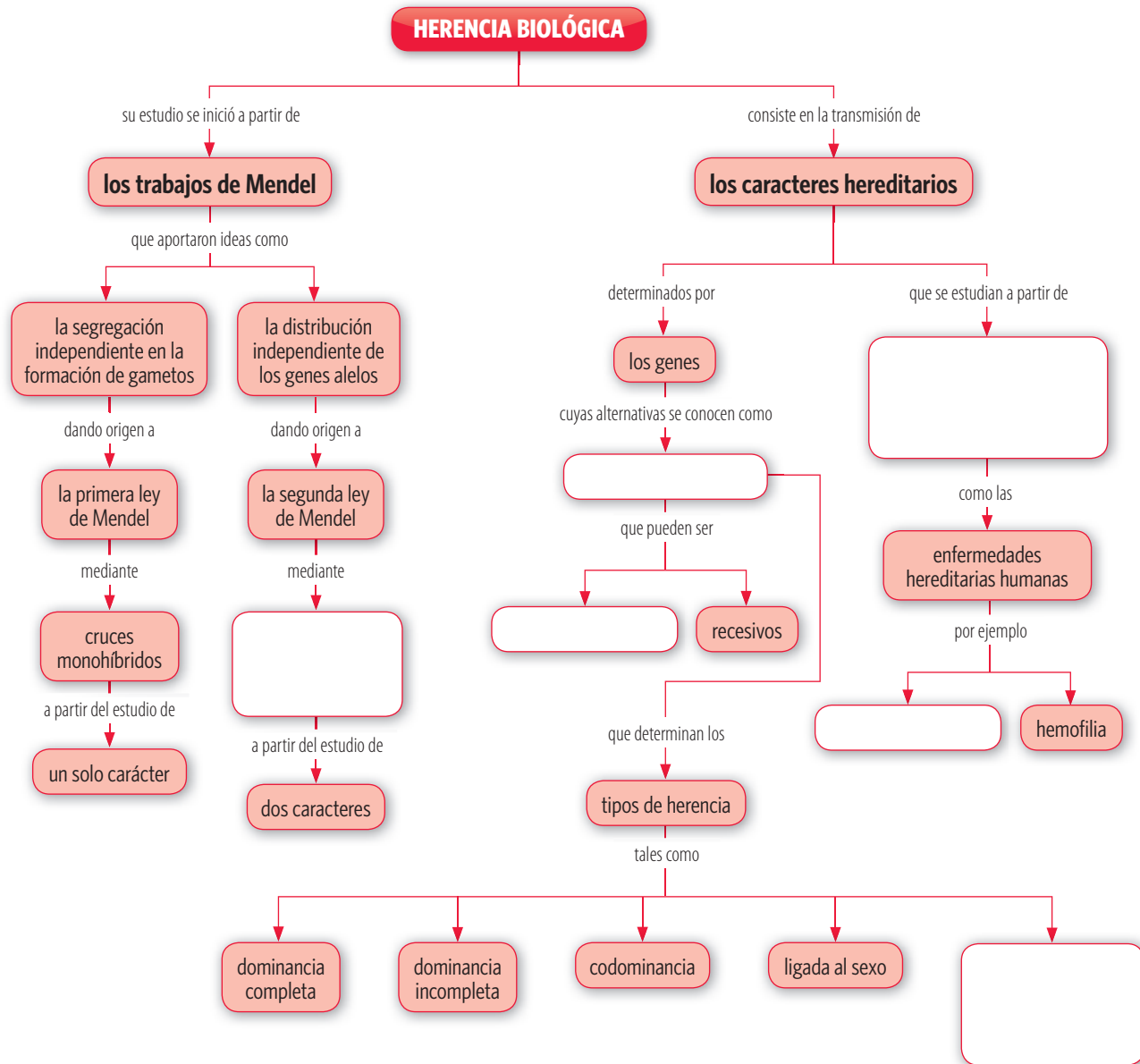
Recuerda

Las enfermedades hereditarias están asociadas a genes presentes en cromosomas autosómicos o sexuales que determinan su tipo de herencia.

Trastorno	Dominante o recesivo	Alteración	Efecto	Frecuencia en nacimientos humanos
Daltonismo	Recesivo, ligado al cromosoma X.	Las células de la retina, denominadas conos, carecen o producen menos cantidad de pigmentos fotosensibles.	Imposibilidad o dificultad para distinguir ciertos colores.	8% de los hombres y 1% de las mujeres.
Hemofilia	Recesivo, ligado al cromosoma X.	No se forma un factor de coagulación sanguínea (factor VIII).	Incapacidad o dificultad en la coagulación de la sangre.	1 de cada 2 500 hombres nacidos. Poca probabilidad en mujeres; en caso de darse, resulta letal.

El siguiente organizador gráfico resume las relaciones entre los principales contenidos abordados en la unidad. Completa algunos casilleros en blanco con los siguientes conceptos:

Alelos – Alelos múltiples – Daltonismo – Cruces dihíbridos – Dominantes – Árboles genealógicos



I. Analiza la siguiente situación procedimental y luego responde.

Planteamiento del problema

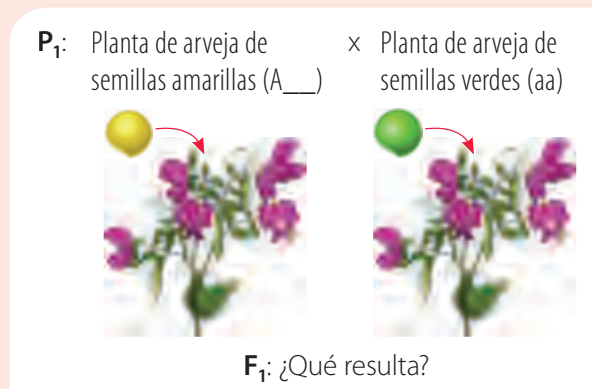
Se tiene una planta de arveja que presenta las semillas de color amarillo (determinadas por el alelo dominante **A**); sin embargo, se desconoce su genotipo. Solo a partir de su fenotipo y del conocimiento de los alelos dominante y recesivo, se puede inferir que presenta al menos el gen dominante para el carácter **A**__. ¿Cómo determinar el genotipo de esta planta si lo único que podemos observar es su fenotipo?



Procedimiento experimental

La única forma de conocer el genotipo desconocido de una planta de arveja con semillas amarillas es cruzándola con una planta que a partir de su fenotipo nos permita determinar inequívocamente su genotipo. ¿Cuál es este tipo de planta? Es aquella cuyo fenotipo es recesivo para el carácter, es decir, una planta de arveja con semillas de color verde, genotipo **aa**.

Por lo tanto, el cruce quedaría expresado de la siguiente manera:



Formulación de hipótesis

- 1 Basándote en las posibles características fenotípicas de la **F₁**, formula una hipótesis.

Obtención de resultados

Los resultados del cruce fueron los siguientes:

F₁: 50% de plantas con semillas amarillas y 50% de plantas con semillas verdes.

Elaboración de conclusiones

- 1 Elabora una conclusión que se pueda desprender a partir de la hipótesis planteada anteriormente.

II. Marca la alternativa correcta.

- 1 Si se permite la autofecundación de plantas de arvejas con semillas amarillas–lisas, heterocigotas para ambos caracteres, ¿cuál de los siguientes resultados de la descendencia es el más probable?
- A. 18 amarillas–lisas, 8 amarillas–rugosas, 1 verde–lisa y 9 verdes–rugosas.
 - B. 100% amarillas–lisas.
 - C. 50% amarillas–lisas y 50% verdes–rugosas.
 - D. 185 amarillas–lisas, 58 amarillas–rugosas, 61 verdes–lisas y 20 verdes–rugosas.
 - E. 50% amarillas–rugosas y 50% verdes–lisas.
- 2 Morgan aplicó los experimentos de Mendel en *Drosophila* y estudió el color de ojos que presentaban las moscas luego de efectuar los cruces. ¿Cuál fue el resultado en la F_1 cuando la hembra progenitora presentaba color blanco y el macho presentaba color rojo?
- A. 100% ojos rojos.
 - B. 100% ojos blancos.
 - C. Hembras: 100% ojos rojos; machos: 100% ojos blancos.
 - D. Hembras: 50% ojos rojos y 50% ojos blancos; machos: 100% ojos blancos.
 - E. Ninguna de las anteriores.
- 3 Una planta tiene flores de tres colores: amarillas, rojas y manchadas (rojas con pintas amarillas). Estos colores están determinados por un par de alelos, uno que determina el color amarillo y otro el color rojo. ¿Qué tipo de herencia presentan estas plantas?
- A. Dominancia completa.
 - B. Codominancia.
 - C. Herencia ligada al sexo.
 - D. Alelismo múltiple.
 - E. Herencia de series alélicas.
- 4 En *Drosophila*, el color gris del cuerpo es dominante sobre el color ébano, mientras que las alas largas son dominantes sobre las alas vestigiales. ¿Cuál será el resultado fenotípico más probable cuando se cruzan moscas grises (línea pura)–alas largas (heterocigotas) con moscas ébano–alas largas (heterocigotas)?
- I. 100% color gris.
 - II. 50% alas largas y 50% alas vestigiales.
 - III. 75% grises–largas y 25% grises–vestigiales.
- A. Solo I.
 - B. Solo II.
 - C. Solo III.
 - D. I y II.
 - E. I y III.
- 5 Si se cruzan plantas de arvejas de flores púrpura (heterocigotas) con plantas de flores blancas, se genera una descendencia de doscientos individuos. ¿Cuántos descendientes tendrán flores blancas, aproximadamente?
- A. 10.
 - B. 20.
 - C. 50.
 - D. 100.
 - E. 200.
- 6 ¿De qué color serán las flores de “dondiego de la noche” resultantes del cruzamiento de flores rojas con flores rosadas?
- A. 50% rojas y 50% rosadas.
 - B. 100% rojas.
 - C. 100% rosadas.
 - D. 50% rojas y 50% blancas.
 - E. 100% blancas.
- 7 Si un gen dominante (D) se ubica en el cromosoma X, ¿cuál tendría que ser el genotipo de un macho para presentar el fenotipo dominante?
- A. X^dY .
 - B. X^dY^d .
 - C. X^DY^D .
 - D. X^DY .
 - E. XY.

8 ¿A qué alelos se refiere la 2^{da} ley de Mendel?

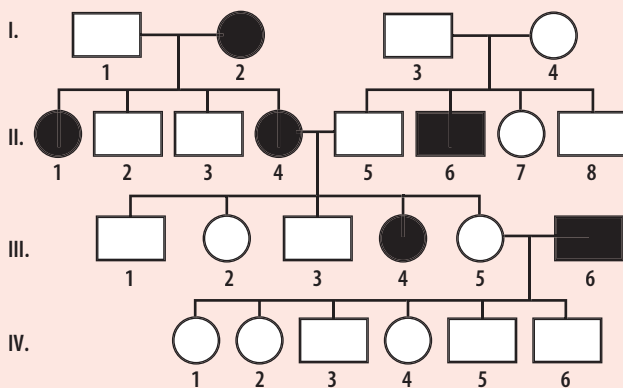
- I. A alelos ubicados en el mismo cromosoma.
- II. A alelos de genes diferentes.
- III. A alelos ubicados en distintos cromosomas homólogos.

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

9 ¿Cuál es la principal característica de la herencia por alelos múltiples?

- A. Se expresan ambos alelos en su forma heterocigota.
- B. Aparece un nuevo fenotipo en su forma heterocigota.
- C. Un gen presenta dos posibles alelos.
- D. El gen se ubica en los cromosomas sexuales.
- E. Hay más de dos alelos para un mismo gen.

10 ¿Cuál(es) de las siguientes alternativas es(son) correcta(s) respecto al siguiente árbol genealógico, que representa el estudio de un carácter determinado por los genes alelos A y a?



- I. Presenta cuatro generaciones.
- II. El individuo 2 de la primera generación posee genotipo aa.
- III. El tipo de herencia es autosómica recesiva.

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

11 Si se analiza un carácter en un árbol genealógico, ¿qué característica lo determinaría como un tipo de herencia ligada al cromosoma Y?

- I. Presentarse solo en los varones.
- II. Aparecer en todas las generaciones, en caso de que nazcan varones.
- III. Estar presente en mujeres entre una y otra generación.

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

12 ¿Qué característica(s) es(son) correcta(s) respecto del gen que determina el daltonismo?

- I. Es recesivo.
- II. Se ubica en un cromosoma autosómico.
- III. Se expresa solo cuando el genotipo es aa.

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

13 ¿Cuál de los siguientes fenotipos humanos presenta herencia recesiva autosómica?

- A. Los grupos sanguíneos.
- B. La hemofilia.
- C. El daltonismo.
- D. El albinismo.
- E. El síndrome de Down.

Yo me evalúo

Marca el nivel de logro de tus aprendizajes dentro de la unidad. Usa para ello la escala que se presenta después de la tabla.

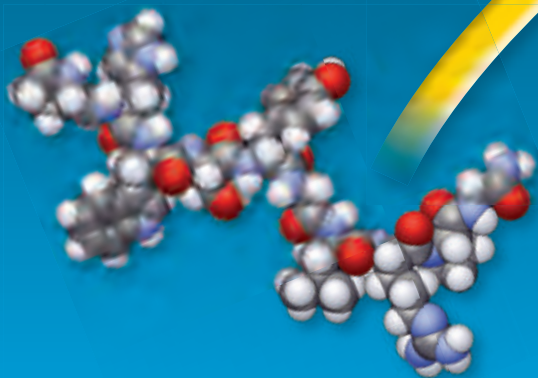
Evaluación sección	
Actividad de inicio.	
Evaluación de proceso.	
Evaluación final.	

1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

Unidad 3

Función reguladora de las hormonas

▼ Una hormona liberada por una glándula viaja por el torrente sanguíneo. En este caso, se trata de la hormona liberadora de gonadotropina, GnRH. ¿Cuántos tipos de hormonas piensas tú que existen en el cuerpo humano?



▲ Esta hormona se encuentra con un receptor específico de membrana, el que gatilla una cascada de reacciones que estimulan una serie de mecanismos celulares. ¿Qué tipos de procesos crees que podrán ser activados por una hormona?

¿Qué aprenderás?	¿Para qué?	¿Dónde?
Relación entre procedimientos experimentales y resultados obtenidos.	Reconocer cómo se relacionan los resultados obtenidos en una investigación con el procedimiento experimental seguido.	Páginas 84, 85, 106, 107 y 115.
Distintos tipos de hormonas y las consecuencias de su acción.	Relacionar órganos endocrinos con las hormonas correspondientes y sus respectivas funciones.	Páginas 86 a 105.
Construcción y desarrollo del conocimiento científico.	Describir investigaciones científicas clásicas o contemporáneas relacionadas con el funcionamiento hormonal.	Páginas 84, 85, 96, 97, 106, 107 y 110.
Mecanismos de regulación hormonal.	Comprender los mecanismos que utiliza el organismo para mantener una variable de origen externo dentro de niveles compatibles con la vida.	Páginas 96 a 109.
Regulación de la glicemia.	Comprender los mecanismos que permiten mantener la glucosa sanguínea dentro de niveles constantes y conocer lo que ocurre cuando esta regulación falla.	Páginas 110 a 113.

Evaluación inicial

Sabemos que este tema es relativamente nuevo para ti. De todas formas, te invitamos a intentar responder algunas de las preguntas que se presentan a continuación. Si no sabes las respuestas, las encontrarás al interior de la unidad.

1. ¿Qué entiendes por hormona?
2. ¿Cuántos tipos de hormonas piensas que existen en el cuerpo humano?, ¿podrías nombrar alguna?
3. Si tuvieras que conseguir una muestra de hormonas humanas, ¿en qué parte buscarías?
4. Si todas las partes del cuerpo pueden ser sensibles a una o más hormonas y muchas partes del cuerpo son capaces de producir hormonas, ¿qué pasará cuando una de estas hormonas falla?
5. ¿Cómo habrá sido posible descubrir que hay sustancias como las hormonas, capaces de activar órganos y tejidos del cuerpo?



▲ Esta es una célula blanco o diana que recibe a la hormona. ¿Una misma célula podrá ser receptora para más de una hormona?



▲ En este caso, el órgano al que pertenece esta célula blanco es la hipófisis. ¿Sabes por qué esta glándula es tan relevante en la comunicación endocrina?

► Todas las zonas del organismo pueden ser sensibles a una o más hormonas, y muchas partes del cuerpo son capaces de producir las.



Etapas experimentales

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

¿Cómo se relacionan los resultados con el procedimiento?

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

Pasos para desarrollar un procedimiento y obtener resultados

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

La mayor parte de las hormonas se descubrieron a principios del siglo XX, período durante el cual el desarrollo de tratamientos para enfermedades fue una motivación determinante.

Este fue el caso del bioquímico Hans Selye, de origen austrohúngaro, quien experimentaba inyectando ratas con extractos obtenidos de varios órganos. Selye se percató de que las respuestas de las ratas eran similares, independientemente del origen del extracto inyectado, lo que tuvo como consecuencia: crecimiento de la corteza de la suprarrenal, atrofia del timo, bazo y ganglios linfáticos, úlceras gástricas e intestinales. Era poco probable que todos los extractos inyectados contuvieran la sustancia responsable de tales efectos. Inyectó entonces formalina, un reactivo cualquiera, y, para su sorpresa, obtuvo similares respuestas.

Selye recordó que los mismos síntomas vistos en las ratas aparecían en personas enfermas, sin importar su enfermedad. Supuso entonces, y lo publicó en el año 1936, que existía una manera uniforme del organismo para reaccionar frente a las tensiones externas. A esto le llamó “síndrome de adaptación al estrés” y, tras posteriores investigaciones, pudo explicar que este era activado a partir del hipotálamo y de la hipófisis, glándulas que a su vez estimulaban secreciones de la corteza suprarrenal (ver sección *Ayuda*). Desde entonces quedó establecido que el cortisol era la “hormona del estrés”, definido este último como la suma de respuestas fisiológicas frente a una amenaza.

Planteamiento del problema y formulación de hipótesis

No todas las personas parecen reaccionar de la misma manera frente a situaciones amenazantes. Mientras algunas se sobreponen con facilidad, otras pueden llegar a sufrir malestar orgánico o percibir que se trata de un conflicto muy difícil de abordar. Como todas las hormonas poseen efectos específicos, si una de estas respuestas falla, es válido suponer que se debe a la falta de la hormona en cuestión. Esto nos lleva a plantear la siguiente pregunta e hipótesis:

¿Es posible que un organismo pueda responder eficientemente al estrés cuando falta la hormona cortisol?

“Si el cortisol es la principal hormona responsable de la respuesta al estrés y esta respuesta es la que permite adaptarse a la tensión, entonces la extracción de la glándula suprarrenal tendría como consecuencia la incapacidad del organismo para enfrentar el estrés”.

Ayuda

La hipófisis está situada sobre la base del cráneo. Es la glándula endocrina que regula la mayor parte de los procesos biológicos del organismo.

El hipotálamo es un área del cerebro ubicada sobre la hipófisis, y también posee una función endocrina. Entre ambas glándulas se establece una estrecha relación neuroendocrina.

Las suprarrenales son dos glándulas ubicadas sobre los riñones. Su función es regular las respuestas al estrés a través de la síntesis de corticoides (principalmente cortisol) y catecolaminas (principalmente adrenalina). El hipotálamo y la hipófisis regulan las secreciones de las glándulas suprarrenales.

Procedimiento experimental

Una de las dificultades para realizar este experimento es la manera de evaluar la “respuesta positiva al estrés”, pues se trata de un conjunto de efectos complejos, que pueden alterar una serie de otras funciones orgánicas. Una forma indirecta es aprovechar una variable que es modificada por el cortisol: el nivel de glucosa sanguínea. En situaciones de ayuno o de tensión física, el cortisol activa mecanismos metabólicos que aumentan la glucosa sanguínea. Otra hormona, la adrenalina, también se secreta desde la glándula suprarrenal y tiene un efecto similar sobre la glucosa. De esta forma, indirectamente, una rata sin glándula suprarrenal estaría limitada en su capacidad para aumentar la glucosa sanguínea. Basados en este principio, investigadores de un laboratorio separaron dos grupos de ratas y llevaron a cabo el siguiente procedimiento:

- Grupo 1 (control): a 6 ratas no les practicaron ningún tratamiento.
- Grupo 2: a 6 ratas les extrajeron ambas glándulas suprarrenales.

Una semana después, midieron la concentración de glucosa sanguínea (glicemia) de las 12 ratas y luego continuaron con el experimento. Tres ratas de cada grupo fueron sometidas a estrés por inmovilización. Al cabo de cinco minutos, volvieron a medir la glicemia en las 12 ratas; así fueron repitiendo la medición cada cinco minutos, por veinte minutos más.

- ¿Qué fin cumple en este experimento el grupo control?
- ¿Por qué se mide la glicemia antes de realizar el estrés por inmovilización?
- ¿Por qué se utiliza más de una rata por cada grupo?
- ¿Cuál o cuáles serían las variables de este experimento?

Obtención de resultados

Los resultados se resumen en la siguiente tabla. Todos los valores corresponden a miligramos de glucosa (mg) por mililitro de sangre (mL). La glicemia normal de una rata es de 100 mg/mL.

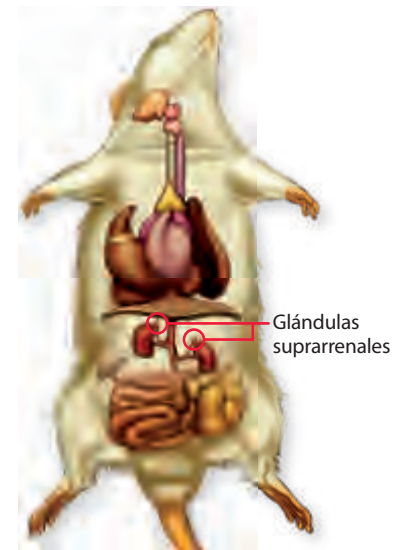
Niveles de glicemia en el tiempo	Grupo 1		Grupo 2	
	Sin estrés	Con estrés	Sin estrés	Con estrés
Glicemia inicial	110	100	100	110
5'	100	140	100	100
10'	120	150	100	90
15'	130	160	110	100
20'	100	130	120	100
25'	120	110	110	90

Interpretación de resultados y elaboración de conclusiones

- ¿Los niveles de glicemia de los dos grupos son los esperables según la hipótesis? ¿Qué valores sí y qué valores no? ¿Existe evidencia suficiente para validar la hipótesis?
- ¿Bajo qué condiciones los resultados podrían ser aplicables al ser humano?

Ayuda

En ciencias, cuando se realiza una medición, es necesario considerar grupos control. En este caso, grupos que permitan descartar el efecto de la manipulación en los animales con los que se está experimentando.



▲ Ilustración esquemática de una rata en posición operatoria.

Yo me evalúo

De la actividad anterior:

- ¿qué te resultó más difícil?, ¿por qué?
- ¿Cómo se relaciona el procedimiento con los resultados?
- ¿Cómo se relacionan los resultados con la hipótesis?
- ¿Cómo se relaciona el problema de investigación con las conclusiones?

Introducción a las funciones celulares

A pesar de la complejidad que posee la célula **eucarionte**, sus componentes principales están bien definidos, al igual que sus funciones. El cuerpo humano cuenta con unos sesenta billones de células distribuidas en unos doscientos tipos diferentes. Pese a ello, las estructuras y los **organelos** responsables de cada tarea son los mismos y las desarrollan básicamente de forma similar.

Algunas funciones de una célula eucarionte

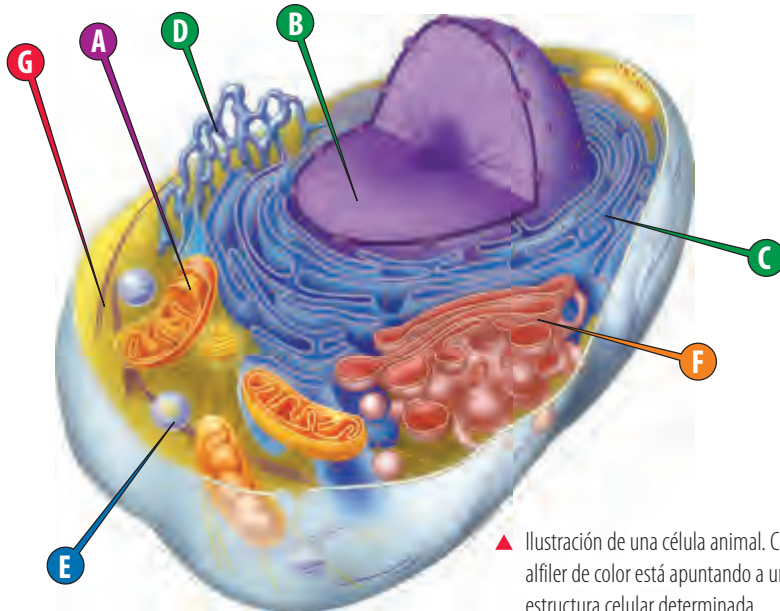
La enorme mayoría de las células eucariontes disponen de estructuras especializadas para realizar una gran gama de actividades. Entre ellas podemos mencionar las siguientes:

● Procesamiento de la energía

Gracias a las mitocondrias, las células eucariontes pueden transferir la energía química de las moléculas obtenidas en la nutrición a moléculas de ATP, las que a su vez se aprovechan en tareas que requieren energía; por ejemplo, los procesos de . . .

● Síntesis

Hay varios lugares de la célula donde se elaboran moléculas a partir de unidades más simples: la síntesis de proteínas ocurre en los ribosomas; la de lípidos, en el retículo endoplásmico liso; la de azúcares de almacenamiento, en el citoplasma, y la de ácidos nucleicos, en el núcleo. Muchas de estas moléculas provienen de subunidades obtenidas por. . .



● Digestión

Capacidad de degradar moléculas de origen extra o intracelular al interior de los lisosomas u otros organelos, como el retículo endoplásmico liso. Los lisosomas se originan en el aparato de Golgi, al igual que las vesículas responsables de la . . .

● Secreción

Proceso mediante el cual la célula libera sustancias que actúan, ya sea en su periferia o en tejidos distantes, en coordinación con el citoesqueleto, el que moviliza las vesículas y es responsable del . . .

● Soporte y movimiento

Tareas que permiten que la célula mantenga una forma característica, la modifique según sus necesidades o se traslade eventualmente a otro lugar.

Actividad

1. **Identifica** en el esquema las estructuras celulares que se relacionan con las funciones descritas y escríbelas en tu cuaderno.
2. La función de "intercambio" tiene relación con todas las estructuras que poseen membranas; no es exclusiva de la membrana plasmática. **Explica**, entonces, de qué manera la función digestiva o la de síntesis depende de la capacidad de la célula para realizar intercambios de moléculas.

Actividad secretora de la célula

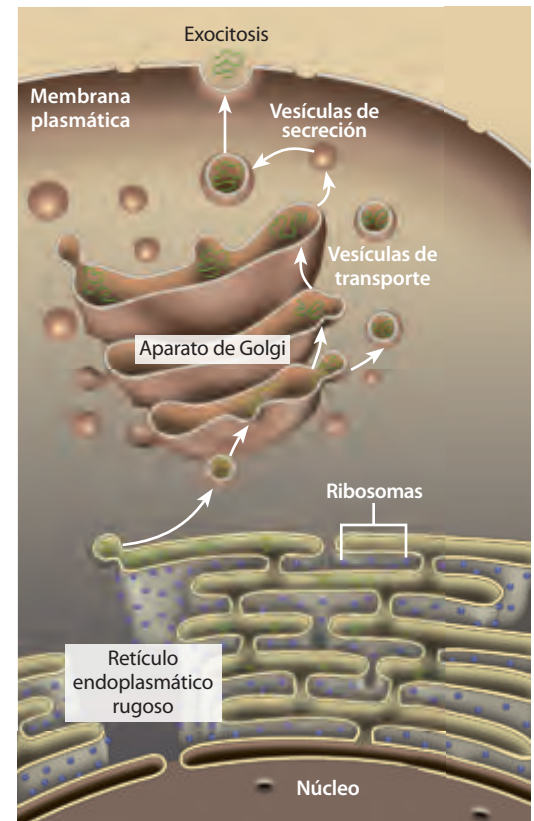
Todas las células animales pueden secretar sustancias. Lo hacen para los más diversos fines, desde aportar materiales para la red de proteínas que las rodea (matriz extracelular), hasta permitir la transmisión del impulso nervioso. En todos estos casos, el aparato de Golgi juega un rol fundamental al empaquetar y preparar lípidos y proteínas que serán exocitados mediante vesículas.

El **aparato de Golgi** es un sistema de sacos membranosos, interconectados por una serie de vesículas que se separan y se funden con estas cavidades en forma dinámica. Muchas de las proteínas procesadas por el Golgi se liberan mediante exocitosis, a diferencia de aquellas producidas por ribosomas libres, que se ocupan internamente en la célula.

En las células especializadas en la secreción, llamadas **células glandulares**, es habitual que las vesículas secretoras se reúnan en la cercanía del límite celular. Para poder vaciar su contenido hacia el medio extracelular, las vesículas simplemente funden su estructura con la membrana plasmática, tal como se representa en la figura lateral.

Las secreciones liberadas por una célula glandular pueden tener al menos dos destinos: un conducto o la sangre. En el primer caso, la secreción se denomina **exocrina**, pues se trata de componentes que serán utilizados en el medio externo o en una cavidad, como ocurre con la secreción de las glándulas sudoríparas o el producto de las glándulas del estómago. En el segundo caso, la secreción se denomina **endocrina** y permite que las sustancias sean transportadas hacia lugares muy distantes de la célula secretora. Con estas sustancias nos referimos a las **hormonas**.

En la figura inferior se representan ambas vías de secreción: exocrina y endocrina, con lo que se esquematiza la doble capacidad secretora del páncreas.

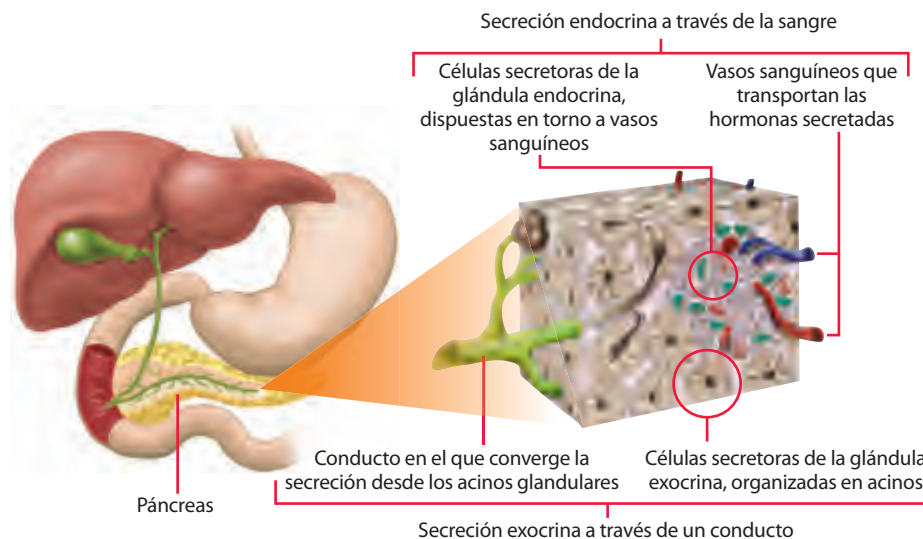


▲ Esquema que muestra la relación entre el retículo endoplásmico rugoso, el aparato de Golgi y la membrana plasmática.

Para profundizar



Camillo Golgi fue un científico italiano que describió el organelo que lleva su nombre en 1897. Se requirieron casi cincuenta años tras el hallazgo para que la comunidad científica admitiera que Golgi efectivamente había descubierto un nuevo organelo celular, que no era simple producto de su imaginación.

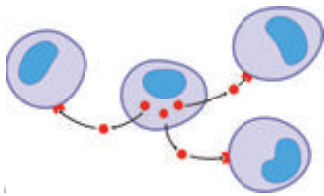


▲ Comparación de células secretoras exocrinas y endocrinas en el páncreas, uno de los pocos órganos que cuentan con ambos tipos de secreciones.

Las hormonas son secreciones que modulan la actividad celular

Para profundizar

Existe una serie de otras sustancias similares a las hormonas, que en vez de ser transportadas por la sangre, se movilizan en el medio extracelular, lo que afecta a células que se encuentran en la periferia. Es el caso de la mayoría de las moléculas secretadas durante la respuesta inmunológica. A este tipo de comunicación intercelular se le llama "**paracrina**".



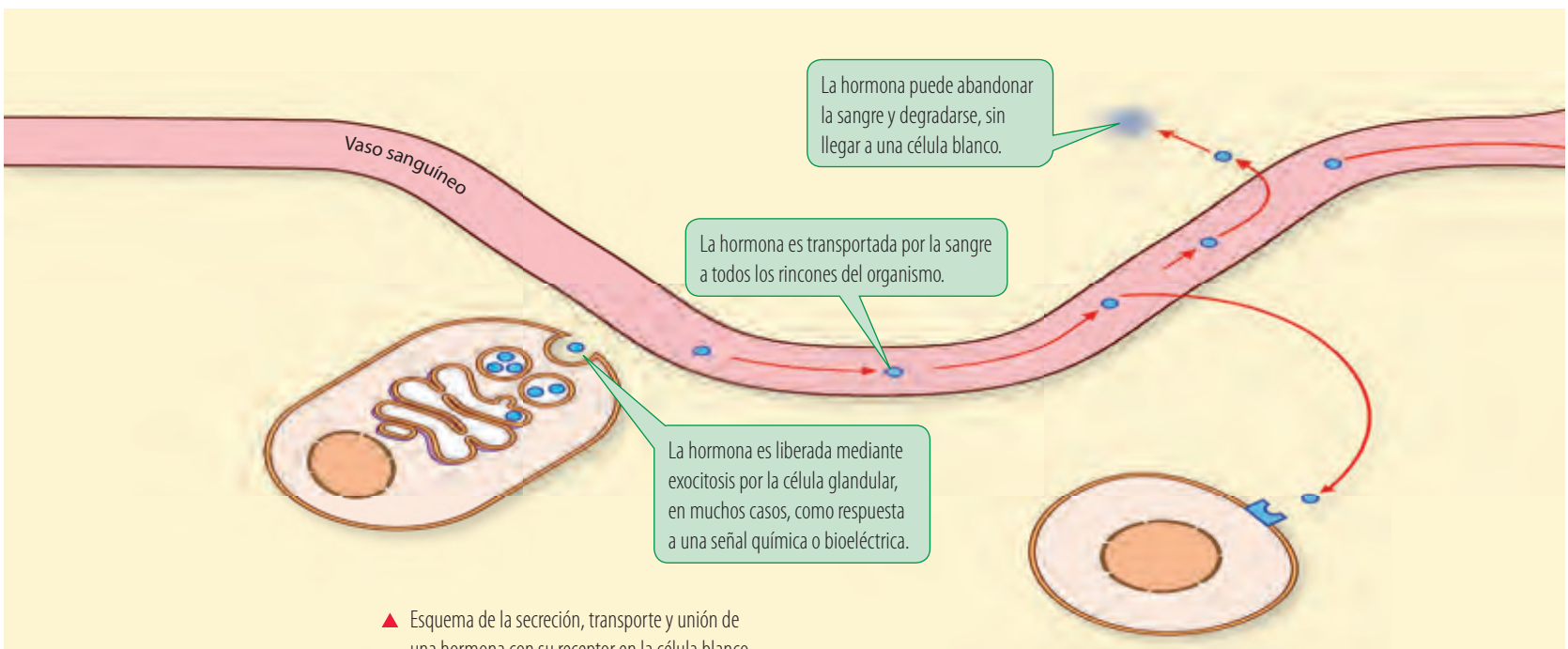
▲ Esquema de comunicación paracrina.

Tendemos a pensar que las hormonas son sustancias relacionadas exclusivamente con los procesos reproductivos y sexuales. Ciertamente que cumplen un papel relevante en ese contexto; sin embargo, el conjunto de hormonas de un ser vivo desempeña una función mucho más amplia: se ocupa de que cada célula del cuerpo desarrolle un papel específico. No sería una exageración señalar que un ser vivo se mantiene funcionando gracias a la regulación simultánea y coordinada que las hormonas ejercen sobre sus células.

Cada hormona con un receptor

La mayoría de las veces, cada hormona es liberada por un grupo específico de células. Si por alguna causa esas células fallan, el organismo completo es incapaz de generar la hormona.

Tal como se aprecia en la figura de esta doble página, cuando una hormona es secretada por una célula glandular, es arrastrada por la sangre sin ninguna dirección aparente. Al abandonar los vasos sanguíneos, la hormona tiene la posibilidad de tomar contacto con células de los distintos tejidos de cualquier órgano del cuerpo. Sin embargo, para que la hormona cumpla algún papel, la célula debe poseer una proteína capaz de reconocer a la hormona a partir de su estructura molecular. Tales proteínas se llaman **receptores**, que pueden estar ubicados en la membrana plasmática o en el citoplasma. Si una célula posee el receptor específico para una determinada hormona, se dice que es una **célula blanco** o **diana**.



▲ Esquema de la secreción, transporte y unión de una hormona con su receptor en la célula blanco.

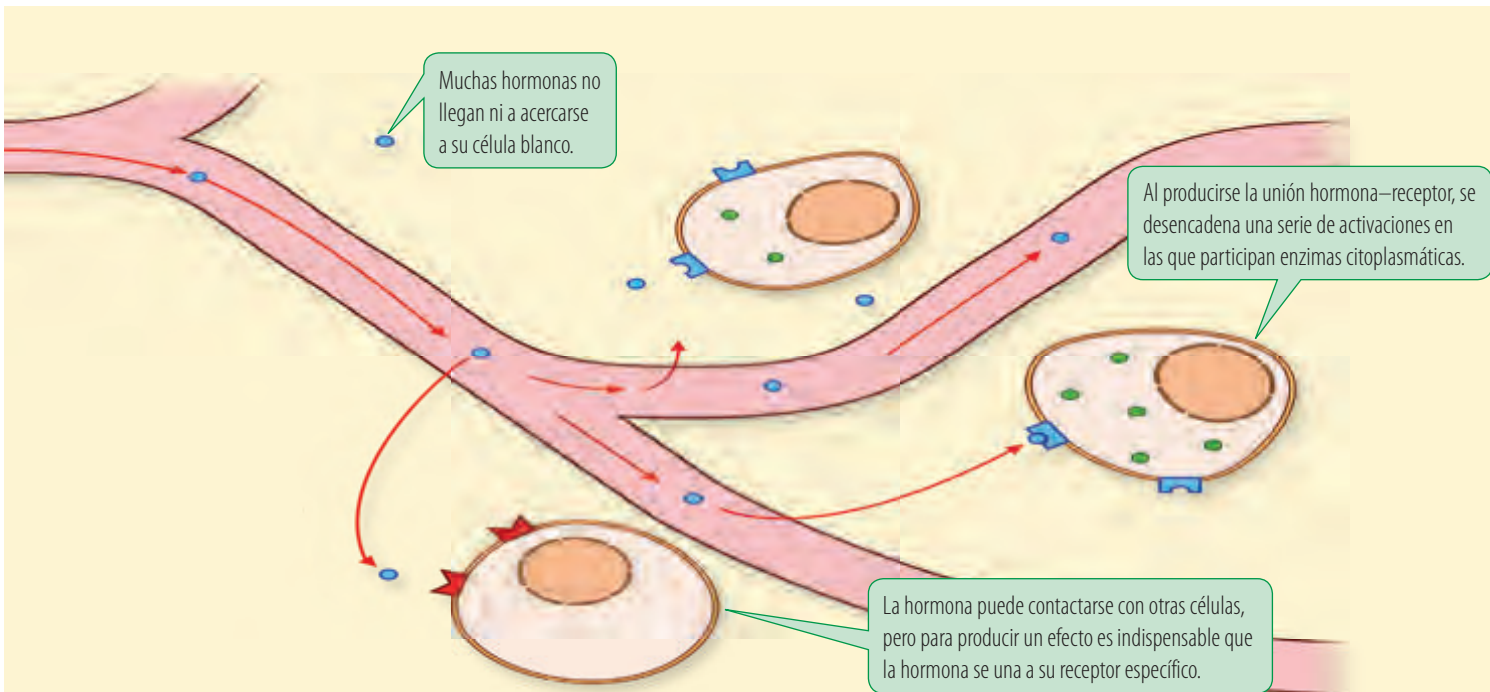
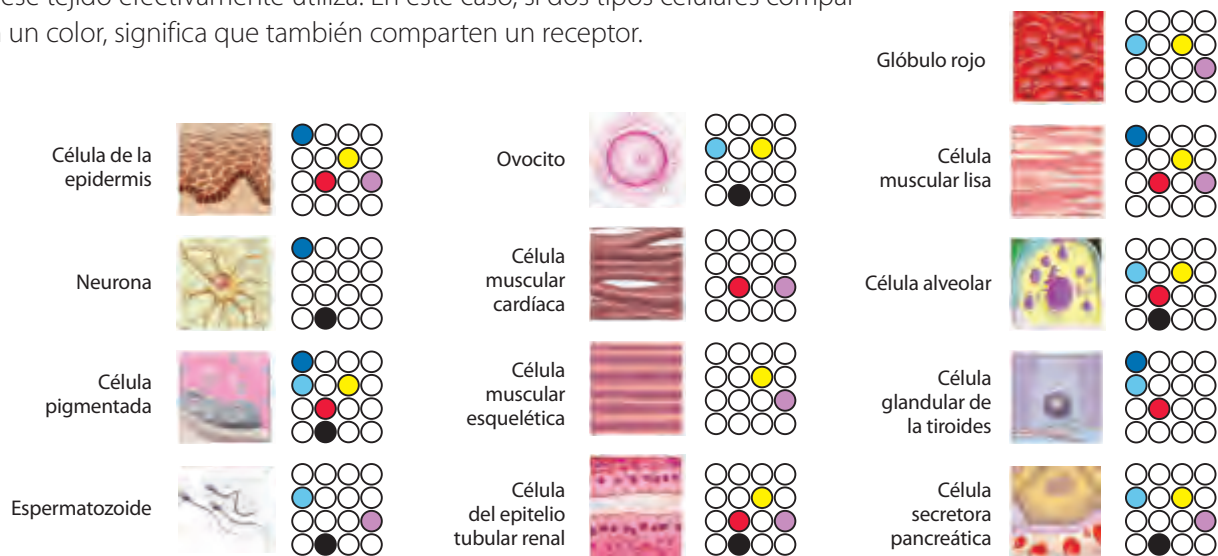
Cada célula, una colección de receptores

A pesar de que la unión entre una hormona y su receptor es temporal, cada vez que se produce provoca una serie de modificaciones en la célula blanco: desde aumentar la permeabilidad de la membrana plasmática para cierta sustancia, hasta modificar completamente su forma.

Como cada célula posee una gran variedad de receptores diferentes, es capaz de responder a una igualmente variada gama de hormonas. En un tejido, la estructura y la función de una célula están definidas por la combinación de receptores que posee. Para representarlo, en la siguiente figura se han esquematizado dieciséis círculos que dan cuenta del total de receptores **potenciales** que una célula podría tener. Los que aparecen coloreados son los que la célula de ese tejido efectivamente utiliza. En este caso, si dos tipos celulares comparten un color, significa que también comparten un receptor.

Para profundizar

Algunas sustancias pueden interferir de manera inespecífica con la acción de las hormonas, confundiendo, por su similitud de tamaño y/o estructura química, a sus receptores celulares.



Los procesos realizados por los tejidos dependen de señales recibidas y liberadas

Para profundizar

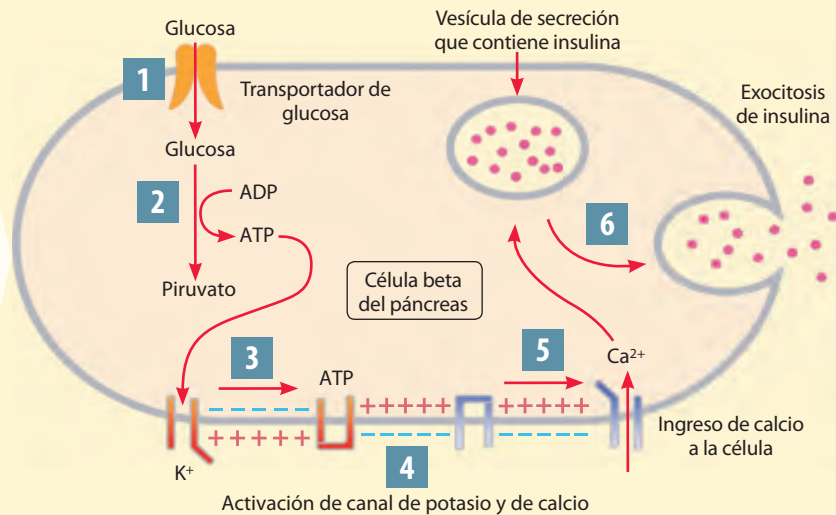
En el cuerpo humano, la concentración sanguínea a la que actúan las hormonas es menor o igual a 10^{-8} M, lo que las convierte en las sustancias más escasas del plasma sanguíneo. Solo como ejemplo, por cada molécula de insulina se pueden hallar cerca de un millón de moléculas de glucosa.

La vida de una célula debe entenderse como un continuo, pues el inicio de un determinado proceso suele ser la consecuencia de otro. Esta situación es muy evidente cuando estudiamos la relación que tiene la célula con las hormonas.

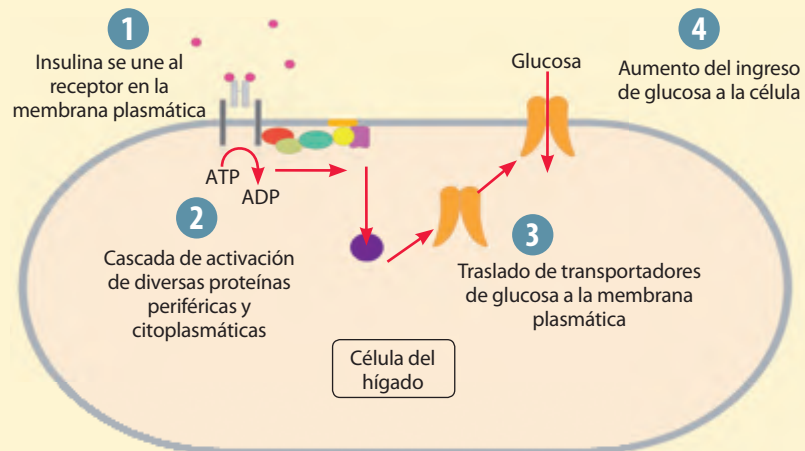
Si bien es posible definir el punto de origen de una determinada secreción hormonal, la vía de transporte y las células u órgano blanco correspondientes, lo que inicia la producción de una hormona puede ser una señal externa a la que es sensible la célula, un impulso nervioso, o bien otra hormona. Las señales externas pueden ser sustancias químicas que se incrementan o disminuyen en el medio extracelular a consecuencia de mecanismos nerviosos y hormonales previos.

Para representar esta situación, hemos escogido la relación que tiene la concentración de glucosa sanguínea con los niveles de la insulina, hormona responsable de la disminución de glucosa en la sangre.

Tras consumir alimentos ricos en azúcares, un plato de tallarines, por ejemplo, unos minutos después aumenta el nivel de glucosa sanguínea producto de la absorción intestinal. En este esquema se muestra de qué manera la glucosa captada por las células "beta" del páncreas estimula una serie de cambios en la membrana plasmática, que terminan con el ingreso de calcio, ion que promueve la exocitosis de vesículas llenas de insulina.



La insulina liberada a la sangre se une con receptores específicos disponibles en muchos tejidos, pero especialmente en el hígado, los músculos y el tejido adiposo. Una vez que la insulina se une a su receptor, éste se activa originando la síntesis y el traslado de transportadores de glucosa hacia la membrana plasmática. Estos transportadores permiten la entrada de glucosa a la célula, disminuyendo así su nivel en la sangre.



▲ Esquema de una célula secretora de insulina y de una célula blanco que muestra la relación recíproca que se da entre ambas células.

Procesos regulados por hormonas

Las hormonas regulan una serie de procesos, no solo en los animales, sino también en las plantas. Estas últimas no poseen glándulas; sin embargo, secretan diversas hormonas con las que controlan sus procesos de crecimiento, floración, germinación, maduración de frutos y caída de las hojas. Estas hormonas pueden ser liberadas en forma gaseosa o viajar por la savia a través de los vasos que comunican las diferentes partes de la planta.








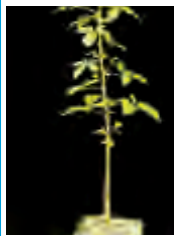


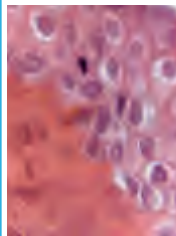

En el caso de los animales invertebrados, son frecuentes las hormonas secretadas por tejidos nerviosos o neurohormonas, capaces de regular procesos como la metamorfosis, la muda del exoesqueleto, la maduración sexual o los cambios de color destinados a camuflarse con el entorno. A diferencia de lo ocurrido en los vertebrados, las neurohormonas difunden a través de los tejidos.

En los animales vertebrados es posible encontrar una veintena de glándulas endocrinas, es decir, órganos destinados a la secreción de hormonas, las que pueden ser transportadas a través de la sangre.

Como vemos en el esquema, la lógica de comunicación hormonal es la misma pese a las diferencias entre los seres vivos y las funciones que se comparan.

Recuerda

- Las hormonas son sustancias químicas sintetizadas y secretadas por células especializadas de plantas y animales.
- En los vertebrados son transportadas a través de la sangre hasta células blanco, las que son capaces de responder a la hormona mediante una proteína receptora.

Hormonas	Etileno	Auxina	Ecdisona	Cromatoforotropina	T3 y T4	Hormona de crecimiento
Tejido u órgano secretor/ liberador de la hormona.	Todas las partes de la planta. 	Coleóptilo (yema de crecimiento de las plantas). 	Órganos neurosecretores de los insectos. 	Órganos neurosecretores de los crustáceos. 	Glándula tiroides. 	Glándula hipófisis. 
Transporte	En forma gaseosa.	Sistema vascular.	En forma gaseosa.	En forma gaseosa.	Sistema vascular.	Sistema vascular.
Tejido u órgano blanco.	 Frutos	 Tallos	 Exoesqueleto	 Células pigmentarias.	 Todos los tejidos.	 Huesos, músculos, hígado.
Efecto	Maduración	Alargamiento	Muda	Metamorfosis	Control del metabolismo	Crecimiento, síntesis de proteínas

La actividad hormonal depende del origen químico de la hormona

Para profundizar

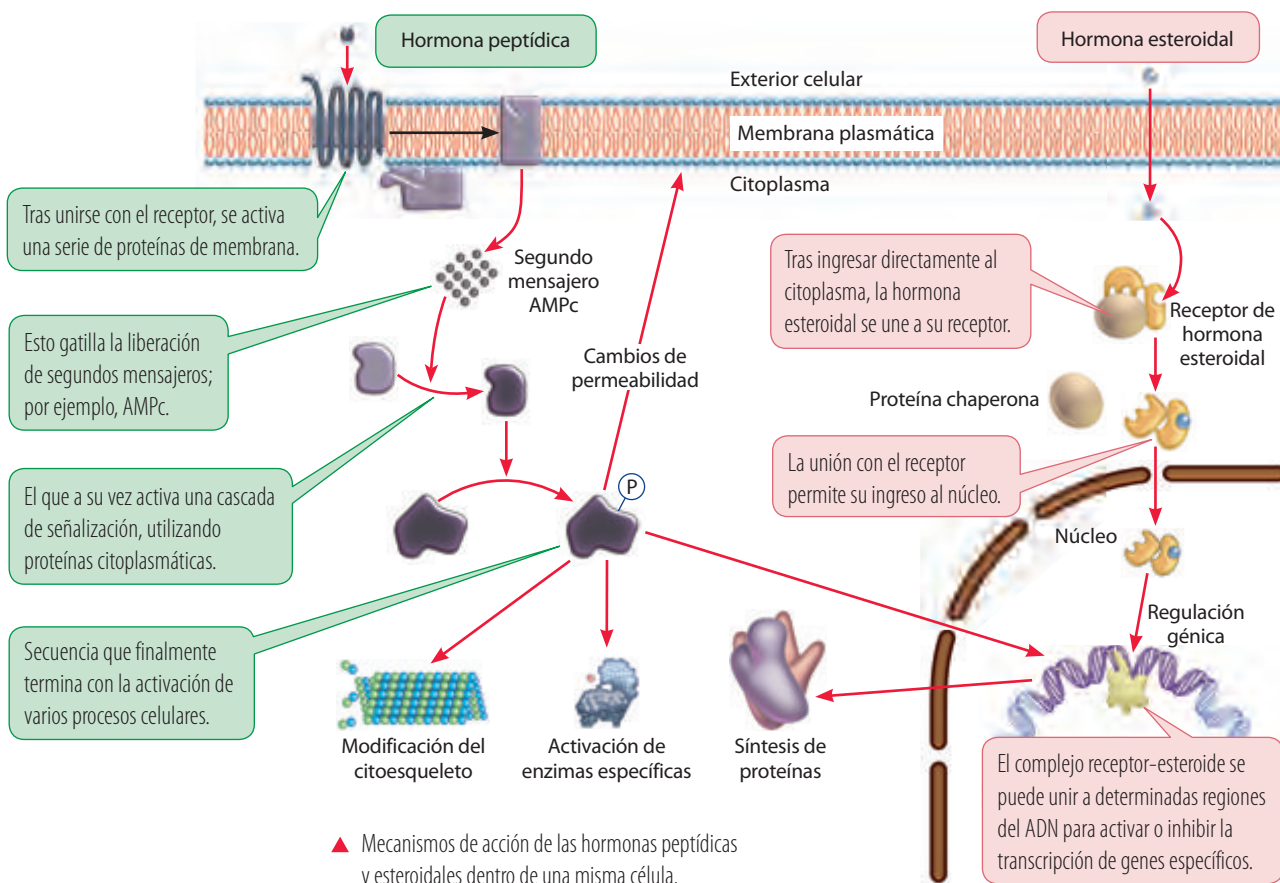
La primera hormona en ser aislada y sintetizada artificialmente fue la adrenalina. Lo curioso es que fue descubierta en cuatro ocasiones: por el polaco Napoleón Cybulski en 1895, por los estadounidenses William Bates en 1896 y John Jacob Abel en 1898, y finalmente por el japonés Jokichi Takamine en 1900. Este tipo de situación ocurría, en parte, por la deficiente distribución de la información científica a principios del siglo XX.

Las hormonas de origen peptídico

Las sustancias con función hormonal que son proteínas **no ingresan** a la célula blanco. Habitualmente poseen un tamaño que se lo impide. En su defecto, se unen a receptores ubicados en la membrana celular, lo que activa una cadena de reacciones que incluye proteínas periféricas y citoplasmáticas. Se usa el término **segundo mensajero** para referirse a la molécula que comunica la activación del receptor a distintas proteínas efectoras del citoplasma. El segundo mensajero más frecuente es **AMP cíclico**, un nucleótido derivado del ATP.

Al activarse las proteínas citoplasmáticas, se pueden desarrollar múltiples tareas al interior de la célula:

- Alterar la permeabilidad mediante proteínas transportadoras específicas.
- Cambiar la configuración del citoesqueleto.
- Activar la expresión de un gen determinado.
- Estimular la secreción de una nueva sustancia señalizadora.

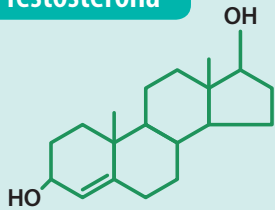


Las hormonas de origen esteroidal

Un grupo importante de hormonas entre los animales son los esteroides, derivados del colesterol. En este caso, su naturaleza apolar favorece el traspaso de la membrana en forma directa, por lo que estas hormonas ingresan al citoplasma sin mediación de otras moléculas (ver figura de página anterior).

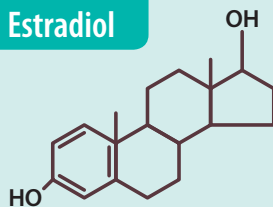
Las hormonas esteroidales encuentran a su receptor en el citoplasma, lo activan e ingresan junto con este al interior del núcleo. El receptor usualmente posee una región capaz de unirse al ADN y activar la expresión de genes específicos.

Testosterona



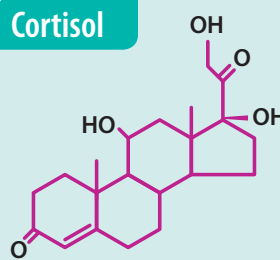
Es una hormona sexual presente en el hombre y en menor cantidad en la mujer. Es responsable de estimular el desarrollo de los órganos reproductores y de las características sexuales masculinas.

Estradiol



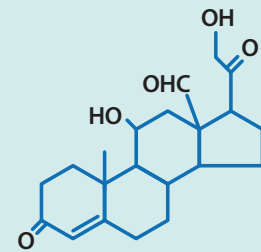
Es una hormona sexual presente en la mujer y en menor cantidad en el hombre. Perteneció al grupo de los estrógenos y es responsable de estimular el desarrollo de los órganos reproductores y de las características sexuales femeninas.

Cortisol



Es la principal hormona que el organismo segrega en respuesta al estrés, siendo además la responsable de regular la presión arterial y las defensas.

Mineralocorticoides



Estas hormonas regulan la concentración de sales, especialmente sodio, potasio y cloruros. En este caso se observa la aldosterona.

▲ Algunas hormonas esteroidales.

Actividad

1. Responde las siguientes preguntas de aplicación.

Una **misma hormona** muestra los siguientes efectos en tres tipos de células distintas:

Célula	Efecto
Muscular	Aumento de su gasto energético.
Glandular	Secreción
Epitelial	Mitosis

- Tomando este ejemplo y considerando la serie de cambios experimentados durante la adolescencia, ¿es posible que una misma hormona sexual tenga efectos diferentes en tejidos distintos? Ejemplifica a partir de tus propios cambios.
- Considerando los preparativos previos a la mitosis desarrollados por la célula, específicamente la duplicación de los centríolos y la condensación del ADN mediante proteínas histonas, explica de qué forma una hormona puede activar la síntesis de proteínas específicas para provocar la mitosis.
- De acuerdo a lo aprendido sobre mecanismos de acción, ¿cómo sería posible que una misma hormona tenga efectos distintos en células diferentes? Considera: el receptor, las proteínas o enzimas citoplasmáticas y la activación de genes específicos.

Recuerda

- El funcionamiento de una célula puede verse afectado por las hormonas a las que es sensible.
- La forma en que una hormona ejerce su acción en la célula blanco depende del origen químico de la hormona y de la presencia de receptores específicos en la célula.
- Una misma hormona puede cumplir varias funciones, tanto al interior de una célula como al ser recibida por varios tipos celulares diferentes.

I. Marca la alternativa correcta.

1 ¿Qué es lo que define si una secreción es endocrina o exocrina?

- A. Su naturaleza química.
- B. La forma en que es transportada.
- C. El tipo de organelo que la produce.
- D. La cantidad de células que la necesitan.
- E. Su destino, hacia dentro o fuera del cuerpo.

2 ¿Cuál de las siguientes definiciones se acerca más al concepto de hormona?

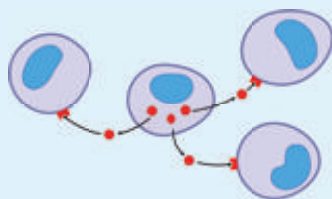
- A. Proteína que favorece el crecimiento de un determinado tejido del organismo.
- B. Molécula que posibilita el desarrollo de las características sexuales de una especie.
- C. Estructura orgánica que produce sustancias regulatorias para el cuerpo humano.
- D. Sustancia liberada por una glándula endocrina, que posee efectos regulatorios en otros tejidos.
- E. Proteínas o lípidos que permiten la síntesis proteica de la mayor parte de los tejidos del cuerpo.

3 ¿Qué significa que una célula posea receptores para tres hormonas diferentes?

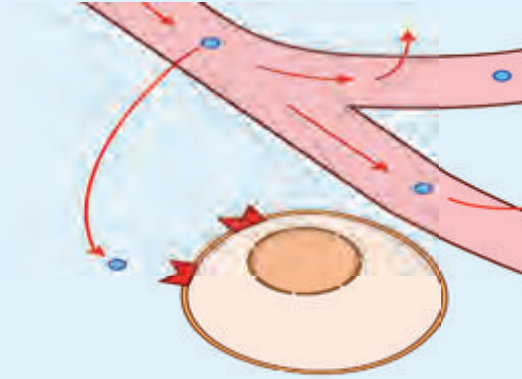
- A. Que es capaz de activarse por tres hormonas.
- B. Que antes tuvo otras funciones.
- C. Que esta célula posee secreción endocrina.
- D. Que puede regular tres glándulas.
- E. Que es capaz de secretar al menos tres hormonas.

4 ¿Cómo se denomina el tipo de comunicación celular representada en el esquema?

- A. Exocrina.
- B. Anficrina.
- C. Paracrina.
- D. Autocrina.
- E. Endocrina.



5 ¿Qué representa este esquema?



- A. La exocitosis de una hormona.
- B. La endocitosis de una hormona.
- C. La formación de un receptor de membrana.
- D. La detección de una hormona por parte del receptor.
- E. El acercamiento de una hormona a un receptor ajeno.

6 ¿Qué hormonas se pueden hallar en la sangre que llega a la tiroides?

- A. Todo tipo de hormonas.
- B. Solo hormonas tiroideas.
- C. Solo hormonas que activan la tiroides.
- D. Solo hormonas relacionadas con el metabolismo.
- E. Ninguna, pues cerca de los órganos, las hormonas salen a unirse con los receptores.

7 Entre las siguientes alternativas, ¿cuál podría ser la primera evidencia observable de la acción de una hormona en una célula?

- A. División mitótica.
- B. Cambio de forma o tamaño.
- C. Liberación de otras hormonas.
- D. Producción de vesículas de exocitosis.
- E. Cambios en la síntesis de proteínas.

8 Selecciona la alternativa que relacione correctamente la hormona con su órgano blanco:

- A. Etileno – hojas.
- B. Auxinas – coleóptilo.
- C. Ecdisona – exoesqueleto.
- D. Hormona de crecimiento – tiroides.
- E. Cromatoforotropina – cabeza de crustáceos.

9 Ordena correctamente los procesos que se llevan a cabo para que una hormona peptídica tenga el efecto requerido en una célula.

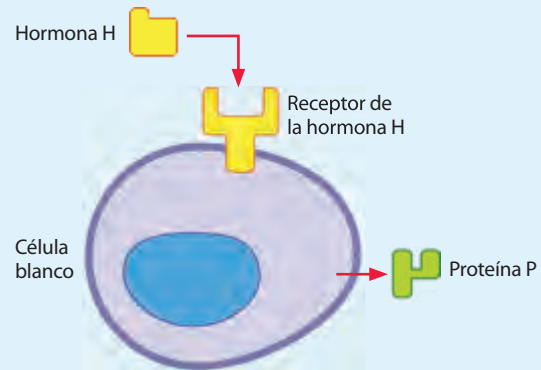
- I. Activación de varios procesos celulares.
- II. Unión entre la hormona y su receptor de membrana.
- III. Activación de proteínas específicas en el citoplasma.
- IV. Estimulación de un segundo mensajero.

- A. I – II – III – IV.
- B. II – IV – I – III.
- C. I – III – II – IV.
- D. II – IV – III – I.
- E. III – II – I – IV.

10 ¿En qué se parecen los receptores hormonales?

- A. Son proteínas.
- B. Son esteroides.
- C. Se ubican en el citoplasma.
- D. Están siempre unidos a una hormona.
- E. Se ubican en la membrana plasmática.

11 Una proteína P es secretada de una célula blanco solo en presencia de la hormona H, tal como se representa en la figura.



Si se cultivan células blanco en presencia de la hormona H y la sustancia S, disminuye notablemente la cantidad de proteína P secretada. ¿Qué particularidad debe tener la sustancia S?

- A. Ser un esteroide.
- B. Ser idéntica a la proteína P.
- C. Ser similar al receptor de H.
- D. Poder unirse al receptor de H.
- E. Ser producida por la célula blanco.

II. Responde las siguientes preguntas.

1 Los tratamientos que consisten en aplicar hormonas sintéticas incluyen hormonas esteroidales, como la progesterona, y hormonas peptídicas, como la de crecimiento. La primera se puede consumir oralmente, mientras que la segunda se debe inyectar. ¿A qué se deberá esta diferencia? Fundamenta.

2 ¿En qué caso conviene que una hormona sea liberada en forma paracrina? Ejemplifica.

Yo me evalúo

Marca con un los aprendizajes logrados hasta ahora y evalúa tu desempeño.

Pude reconocer que las hormonas son secreciones que modulan la actividad celular.

Relacioné la actividad de una hormona con su origen químico.

Pude asociar los procesos realizados por las células y los tejidos con las señales que reciben y liberan.

Consecuencias de la acción hormonal







Breve perspectiva histórica mediante un experimento clásico

La castración, técnica clásica de manipulación endocrina, consiste en la eliminación de las gónadas con el objetivo de anular las posibilidades de reproducción, lo que provoca infertilidad, e inhibir la acción de las hormonas sexuales, lo que influye, si esto ocurre antes de la madurez, en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios de un individuo. **Hasta mediados del siglo XIX se creía que esta pérdida de los caracteres secundarios se debía a una alteración en el sistema nervioso. Un experimento realizado en Alemania, en el que se utilizaron gallos domésticos, dio otra respuesta y, aunque no tuvo grandes repercusiones en su época, fundó las bases de la endocrinología.** Veamos en qué consistió su hallazgo.

Antecedentes

Un estudio publicado en 1849 por Arnold Adolph Berthold (1803-1861), profesor de Fisiología de la Universidad de Göttingen, en Alemania, se considera la primera prueba experimental de la función endocrina.

En ese entonces lo que se sabía era que cuando se castraba a un gallo, se modificaba el tamaño de su cresta (disminuía) y de su cola (aumentaba).

Grupos	Inicio del experimento	Procedimiento	Resultados
Primer grupo.		Castración	
Segundo grupo.		Castración y reimplantación de testículos.	
Tercer grupo.		Castración y reimplantación cruzada de testículos.	

▲ Procedimientos y resultados obtenidos por Berthold en su experimento de castración y reimplantación testicular.

¿Qué hizo?

Berthold utilizó seis pollos, todos machos, distribuidos en tres grupos de dos individuos cada uno.

- Primer grupo: castró a los dos individuos.
- Segundo grupo: castró a los dos individuos, pero les reimplantó los testículos en sus respectivas cavidades abdominales.
- Tercer grupo: castró a los dos individuos, pero a cada uno le trasplantó un testículo del otro individuo en su cavidad abdominal.

¿Qué resultados obtuvo cuando crecieron?

Berthold observó y analizó las características anatómicas y las conductas de apareamiento y lucha de los gallos en estudio.

- Primer grupo: los adultos no presentaban morfología de gallo. Se comportaban más como gallinas que como gallos y presentaban pequeñas crestas y grandes colas.
- Segundo grupo: los gallos resultaban ser aparentemente normales en morfología y conducta.
- Tercer grupo: los gallos resultaban ser aparentemente normales en morfología y conducta.

A partir de estos hechos, Berthold dedujo que, como los testículos trasplantados en la cavidad abdominal no tenían conexiones nerviosas con el gallo, debía existir alguna sustancia producida en los testículos trasplantados en el abdomen que debía pasar a la sangre del gallo castrado, y transportarse hasta la cresta y la cola para regular su tamaño. Cuando sacrificó a las aves, encontró que los testículos que él había insertado se habían unido al intestino, donde recibían un buen suministro de sangre y estaban en buen estado. Confirmó, entonces, que debía haber alguna sustancia dentro de los testículos que afectaba la conducta de los gallos e influía en el desarrollo de las características sexuales secundarias. Concluyó que esta sustancia era transportada a través de la sangre, porque los vasos sanguíneos eran los únicos canales que conectaban los testículos trasplantados con el resto del cuerpo del gallo.

¿Qué pudo concluir?

- Que los testículos podían ser trasplantados.
- Que los testículos implantados en el abdomen estaban vascularizados por el intestino.
- Que los testículos segregaban una sustancia a la sangre que tenía relación con las características morfológicas y conductuales de los gallos. Planteaba, así, un control no nervioso de estas características. Hoy se sabe que esa sustancia presente en los testículos es la hormona esteroidal conocida como **testosterona**.

Lo que era válido para las gónadas masculinas lo fue también para las femeninas. En 1896, el ginecólogo austriaco Emil Knauer (1867-1935) probó la existencia de las secreciones sexuales femeninas al trasplantar ovarios de animales plenamente maduros en hembras animales inmaduras, que mostraron rápidamente las características sexuales maduras. Estos resultados fueron ignorados hasta 1910, cuando Arthur Biedl (1869-1933), médico húngaro, publicó el primer estudio integral sobre las glándulas y sus secreciones.

Para profundizar

Como Starling (1905) había denominado con el nombre de “hormonas” a las sustancias que se transportaban por la sangre y excitaban o regulaban diferentes tejidos, Pezard y Caridroit (1926) denominaron “hormona testicular” a la sustancia que se transportaba por la sangre desde los testículos a los órganos sexuales secundarios y que hoy conocemos como testosterona.

Actividad

1. Luego de leer estas páginas, **aplica** lo aprendido y realiza la siguiente actividad de manera individual.
 - a. Define con tus propias palabras el concepto de hormona.
 - b. Según lo estudiado, ¿qué características de los gallos dependen de la acción de la testosterona?
 - c. ¿Qué importancia tiene el primer grupo en el experimento?
 - d. Utilizando un destacadador, **subraya** en esta página la interpretación que hizo Berthold de sus resultados para llegar a concluir que los testículos segregaban una sustancia a la sangre.
2. Lee el siguiente procedimiento experimental y responde.

En 1926, Pezard y Caridroit cortaron dos fragmentos de la cresta de un gallo normal y los trasplantaron en la espalda de ese mismo gallo. Encontraron que el tamaño de las crestas trasplantadas no se modificaba. Luego trasplantaron los fragmentos de la cresta de un gallo normal en la espalda de un gallo castrado.

 - a. Considerando los resultados obtenidos por Berthold ochenta años antes, ¿qué debió suceder en este caso? **Explica**.

Órganos, tejidos y células secretoras

Para profundizar

La mayor parte de las hormonas humanas están presentes en todos los demás mamíferos. De hecho, varias hormonas humanas fueron descubiertas o aisladas previamente en otros animales.

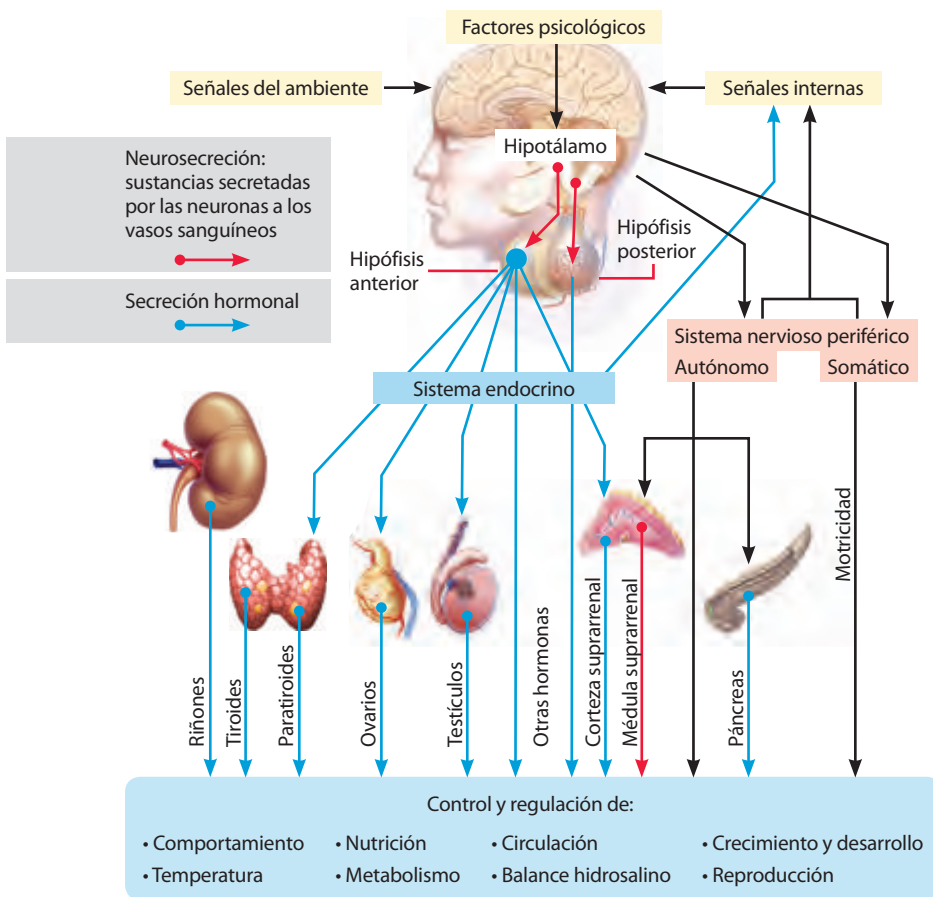
En virtud de la tradición, intentamos comprender el funcionamiento de nuestro cuerpo a partir de la estructura y actividad de cada una de sus partes. De hecho, muchos aspectos culturales de Occidente mantienen esta lógica: las especialidades médicas, los capítulos de los libros, las asignaturas de carreras biológicas, etc. Al tener una dolencia, tendemos a buscar la causa en un solo órgano específico, como si la relación fuese siempre lineal y directa.

La biología actual nos habla de sistemas integrados, en donde todo fenómeno orgánico puede ser producto de causas múltiples, con varios órganos responsables. Probablemente donde mejor se evidencia y comprende esta

dinámica sea en el **sistema endocrino**. Estructuralmente no está ubicado en un lugar específico del cuerpo, sus secreciones producen efectos en todos los demás órganos y, más aún, tales interacciones no son regulares o fijas. Por el contrario, se modifican según las condiciones externas e internas del organismo.

Nos consideramos diferentes al resto de los seres vivos, en parte, porque podemos tomar decisiones sobre lo que nos ocurre. Sin embargo, el sistema endocrino junto con la función nerviosa se ocupan de la inmensa mayoría de las tareas **autónomas** que se requieren llevar a cabo diariamente. La digestión, el metabolismo, el crecimiento, el desarrollo físico y mental, la reproducción y la adaptación a nuevas condiciones son algunas de las tareas que podemos desatender y que son desarrolladas por nuestras hormonas.

En la figura lateral se mencionan las glándulas endocrinas y la gran diversidad de funciones generales que regulan en forma coordinada con el sistema nervioso.



▲ Principales componentes responsables de las funciones autónomas del organismo.

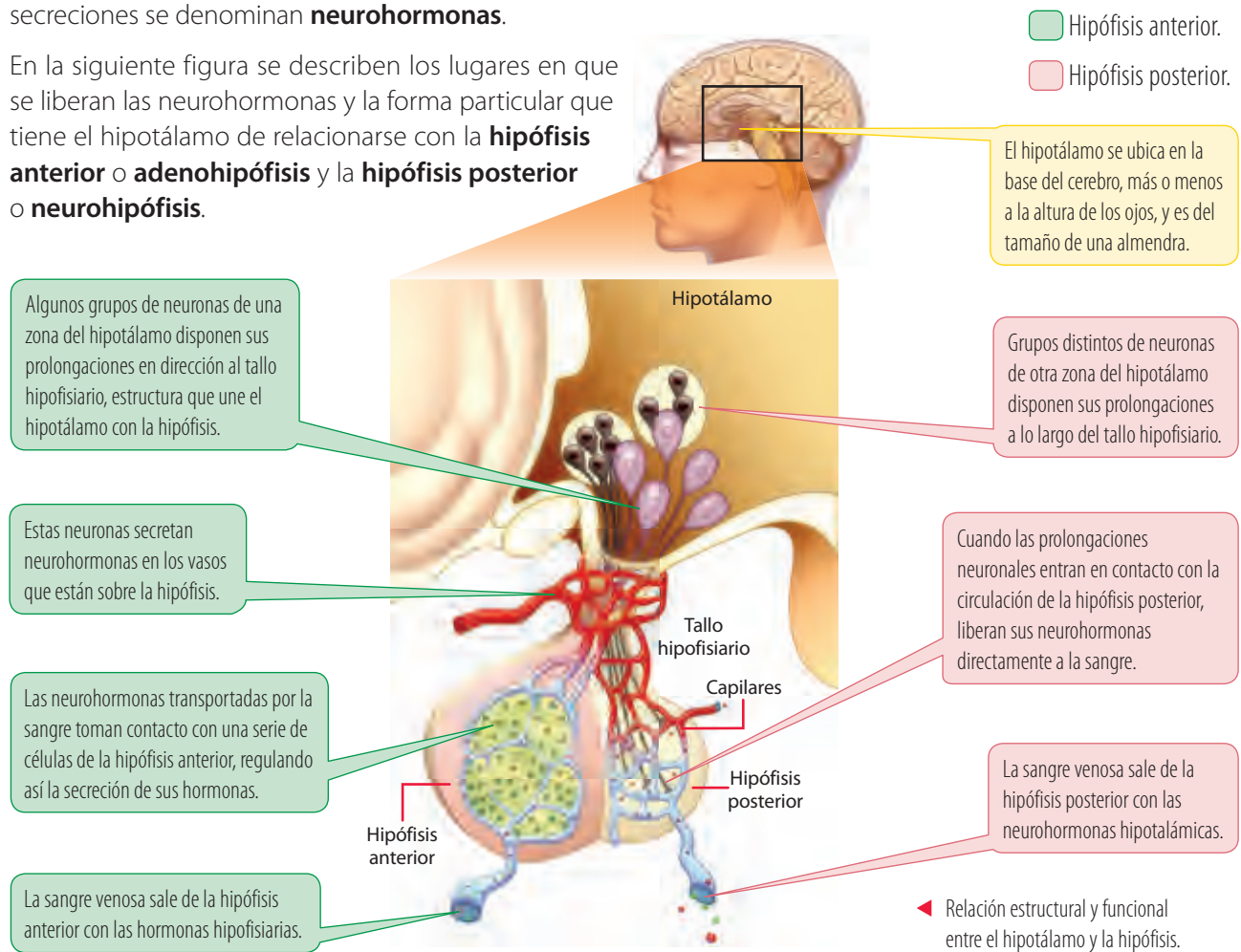
Actividad

1. El sistema nervioso transmite impulsos que viajan miles de veces más rápido y directo que las hormonas por la sangre. **Identifica** cuáles serían argumentos adecuados para fundamentar la existencia del sistema endocrino?
 - a. Hay mecanismos que no requieren rapidez, sino mantención en el tiempo.
 - b. Hay procesos que no buscan precisión, sino poder afectar a un gran número de células.
 - c. En muchos casos el organismo posee un sistema alternativo para las mismas funciones.
 - d. Existen respuestas que no se necesita que sean inmediatas.

El hipotálamo, la glándula formada por neuronas

El **hipotálamo** es la glándula endocrina que coordina el funcionamiento de la mayor parte de las demás glándulas y lo hace a través de la **hipófisis**. Anatómicamente, forma parte del cerebro, está constituido por neuronas y sus secreciones se denominan **neurohormonas**.

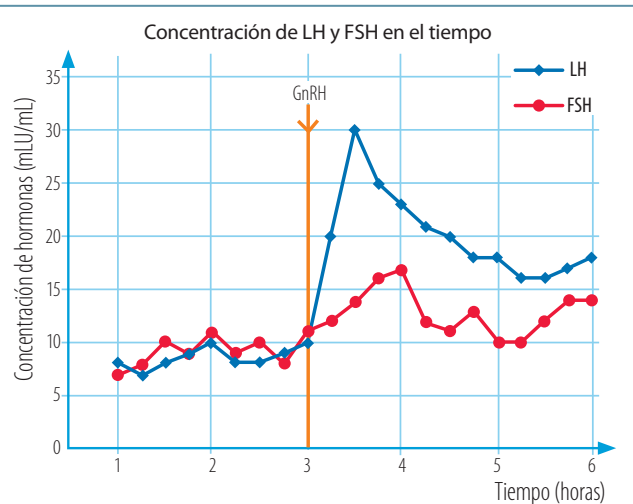
En la siguiente figura se describen los lugares en que se liberan las neurohormonas y la forma particular que tiene el hipotálamo de relacionarse con la **hipófisis anterior** o **adenohipófisis** y la **hipófisis posterior** o **neurohipófisis**.



Actividad

1. El gráfico muestra los resultados de un experimento que consistió en inyectar a un grupo de mujeres 150 µg de una hormona sintética idéntica a la GnRH (neurohormona hipotalámica). Tras la inyección se midió la concentración de LH y FSH, dos hormonas de la hipófisis anterior. **Interpreta** los resultados y luego responde.

- ¿Cuál parece ser el efecto de GnRH sobre la secreción de las hormonas hipofisiarias durante la primera hora tras la inyección?, ¿qué sucede después?
- ¿Sería correcto decir que las células secretoras de LH y FSH poseen receptores para GnRH? **Justifica**.



El hipotálamo y la hipófisis, dos pequeñas estructuras que regulan tareas en todo el cuerpo

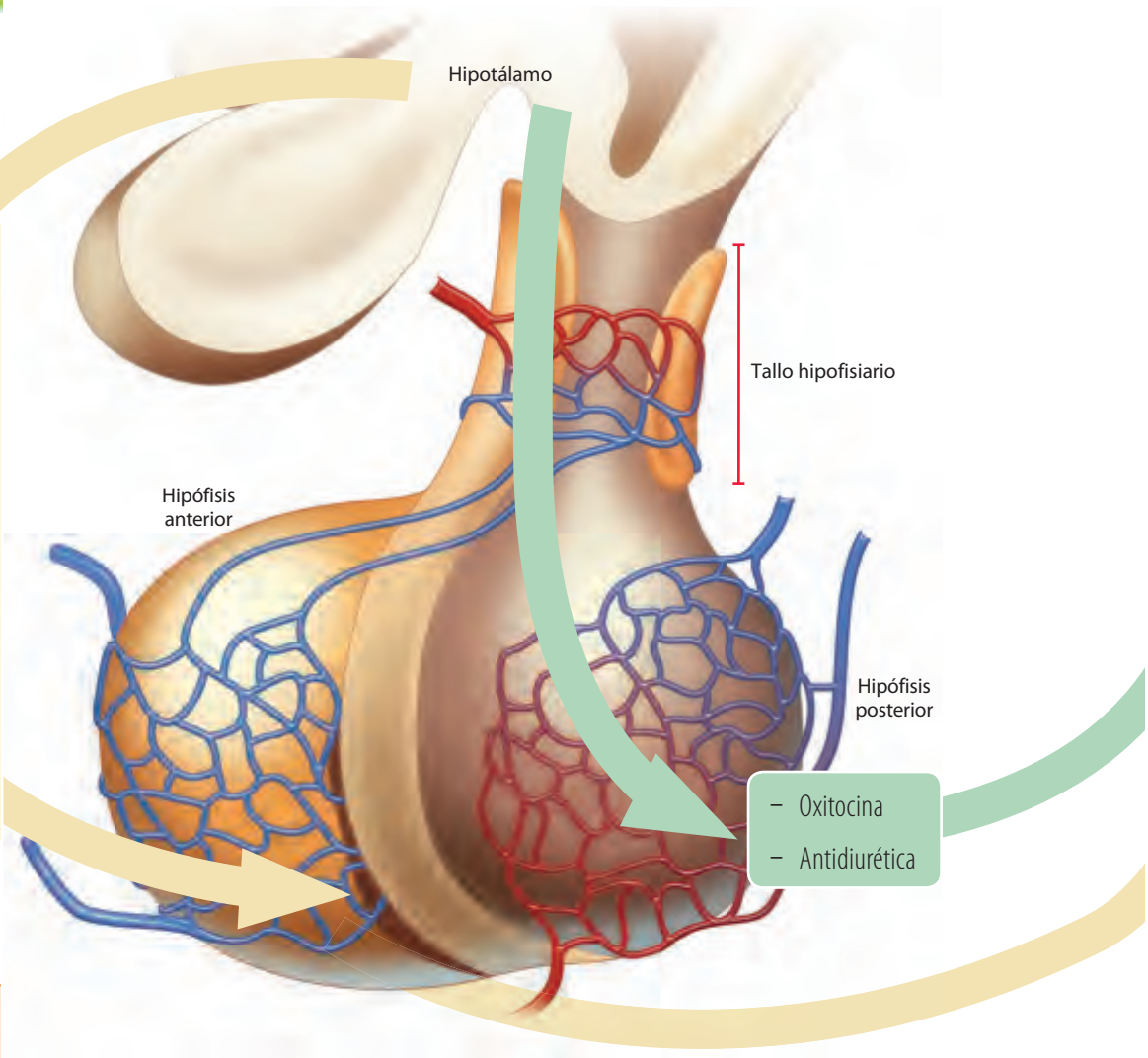


▲ Células de la hipófisis anterior. A: célula secretora de adrenocorticotrofina y B: célula secretora de hormona de crecimiento.

Antes de conocer el potencial endocrino del hipotálamo durante la década de 1960, era la **hipófisis** o **glándula pituitaria** la que gozaba del título de “glándula principal”. Efectivamente, es la que coordina el trabajo de las glándulas tiroideas, suprarrenal, de ovarios y testículos, y actúa además sobre glándulas exocrinas y otros tejidos. La función de la hipófisis está determinada por el hipotálamo, que, como veremos más adelante, tampoco es una glándula independiente.

El eje hipotálamo - hipófisis

- Neurohormonas o factores liberadores de:
- Tirotrófina.
 - Adrenocorticotrofina.
 - Gonadotrofinas.
 - Hormona de crecimiento.
 - Prolactina.
- Neurohormonas o factores inhibidores de la secreción de:
- Prolactina.
 - Hormona de crecimiento.
 - Hormona estimulante de los melanocitos.

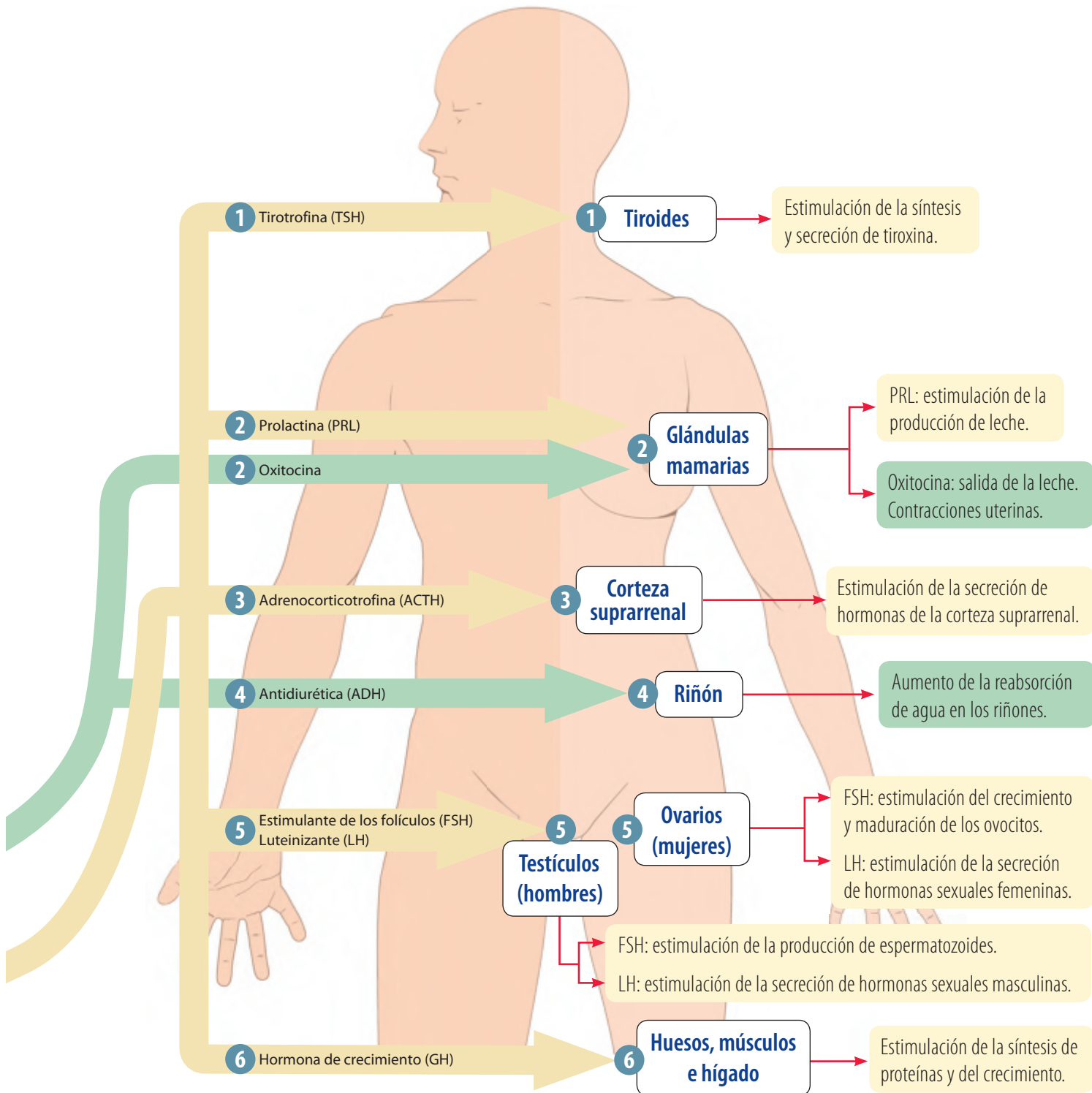


Recuerda

- Las hormonas regulan una gran variedad de funciones autónomas.
- El hipotálamo y la hipófisis producen varias hormonas, algunas de las cuales regulan a otras glándulas endocrinas.

En la figura de la página anterior se aprecia que la hipófisis está unida al hipotálamo mediante una angosta estructura, el tallo hipofisiario, por donde pasan vasos sanguíneos y prolongaciones neuronales. Pese a tener el tamaño de un poroto, la hipófisis sintetiza y secreta más de siete hormonas distintas. En la figura de esta doble página se resume en detalle la relación hormonal entre hipotálamo e hipófisis, así como los órganos y tejidos blanco de esta última.

Órganos efectores de las hormonas hipofisarias



Actividad

- Según el esquema, **clasifica** las hormonas de la hipófisis anterior en dos grupos: las que activan a otras glándulas endocrinas (que llamaremos hormonas tróficas) y las que afectan a otros tipos de órganos.

Para profundizar

La principal fuente de yodo del ser humano es la sal de mesa yodada. Existe un esfuerzo para que todos los países elaboren y consuman este producto, pues la falta de yodo produce alteraciones metabólicas graves en los adultos, y durante el embarazo puede generar deficiencia mental en el niño o niña en gestación.



▲ La yodación de la sal de mesa en Chile es obligatoria desde 1979.

Tiroides, guardiana del metabolismo

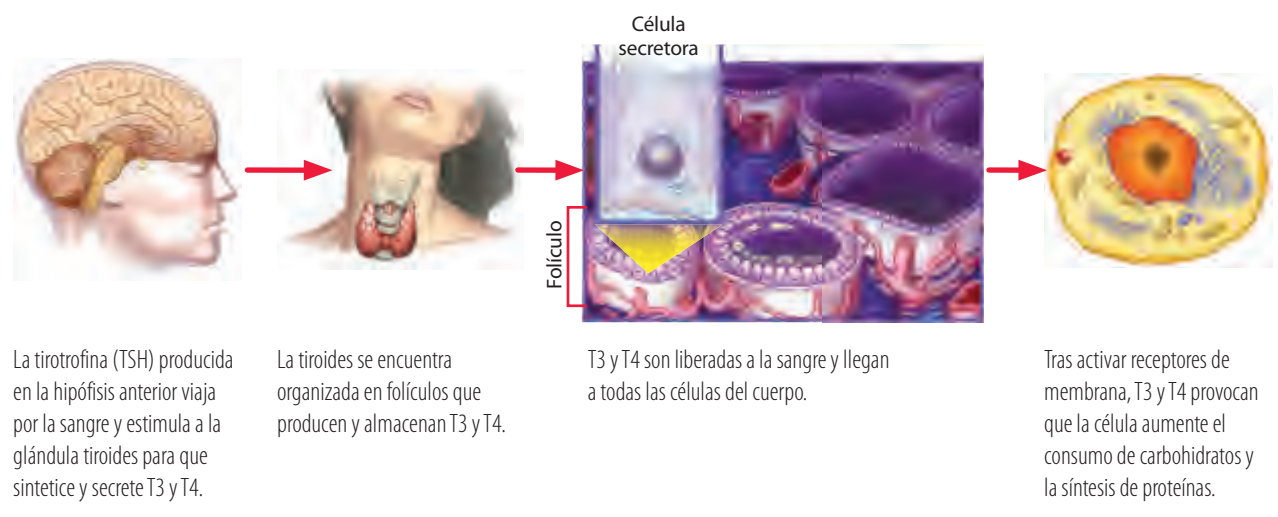
La **tiroides**, ubicada en la parte delantera de la tráquea, es una glándula endocrina que secreta tres hormonas: triyodotironina, tiroxina y calcitonina.

La **triyodotironina (T3)** y la **tiroxina (T4)** están formadas por el aminoácido tirosina unido a 3 y 4 átomos de yodo, respectivamente. Estas hormonas se ocupan de varios mecanismos relativos al metabolismo, aumentando el gasto energético y promoviendo el uso de carbohidratos en vez de grasas por parte de las células. También inducen la captación de aminoácidos para la síntesis de proteínas, especialmente en etapas de mayor crecimiento.

La **calcitonina** es una hormona hipocalcemiante, es decir, promueve el uso de calcio sanguíneo por parte de las células, lo que disminuye su concentración plasmática. Incluso en un adulto, los huesos están permanentemente remodelando su estructura. La calcitonina es responsable de activar a las células que organizan el nuevo material óseo y de inhibir a las células que degradan el hueso existente.

Otros procesos que requieren suministro de calcio son la contracción muscular y la comunicación neuronal. Para evitar que el nivel de calcio disminuya peligrosamente, otra hormona, la **parathormona**, estimula la liberación del calcio almacenado en los huesos hacia la sangre. Esta hormona es secretada por la **paratiroides**, glándula incrustada en la cara interna de la tiroides.

Estimulación de la secreción y efecto de T3 y T4



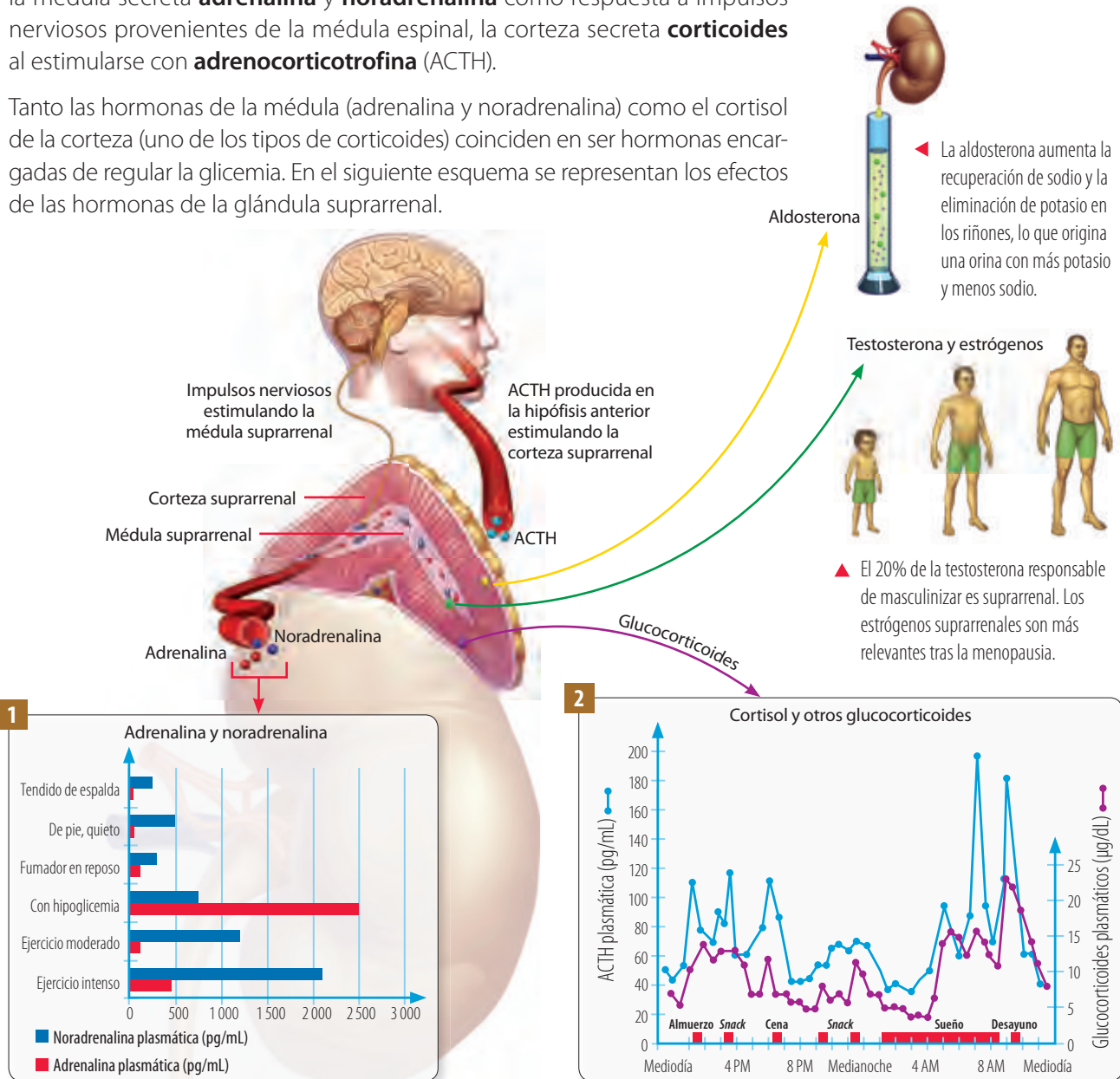
Actividad

1. La exposición al frío estimula la liberación de la hormona liberadora de tirotrófina. ¿De qué manera este mecanismo podría resolver el problema del frío? **Explica.**
2. ¿Qué hormona de la tiroides debería aumentar en la sangre como consecuencia del consumo de alimentos ricos en calcio? **Explica.**

Glándula suprarrenal, dos en una

La glándula suprarrenal, ubicada sobre cada uno de los riñones, está organizada en médula y corteza, las que se originan y funcionan de manera distinta. Mientras la médula secreta **adrenalina** y **noradrenalina** como respuesta a impulsos nerviosos provenientes de la médula espinal, la corteza secreta **corticoides** al estimularse con **adrenocorticotrofina** (ACTH).

Tanto las hormonas de la médula (adrenalina y noradrenalina) como el cortisol de la corteza (uno de los tipos de corticoides) coinciden en ser hormonas encargadas de regular la glicemia. En el siguiente esquema se representan los efectos de las hormonas de la glándula suprarrenal.



▲ Como se ve en el gráfico, las hormonas de la médula suprarrenal son muy sensibles a la falta de glucosa sanguínea (hipoglucemia) y a la práctica de ejercicio.

▲ El gráfico muestra la estrecha relación existente entre la ACTH hipofisiaria y los glucocorticoides, como el cortisol. Se aprecian además las fluctuaciones de ambas hormonas a lo largo del día.

Actividad

1. **Interpretando** los datos del gráfico (2), responde.

a. ¿Cuál sería la causa de las fluctuaciones de la secreción de glucocorticoides a lo largo del día?

b. ¿Podría plantearse que el aumento de glucocorticoides produce un aumento instantáneo del nivel de ACTH?, ¿o es al revés? **Argumenta.**

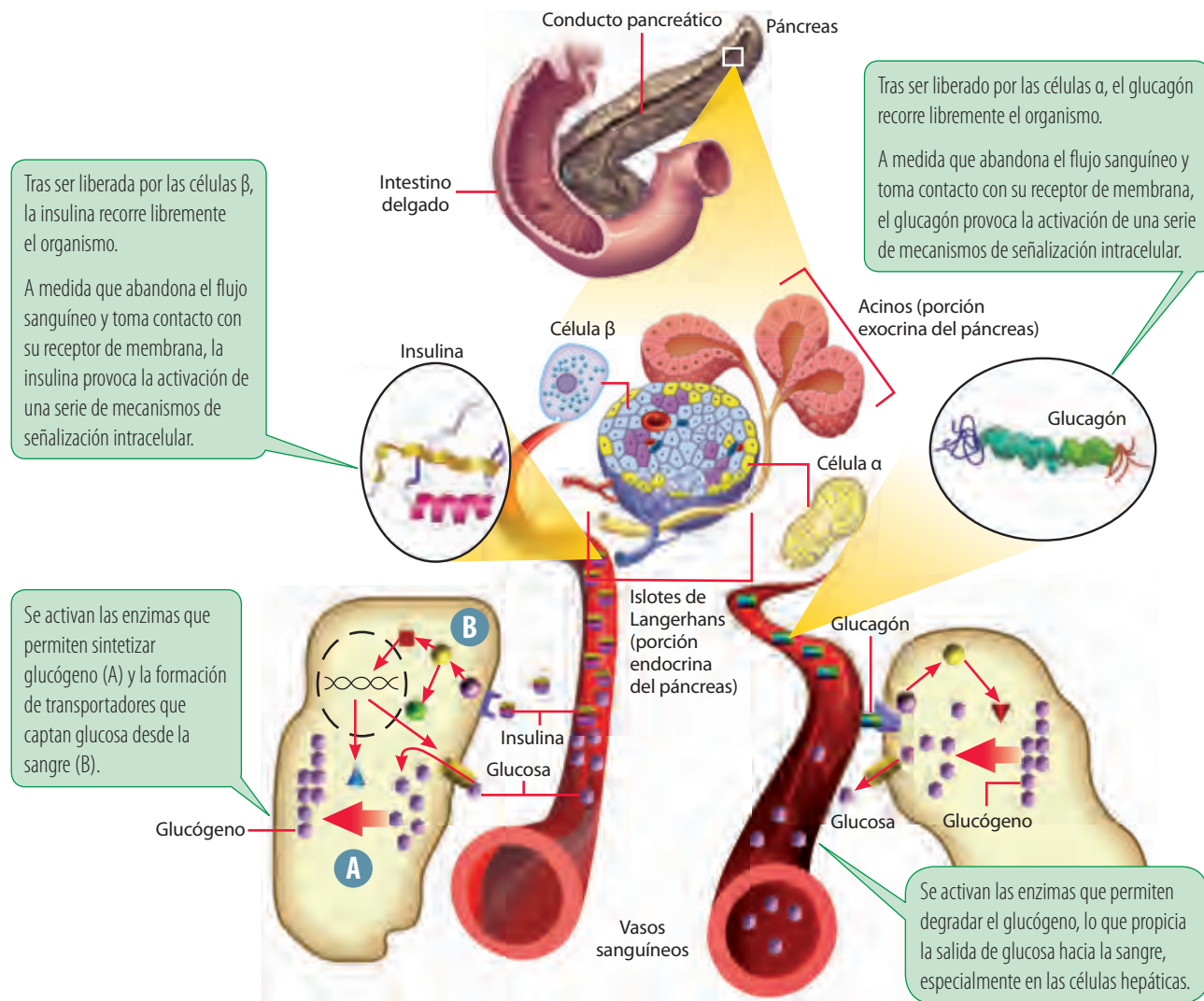
Páncreas endocrino, el choque de dos antagonistas

Para profundizar

Frederick Banting y John Macleod recibieron el Premio Nobel de Medicina y Fisiología por descubrir la insulina en 1923.

Como vimos en la figura inferior de la página 87, el **páncreas** es una glándula **anfícrina**, es decir, secreta enzimas hacia una cavidad interna, el intestino, y hormonas hacia la sangre. Las hormonas las libera desde los **islotos de Langerhans**: las células α secretan **glucagón**, las β , **insulina** y las δ , **somatostatina**. La insulina y el glucagón tienen el papel más relevante en la regulación de los niveles de glucosa plasmática, tal como se ilustra en la siguiente figura.

Secreción y efectos de dos hormonas pancreáticas



Actividad

1. A partir del **análisis** del esquema, responde las siguientes preguntas. Vuelve a mirar el esquema de la página 90.
 - a. ¿Cuál es el estímulo que activa la secreción de insulina en las células β ? **Explica.**
 - b. **Diseña** un gráfico que muestre la relación de las concentraciones a lo largo de un día entre la insulina y el glucagón.
 - c. La somatostatina es capaz de inhibir la secreción de las células α y β de forma paracrina (comunicación entre células vecinas). ¿Qué sentido tendrá este mecanismo? **Explica.**

Células endocrinas por todas partes

Además de las glándulas endocrinas fácilmente reconocibles, existe una gran variedad de órganos, tejidos y grupos de células especializados en la síntesis y secreción de hormonas con diversos fines. Salvo las prostaglandinas, que provienen de los ácidos grasos, se trata de péptidos o aminoácidos modificados que regularmente se liberan en forma paracrina, es decir, afectan a células cercanas.

Glándula pineal

Ubicada en el diencefalo, opuesta al hipotálamo, produce **melatonina**, hormona que colabora con la regulación de los ciclos biológicos.

Estómago

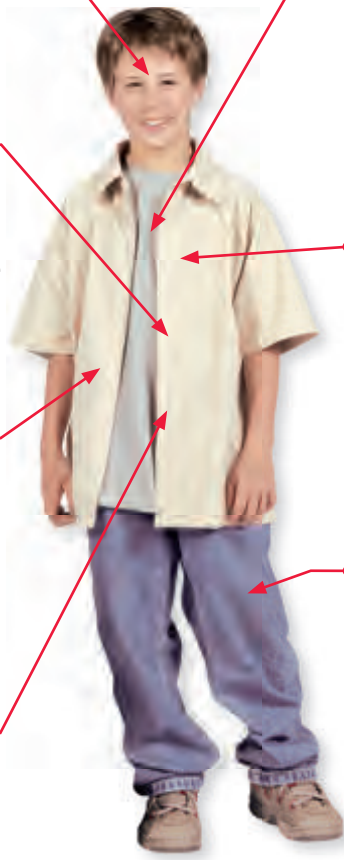
Desde las células G, ubicadas en las glándulas gástricas, se secreta **gastrina**, hormona que estimula la liberación de jugos digestivos y los movimientos del estómago.

Tejido adiposo

Produce y libera la hormona **leptina**, reguladora fundamental de la masa corporal, de la ingesta de alimentos y del control energético en general.

Intestino

Desde las células enteroendocrinas, ubicadas en glándulas intestinales, se secreta **secretina** y **colecistoquinina**, ambas relacionadas con la activación del páncreas y la vesícula biliar.



▲ Otros órganos y tejidos secretores de hormonas.

Timo

Dispuesto bajo el esternón, entre el corazón y la tiroides, libera **timosinas**, hormonas capaces de activar a los linfocitos T, parte importante de la respuesta defensiva.

Corazón

Libera el **factor natriurético auricular** desde células de las aurículas, con el fin de aumentar la eliminación de sodio por parte de los riñones.

Muchas células producen además **prostaglandinas**, sustancias de origen lipídico, secretadas de manera paracrina o autocrina (la misma célula libera la sustancia que requiere), que tienen varios efectos: producir inflamación, contraer la musculatura lisa y participar en la regulación de la temperatura.

Ovarios (mujeres)

Producen estrógenos, responsables del desarrollo del endometrio y del comportamiento sexual femenino, y también secretan progesterona, hormona fundamental para el desarrollo del embarazo. Ambas hormonas colaboran además en la mantención de los caracteres sexuales femeninos.

Testículos (hombres)

La principal hormona secretada por los testículos es la testosterona, que estimula el desarrollo y la mantención de los caracteres sexuales masculinos, además de la producción de espermatozoides.

Recuerda

- Las hormonas de la tiroides regulan el metabolismo y los niveles de calcio en la sangre.
- Las hormonas de las glándulas suprarrenales regulan la glucosa sanguínea en situaciones de estrés, los niveles de algunas sales minerales y participan también de la función sexual.
- Las hormonas pancreáticas son las principales reguladoras de la glicemia.

Actividad

1. **Determina** qué hormona debería inyectarse ante los síntomas mostrados por algunos animales de laboratorio:

Disminución excesiva de la calcemia (Ca^{2+}) - Exceso de sodio en el plasma sanguíneo - Hiperglicemia - Manifestaciones de frío, como tiritones - Excesiva pérdida de agua a través de la orina.

Etapas experimentales

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

¿Cómo se relacionan los resultados con el procedimiento?

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

Pasos para desarrollar un procedimiento y obtener resultados

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

A principios del siglo XX, una de las principales motivaciones para investigar el sistema endocrino era la búsqueda de tratamientos médicos a enfermedades de origen glandular, como el hipotiroidismo o los problemas de crecimiento. Se conocían al menos dos alteraciones que afectaban a la glándula suprarrenal: la insuficiencia adrenal, que por falta de corticoides provocaba debilidad, pérdida de masa corporal y fatiga, y el síndrome de Cushing, caracterizado por un alza excesiva de masa, diabetes, osteoporosis e hipertensión arterial. En este contexto histórico, resultaba razonable preguntarse qué permite que la liberación de glucocorticoides desde la corteza suprarrenal se mantenga dentro de rangos compatibles con la vida.

En 1938, el médico estadounidense Dwight Ingle diseñó una serie de experimentos para evaluar el papel de la hipófisis en la regulación de la secreción de glucocorticoides y estudiar la posibilidad de que los niveles de hormonas suprarrenales incidiesen “de vuelta” en la hipófisis. Entonces se sabía que la hipófisis ejercía algún tipo de efecto “trófico” sobre otras glándulas, vale decir, que esta era responsable de su crecimiento. Se desconocía, sin embargo, qué era lo que controlaba a su vez la secreción hormonal de la hipófisis.

Planteamiento del problema y formulación de hipótesis

A partir de las investigaciones de Ingle, en esta actividad resolveremos el siguiente problema:

¿Qué es lo que controla la liberación de glucocorticoides, de manera que sus niveles sanguíneos no aumenten ni disminuyan demasiado?

Como se conocía que era la hipófisis la responsable de la liberación de las hormonas suprarrenales, las respuestas tentativas al problema de investigación se enfocaron en la relación entre la hipófisis, su hormona activadora de la corteza suprarrenal (ACTH) y la presencia de glucocorticoides en la sangre. Eventualmente, se sabía que la hipófisis solo secretaba ACTH cuando los glucocorticoides disminuían y viceversa. Para poder evaluar el efecto de distintos tratamientos sobre la glándula suprarrenal, Ingle comparó la masa total de glándulas suprarrenales reales de ratas sometidas a diferentes tratamientos. Suponía que el tamaño y la masa de la glándula estarían relacionados con su regulación hipofisiaria.

A partir de este planteamiento, consideró dos hipótesis alternativas:

- **Hipótesis 1**

“Si la actividad de la hipófisis está regulada por la concentración de glucocorticoides sanguíneos, entonces un exceso de glucocorticoides debería anular la secreción de ACTH desde la hipófisis”.

- **Hipótesis 2**

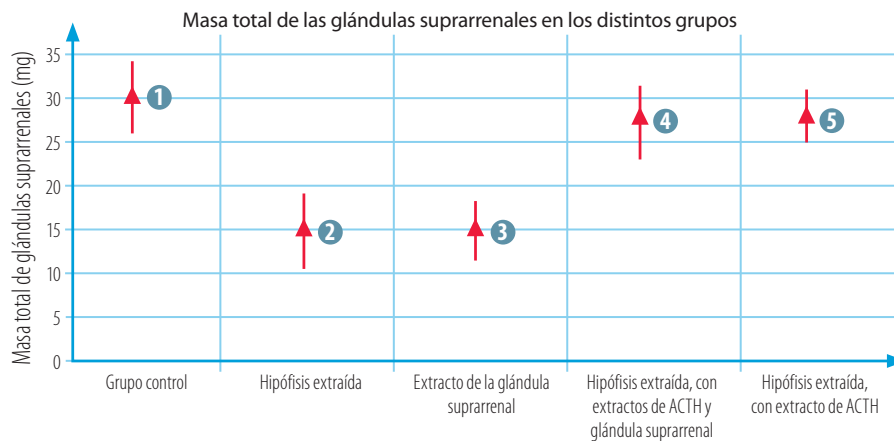
“Si la actividad de la hipófisis es independiente de la concentración de glucocorticoides sanguíneos, entonces un exceso de glucocorticoides no debería afectar la secreción de ACTH desde la hipófisis”.

Procedimiento experimental

Ingle utilizó un grupo control y cuatro grupos experimentales de diez ratas cada uno. A algunas ratas les extrajo la hipófisis, a otras les inyectó extractos de corteza suprarrenal con glucocorticoides y/o extractos de hipófisis que contenían adrenocorticotrofina (ACTH). Para evaluar los efectos de estos tratamientos, al cabo de una semana midió la masa de las glándulas suprarrenales.

Obtención e interpretación de resultados

Los resultados que obtuvo se muestran en el gráfico adjunto.



▲ Gráfico que resume los resultados experimentales que dan cuenta de la relación entre la hipófisis y las glándulas suprarrenales.

Elaboración de conclusiones

Los resultados obtenidos por Ingle permitieron concluir lo siguiente:

- La falta de ACTH produce atrofia en la glándula suprarrenal.
- El extracto de glándula suprarrenal (con glucocorticoides) inhibe la secreción de la hormona adrenocorticotrofina (ACTH).

Con nuevas investigaciones y mejores técnicas para purificar las hormonas, fue posible establecer que este fenómeno estaba presente en muchos otros procesos endocrinos. Actualmente sabemos que las hormonas liberadas por la tiroides, la corteza suprarrenal y las gónadas son capaces de inhibir la secreción de las hormonas tróficas correspondientes de la adenohipófisis. Asimismo, se ha establecido que una inhibición similar ocurre a nivel hipotalámico. El mecanismo se denomina **retroalimentación negativa** y permite que los efectos desencadenados por una cascada de estimulaciones hormonales sean los que anulen las causas de la misma cascada. A partir de lo anterior, responde.

- a. ¿Por qué resulta tan necesario haber incluido un grupo control?
- b. ¿Cuáles son las variables estudiadas en el experimento de Ingle?
- c. ¿Cuál es el resultado preciso que permite validar la hipótesis 1?
- d. Esquematiza, mediante flechas, la retroalimentación negativa que se establece entre hipotálamo-hipófisis y glándula suprarrenal.

Análisis del gráfico

- 1 Grupo control. Nos muestra cuál es la masa esperable de las glándulas suprarrenales, sin ningún tratamiento.
- 2 Ratas con hipófisis extraída. En este caso, las glándulas suprarrenales disminuyen su masa, vale decir, se atrofian.
- 3 Ratas tratadas con un extracto de la glándula suprarrenal. Extrañamente, presentan un resultado similar al anterior. Agregar hormonas suprarrenales en exceso tiene el mismo efecto que eliminar la hipófisis.
- 4 Ratas con hipófisis extraída, con extractos de ACTH y de la glándula suprarrenal. La ACTH parece reemplazar el papel de la hipófisis, pues se obtienen glándulas suprarrenales de masa casi normal. En este caso, el otro extracto no parece tener efecto sobre la masa de las glándulas suprarrenales. Esto permite concluir que el exceso de hormonas suprarrenales "necesita" de la hipófisis para atrofiar la glándula suprarrenal.
- 5 Ratas con hipófisis extraída y con extracto de ACTH. Se termina por confirmar que la recuperación de la masa de la glándula suprarrenal se debe a la ACTH y no a las hormonas del extracto de glándula suprarrenal.

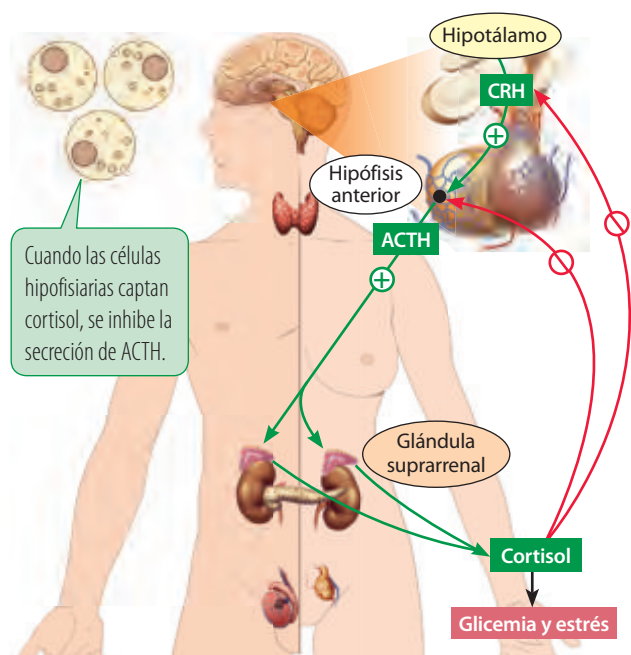
Mecanismos generales de retroalimentación negativa

Para profundizar

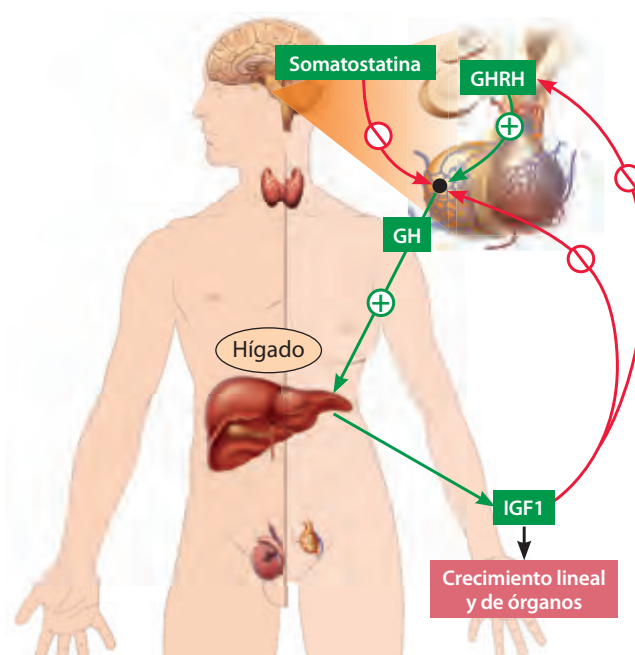
¿Hay retroalimentaciones positivas en el organismo? Sí, pero pocas. Un ejemplo es la actividad de la hormona oxitocina durante el trabajo de parto: una mayor contracción muscular estimula una mayor secreción de la hormona, la que aumenta la contracción muscular.

Las neurohormonas hipotalámicas no bastan para regular la secreción de hormonas hipofisiarias. Este control también es ejercido por hormonas que son secretadas por glándulas que controla la hipófisis y ocurre mediante mecanismos de **retroalimentación negativa**.

Las siguientes figuras describen las relaciones de estimulación e inhibición que se producen entre el hipotálamo, la hipófisis y una glándula regulada por la hipófisis anterior. Nota que en forma simultánea a este mecanismo interno de regulación debe considerarse la variación constante de las condiciones externas que usualmente son captadas por receptores hipotalámicos.

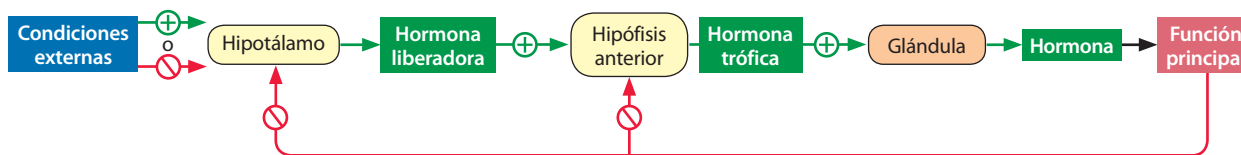


El exceso de cortisol determina una retroalimentación negativa sobre las células hipotalámicas e hipofisiarias, lo que inhibe la secreción de CRH y ACTH.

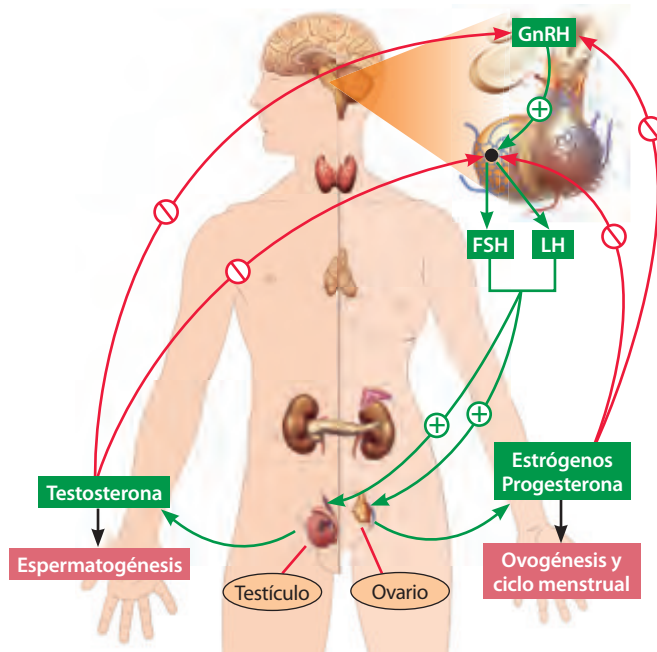


La secreción de la hormona de crecimiento (GH) se regula cuando estimula al hígado y a otros órganos para liberar un factor de crecimiento insulínico (IGF1), el que produce una inhibición sobre la secreción de GHRH y GH. Simultáneamente, la hormona hipotalámica somatostatina también es capaz de anular la secreción de GH de la hipófisis.

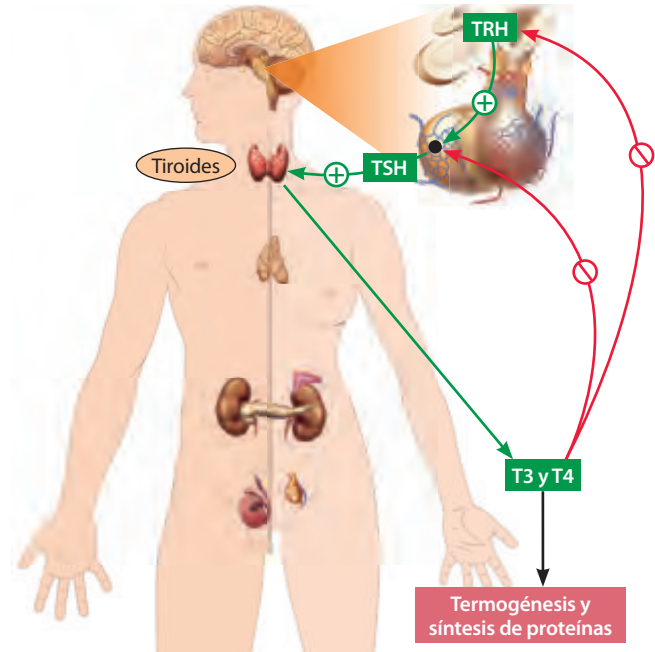
⊕ = Estimula ⊖ = Inhibe



▲ El hipotálamo secreta hormonas liberadoras, que afectan a la hipófisis anterior. Esta, a su vez, produce hormonas tróficas que estimulan la secreción de otras glándulas. Las hormonas liberadas por tales glándulas tienen un efecto inhibitorio sobre la hipófisis anterior y el hipotálamo.



Las retroalimentaciones negativas son vitales para conducir la mayoría de los procesos sexuales y reproductivos. Esto incluye la formación de gametos y la mantención de los caracteres sexuales secundarios. En el caso femenino, estas regulaciones fluctúan con la edad y dentro de un mismo ciclo menstrual.



A partir de la figura, ¿cómo actúa la retroalimentación negativa en el caso de la glándula tiroidea?

Las glándulas que no dependen directamente del eje hipotálamo e hipófisis, como el páncreas, también poseen mecanismos de retroalimentación negativa para regular su secreción. En tales casos, las células secretoras son inhibidas por una hormona de efecto opuesto, o bien por una molécula plasmática que aumenta a causa de la hormona original. En otros casos, como la médula suprarrenal, la regulación está dada en forma más directa por el sistema nervioso.

En síntesis, la **retroalimentación** es un mecanismo de regulación de un sistema, de tal manera que el resultado final de un proceso estimula (retroalimentación positiva) o inhibe (retroalimentación negativa) la actividad del mismo proceso.

Para profundizar

Los anticonceptivos orales femeninos se basan en la retroalimentación negativa. Cada píldora anticonceptiva es una combinación de estrógenos y/o progesterona, de tal modo que su contenido tiende a anular la secreción de gonadotrofinas hipofisarias. Ha sido difícil elaborar anticonceptivos masculinos que funcionen bajo los mismos principios reguladores.

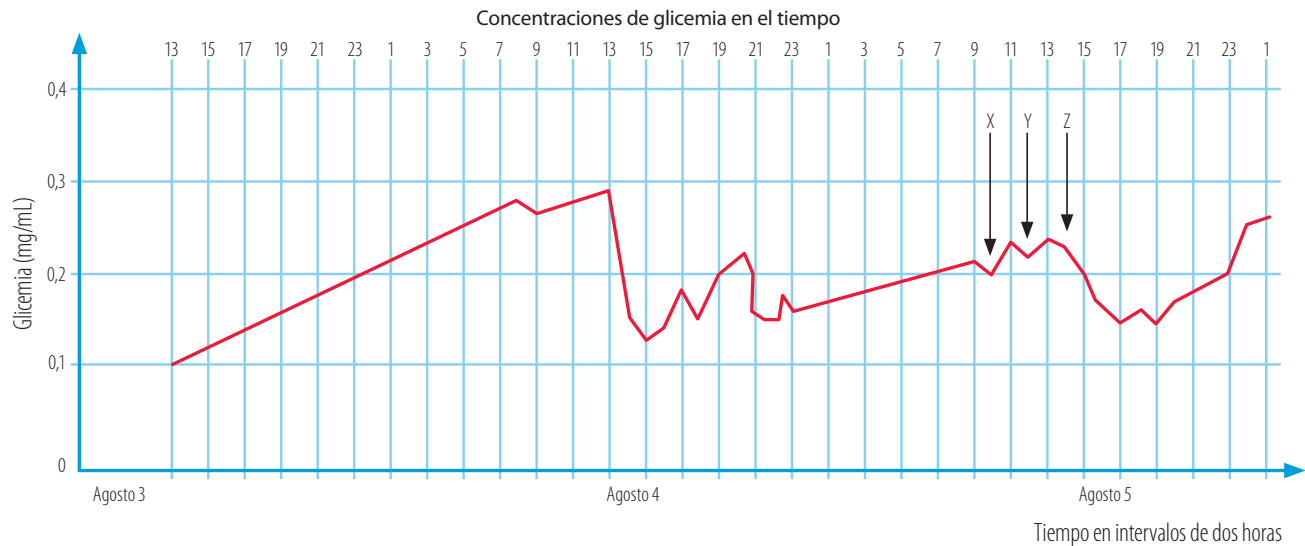
Actividad

1. Lee el contenido de esta doble página y luego, con la colaboración de un compañero o compañera, realiza la siguiente actividad.
 - a. **Construyan** un gráfico que muestre la relación a través del tiempo de la concentración plasmática de ACTH en relación con el cortisol plasmático. Consideren que a mayor ACTH, mayor cortisol; y a mayor cortisol, menor ACTH.
 - b. La variabilidad individual también debería tener que ver con la calidad y cantidad de receptores hormonales. **Reflexionen** en qué medida la variabilidad individual puede afectar la capacidad para regular la función hormonal. Tengan en cuenta que si los receptores hormonales de una célula presentan alguna alteración, la respuesta de la célula blanco puede verse disminuida o ausente. Por otro lado, un menor número de receptores también puede afectar la respuesta celular.

Regulación de la glicemia

La siguiente evidencia experimental realizada por los investigadores Frederick Banting y Charles Best, en 1922, da cuenta del rol del páncreas en la regulación de la glicemia. Previo al experimento, a un perro se le extirpó quirúrgicamente el páncreas, tras lo cual se le midieron sus niveles de glicemia durante tres días luego de ser sometido a varias situaciones que alteraron sus niveles de glucosa.

Los resultados obtenidos se presentan cronológicamente en el gráfico:



▲ “Dog 408”, perro utilizado por Banting y Best en sus experimentos.

Para profundizar

Los experimentos de Banting y Best generaron una revolución en la medicina: por primera vez fue posible tratar a quienes padecían “la enfermedad del azúcar”, luego conocida como diabetes mellitus tipo I. Banting obtuvo el Premio Nobel de Medicina ¡al año siguiente de su descubrimiento!

Actividad

1. A partir del **análisis** del gráfico anterior y utilizando la tabla que se presenta a continuación, desarrolla la siguiente actividad e **interpreta** correctamente los resultados obtenidos en este experimento.
 - a. Anota el efecto que tuvieron en el perro cada uno de los procedimientos aplicados. Para determinarlo, revisa el registro de su glicemia a lo largo de los tres días de investigación.

Día	Hora	Tratamiento	Efecto
3 de agosto.	13:00	Extirpación del páncreas.	
4 de agosto.	13:00	Inyección de 5 cm ³ de extracto pancreático.	
	21:00	Inyección de 5 cm ³ de extracto pancreático.	
5 de agosto.	10:00	X: inyección de 5 cm ³ de extracto de hígado.	
	12:00	Y: inyección de 5 cm ³ de extracto de bazo.	
	14:00	Z: inyección de 5 cm ³ de extracto pancreático.	

- b. ¿Cuál fue el objetivo y la hipótesis de este experimento?
- c. ¿Qué enfermedad se asemeja a los síntomas mostrados por el perro? Justifica.
- d. ¿Qué función cumplen los tratamientos X e Y?
- e. Señala al menos dos variables que se mantuvieron constantes en el experimento.
- f. ¿Cuál es la conclusión del experimento?

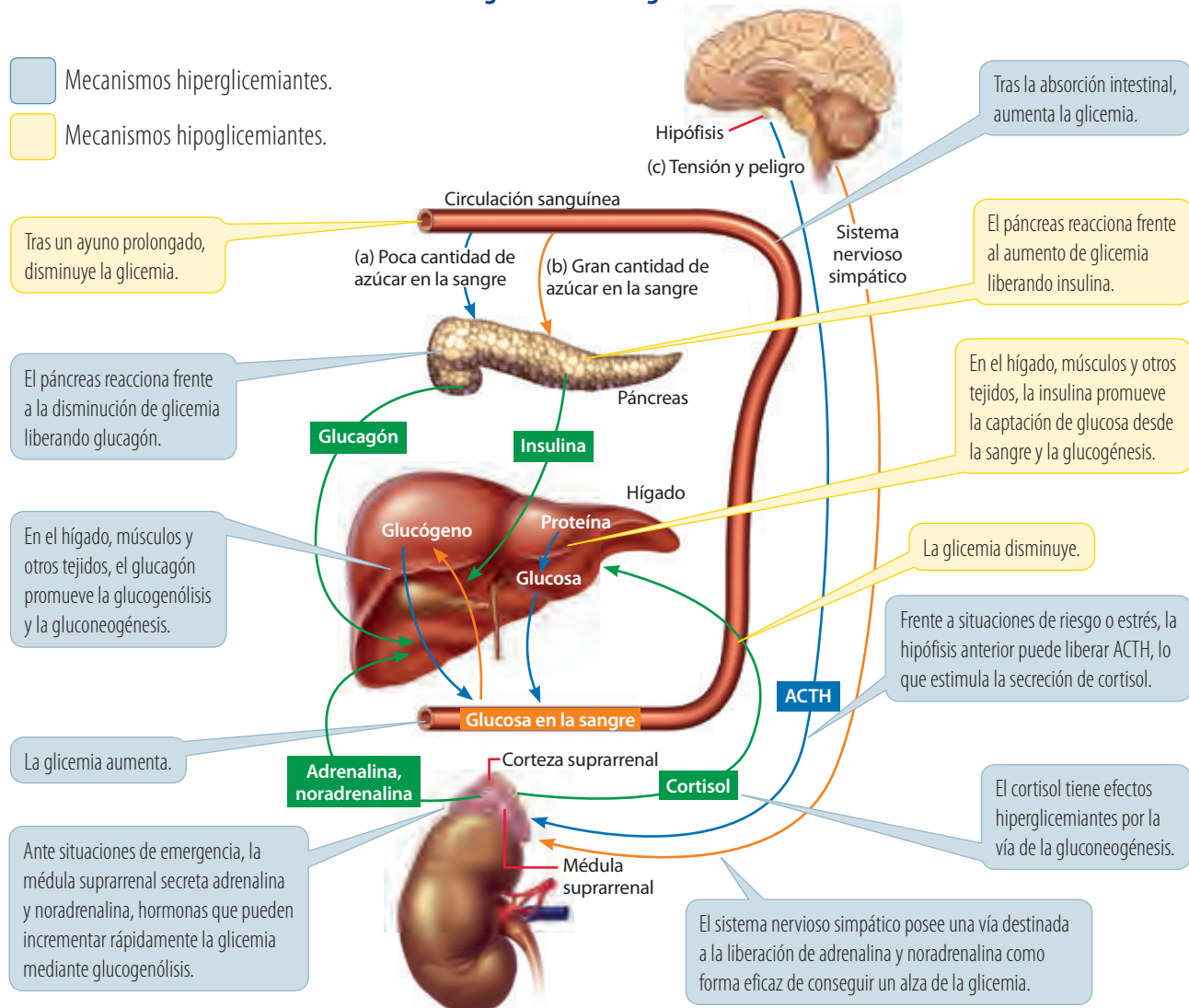
El nivel de glucosa sanguínea es regulado por mecanismos endocrinos y nerviosos

La glucosa es un monosacárido proveniente de la digestión de los disacáridos y los polisacáridos. Se absorbe en el intestino y es transportada al hígado, donde la mayor parte es almacenada en forma de glucógeno. La conversión de la glucosa a glucógeno es una función específica de las células hepáticas, denominada **glucogénesis**. Simultáneamente, dos mecanismos inversos tienden a incrementar el nivel de glucosa sanguínea: la **glucogenólisis** o reconversión del glucógeno en glucosa, y la **gluconeogénesis** o transformación de aminoácidos y ácidos grasos en glucosa. En definitiva, el nivel de glucosa en la sangre se mantiene más o menos constante, a una concentración media de un gramo por litro de sangre. Es la degradación de la glucosa durante la respiración celular la que proporciona prácticamente toda la energía requerida para los procesos metabólicos.

Para profundizar

Una **hipoglicemia** (disminución de la glicemia) afecta en primer término al cerebro, pues las neuronas son incapaces de usar otro combustible distinto a la glucosa. Una **hiperglicemia** (aumento de la glicemia), en cambio, puede generar varios trastornos, pues el aumento de la presión osmótica en los sitios donde se acumula la glucosa produce deshidratación celular.

Regulación de la glicemia



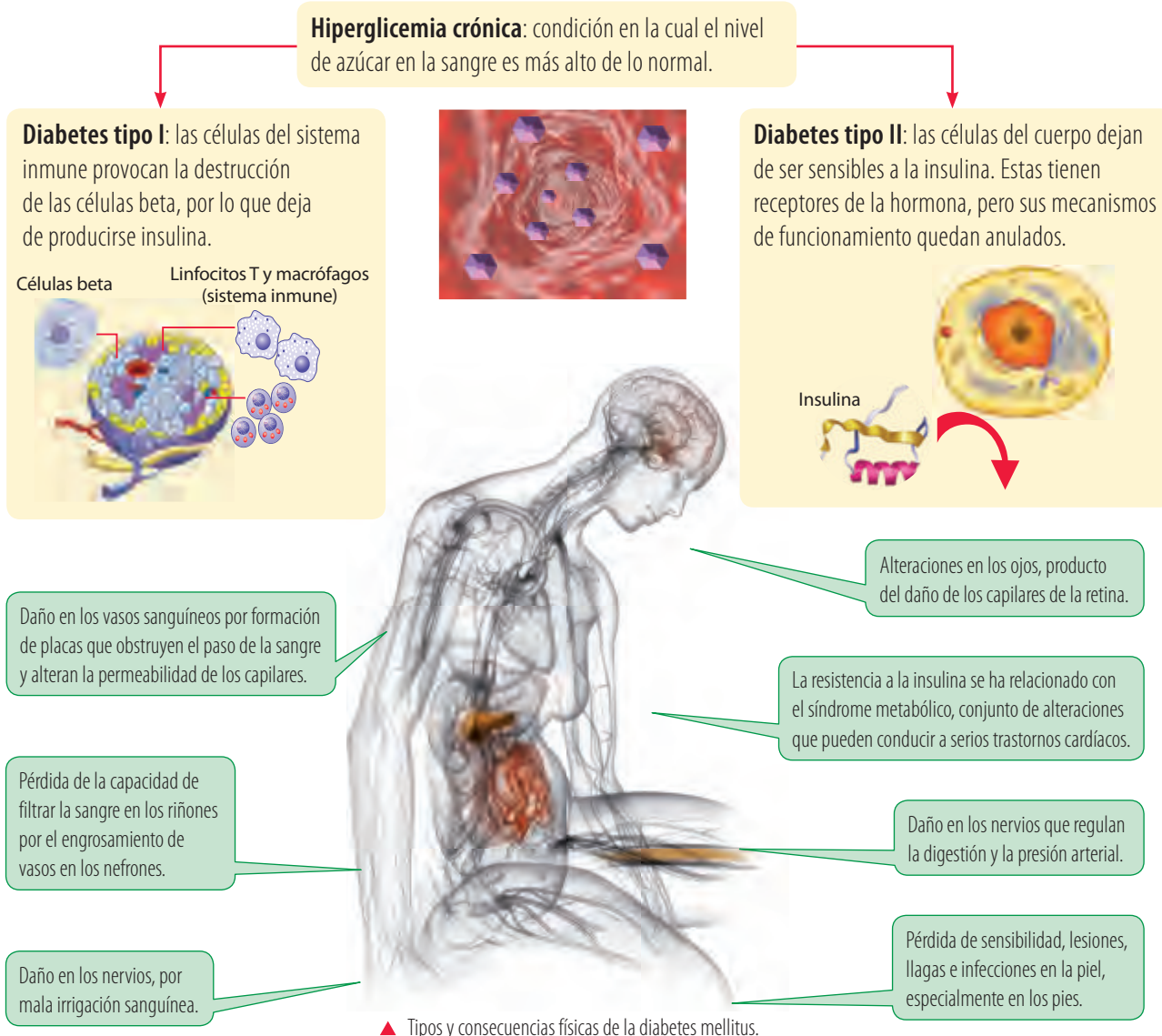
Diabetes mellitus: síntomas parecidos, diferentes causas

Para profundizar

La glicemia normal fluctúa entre los 70 y 140 mg/dL a lo largo del día. En un diabético, la glicemia suele superar los 200 mg/dL, y puede incluso sobrepasar los 1 000 mg/dL.

La diabetes mellitus es un trastorno que se caracteriza por presentar niveles de glicemia anormalmente altos, ya sea porque el páncreas es incapaz de producir insulina, o bien porque los tejidos del cuerpo no utilizan la insulina eficazmente. El exceso de glucosa en la sangre daña los vasos sanguíneos y los nervios. A largo plazo, puede provocar insuficiencia renal, ceguera, alteraciones de la presión arterial y lesiones en la piel de curación muy difícil.

Cada año mueren en el mundo más de un millón de personas a causa de la diabetes mellitus. En Chile, cerca del 8% de la población mayor de quince años se encuentra en alguna de las etapas de esta enfermedad. Puede manifestarse como diabetes tipo I o tipo II, siendo esta última la más habitual, con casi el 90% de los casos. Los efectos de la diabetes mellitus se muestran en la figura.



Prevención y tratamiento de la diabetes mellitus

Cualquier persona, a cualquier edad, puede sufrir diabetes mellitus. No obstante, el riesgo de tener diabetes aumenta con la edad, con el consumo excesivo de alimentos ricos en grasas y carbohidratos y la falta de actividad física.

A continuación se presentan los principales tratamientos y cuidados que permiten controlar habitualmente la diabetes tipo I y II.

- **Diabetes tipo I** (en algunos casos, II). La insulina, normalmente sintética de origen biotecnológico, es inyectada en forma manual o automática, intentando reemplazar el papel del páncreas.
- **Diabetes tipo II**. Los hipoglicemiantes orales pueden tener diferentes efectos, según la necesidad: estimulantes del uso de insulina por las células, inhibidores de la acción glicemiante del hígado, estimuladores de las células beta, inhibidores de la digestión de almidón, etc.
- **Diabetes tipo I y II**. Regularidad en las horas, tipos y cantidades de comida. La dieta tiene que ser balanceada; se deben evitar los alimentos ricos en almidón. En un diabético tipo II, llegar al nivel de masa corporal saludable puede reemplazar el uso de medicamentos.
- **Diabetes tipo I y II**. El ejercicio regular permite controlar el exceso de glucosa y disminuir los depósitos excesivos de grasa, habituales en personas con diabetes.

Actividad

1. Participa de la siguiente discusión médica, **argumenta** tu diagnóstico y las medidas que sugieres tomar. Considera la información de la sección *Ayuda*.

Un paciente varón de 40 años, con antecedentes familiares de diabetes, se presenta en un centro médico señalando que sufre de visión borrosa, una sed permanente y que orina varias veces al día. Al medirle su glicemia en tres oportunidades durante ese mismo día arrojó 140 mg/mL, 150 mg/mL y 110 mg/mL, respectivamente.

El doctor García indica que por los síntomas se trataría de “diabetes mellitus” en su estado inicial, por lo que recomienda que se dirija a un endocrinólogo para iniciar un tratamiento con insulina inyectable. Sin embargo, el doctor González no está de acuerdo, pues indica que podría tratarse de “diabetes insípida”, condición producida por la falta de una hormona hipofisiaria que regula el agua en los riñones. Si esto fuese cierto, el paciente también tendría alteraciones a nivel de iones plasmáticos.

- a. ¿Cuál de las siguientes recomendaciones serían apropiadas para resolver este desacuerdo médico? Fundamenta tu respuesta.
 - Continuar la medición de glicemia, por varias horas más, hasta descartar hiperglicemia crónica.
 - Inyectar insulina y averiguar la capacidad del organismo para disminuir su glicemia.
 - Medir los niveles de iones sanguíneos (electrolitos) para ver si son anormales.
 - Restringir el consumo de agua para averiguar si aumentan los síntomas.

Investig@

Utiliza la información sugerida en la siguiente página web y diseña las etapas necesarias para resolver las actividades que allí se presentan. Luego escribe un informe siguiendo la pauta de investigación que se encuentra en la página 223 de tu Texto.

<http://recursostic.educacion.es/ciencias/biosfera/web/alumno/1bachillerato/animal/invesgluco.htm>

Recuerda que el contenido de las páginas webs puede cambiar.

Ayuda

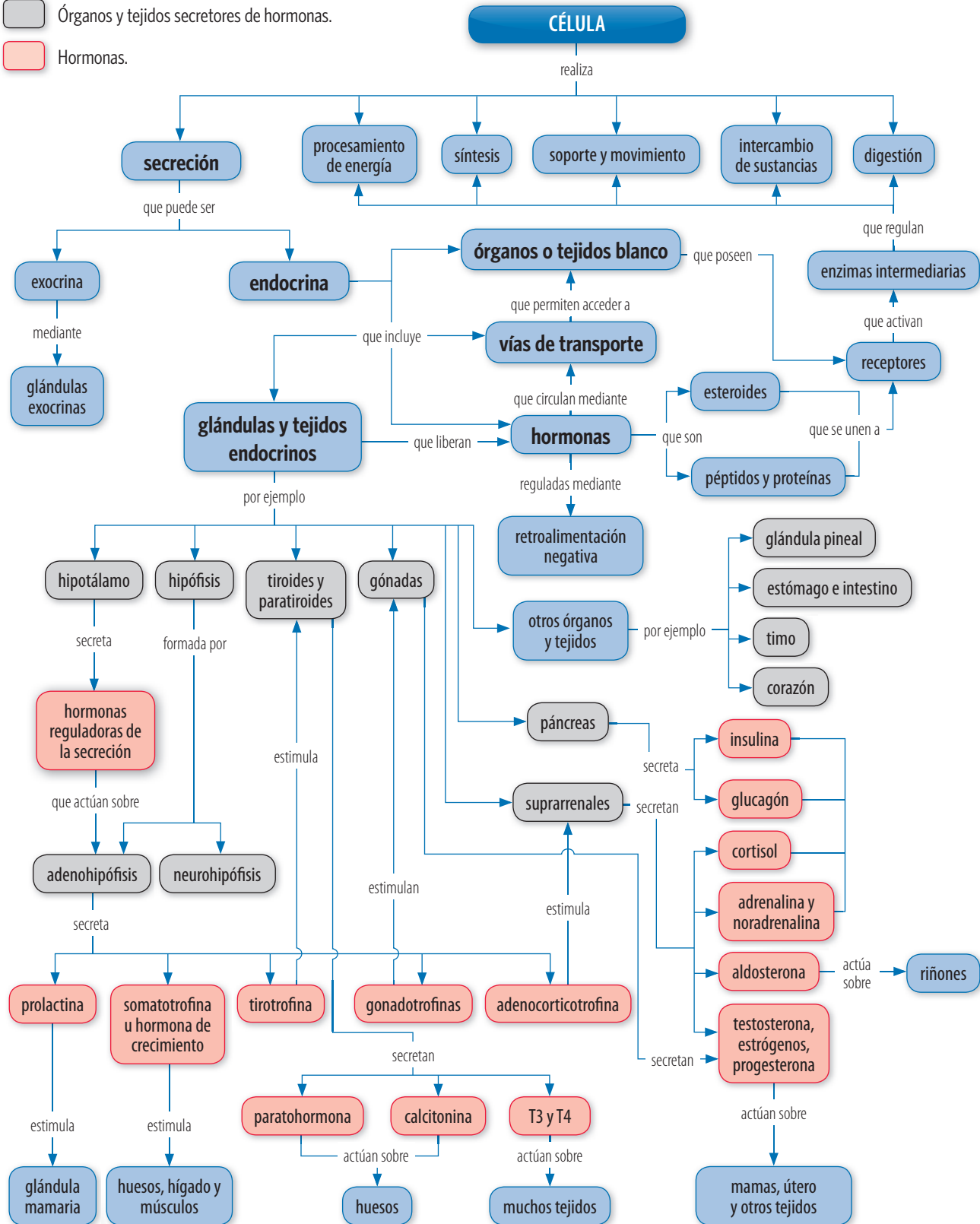
La diabetes insípida no es sinónimo de la diabetes mellitus. En ambos casos se produce un incremento en la excreción urinaria asociada a una consecuente sed. No obstante, en sus aspectos restantes, incluyendo causas y tratamiento, son absolutamente diferentes.

Recuerda

- La retroalimentación negativa es el mecanismo que controla la secreción de las hormonas.
- La liberación de varias hormonas evita la falta de glucosa, pero solo la liberación de insulina evita su exceso.
- La diabetes mellitus es una enfermedad basada en la falta de insulina o la dificultad del organismo para aprovecharla.

El siguiente organizador gráfico resume las relaciones entre los principales conceptos abordados en la unidad. Selecciona un concepto que consideres clave y construye a partir de este tu propio organizador.

- Órganos y tejidos secretores de hormonas.
- Hormonas.



I. Analiza la siguiente situación procedimental y luego responde.

Planteamiento del problema

Una bióloga especialista en estudios de respuesta al estrés desea saber qué tan diferentes son los niveles de cortisol durante el ejercicio intenso al estudiar a un grupo de jóvenes físicamente activos.

Formulación de hipótesis

La investigadora plantea que *“si los jóvenes son de un rango similar de edad y poseen una actividad física parecida, entonces deberían manifestar cantidades de cortisol y rangos de recuperación frente al estrés bastante parecidos”*.

Procedimiento experimental

Les pidió a catorce voluntarios que realizaran un ejercicio controlado en un cicloergómetro (bicicleta inmóvil con un regulador de trabajo). Mediante muestras de sangre, les midió el cortisol antes de iniciar la prueba y cada diez minutos, durante los sesenta minutos que duró el experimento.

1 ¿Qué variables deberían haberse mantenido para garantizar la comparación de los resultados obtenidos entre los voluntarios? Explica por qué.

Obtención de resultados

Los resultados obtenidos se resumen en el gráfico.

- 1** ¿Cómo describirías estos resultados?
- 2** ¿Consideras que la duración del experimento permite obtener resultados coherentes con el objetivo de la investigación? ¿Por qué?

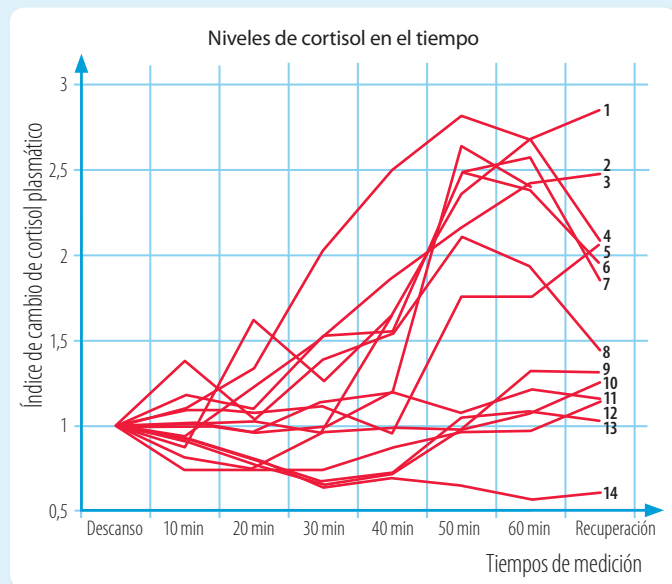
Interpretación de resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos, la investigadora consideró que existía una gran amplitud de niveles de cortisol, lo que se podría explicar por los diferentes niveles de adaptación al estrés de los participantes.

Elaboración de conclusiones

1 Esta investigación puede ser muy útil para tu profesor de educación física. ¿Qué conclusión podrías plantearle tras los resultados anteriores?

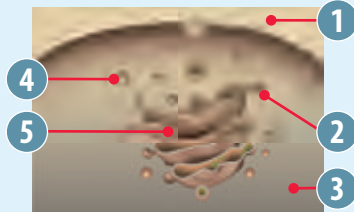
Adaptado de: Suárez A., Javierre C., Ventura J., Garrido E., Barbany J. y Segura R. *Diferencias interindividuales en las concentraciones de cortisol plasmático tras una hora de ejercicio mixto aeróbico-anaeróbico*. Apuntes de Medicina de l'Esport, 42:7-12, 2007.



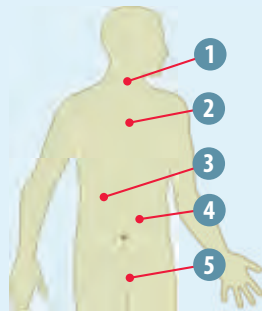
II. Marca la alternativa correcta.

- 1 ¿Cuál de las siguientes hormonas posee naturaleza lipídica?
- A. Cortisol.
 - B. Insulina.
 - C. Adrenalina.
 - D. Hormona de crecimiento.
 - E. Hormona liberadora de tirotrófina.

- 2 ¿En cuál de los siguientes sectores de una célula sería extraño hallar una hormona peptídica?
- A. 1.
 - B. 2.
 - C. 3.
 - D. 4.
 - E. 5.



- 3 ¿Dónde está ubicado el páncreas?
- A. 1.
 - B. 2.
 - C. 3.
 - D. 4.
 - E. 5.

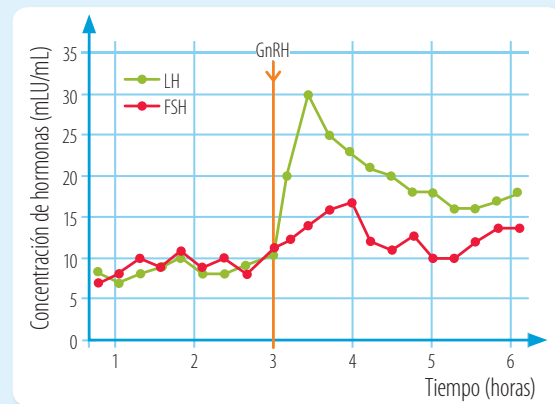


- 4 Si una mujer sufriera un daño en la hipófisis, ¿qué glándula podría seguir funcionando de manera normal?
- A. Tiroides.
 - B. Ovarios.
 - C. Páncreas.
 - D. Hipotálamo.
 - E. Suprarrenal.

- 5 Escoge la pareja de hormonas que **no están** relacionadas funcionalmente de manera directa:
- A. Insulina – Glucagón.
 - B. Prolactina – Oxitocina.
 - C. Adrenalina – Testosterona.
 - D. Estimulante de los folículos – Estrógeno.
 - E. Hormona de crecimiento – Tiroxina (T4).

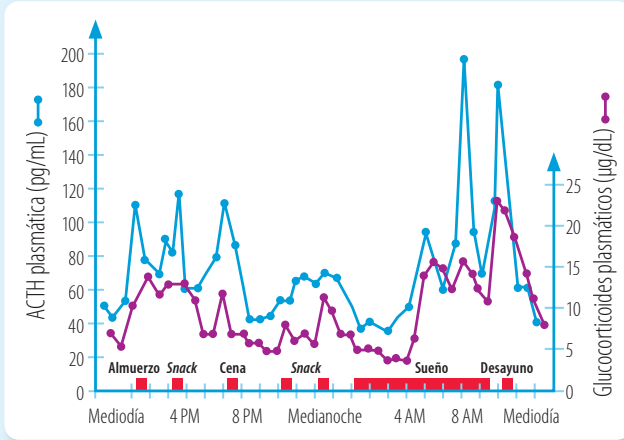
- 6 Si se quisiera usar una droga destinada a impedir la unión de la hormona antidiurética con su receptor, ¿qué órgano debería tener contacto con la droga necesariamente?
- A. Riñón.
 - B. Hipófisis.
 - C. Páncreas.
 - D. Hipotálamo.
 - E. Glándula suprarrenal.

- 7 ¿Qué conclusión es correcta tras analizar el siguiente gráfico?



- A. La hipófisis es sensible a la GnRH.
 - B. LH y FSH poseen funciones inversas.
 - C. LH y FSH tienen un efecto opuesto a la GnRH.
 - D. GnRH, FSH y LH poseen el mismo tejido blanco.
 - E. El hipotálamo puede inhibir la secreción de gonadotrofinas.
- 8 ¿Qué hormona es capaz de inhibir alguna de las áreas glandulares del hipotálamo?
- A. Cortisol.
 - B. Insulina.
 - C. Tirotrófina.
 - D. Gonadotrofina.
 - E. Adrenocorticotrofina.

Observa el siguiente gráfico y contesta las preguntas **9** y **10** en relación con los resultados obtenidos.



9 ¿En qué momento del día se produce la máxima inhibición de la secreción de ACTH?

- A. Al despertar.
- B. Al inicio del sueño.
- C. Al término de la cena.
- D. Poco antes de ir a dormir.
- E. Entre el desayuno y el almuerzo.

10 ¿Qué conclusión sería correcta al relacionar la secreción de ACTH y glucocorticoides?

- A. Ambas secreciones hormonales poseen una relación interdependiente.
- B. El tipo de alimento determina la secreción de glucocorticoides.
- C. A mayor cantidad de comida, mayor secreción de ACTH.
- D. Ambas hormonas se secretan en una relación inversamente proporcional.
- E. El sueño inactiva a la glándula suprarrenal, pero no a la hipófisis.

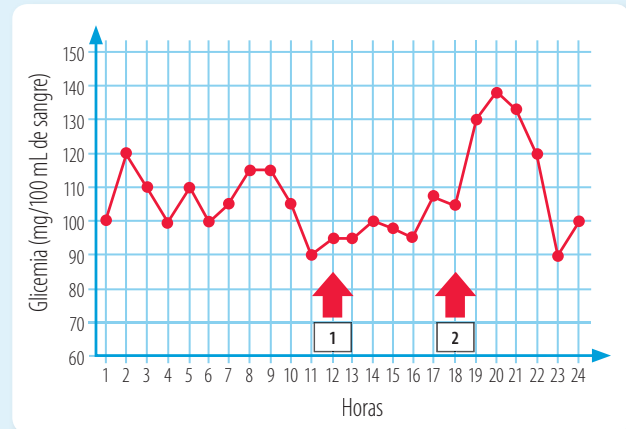
11 ¿Cuál de las siguientes condiciones es exclusiva de un diabético tipo II respecto a un tipo I?

- A. Heridas en la piel difíciles de sanar.
- B. Problemas en los vasos sanguíneos.
- C. Ineficacia del uso de insulina inyectable.
- D. Tratamiento de tipo hipoglicémico.
- E. Hiperglicemia después de comer.

12 Después de almorzar es habitual presentar una breve hipoglicemia. ¿Cuál es la causa?

- A. Menor glucogenólisis.
- B. Aumento de insulina sanguínea.
- C. Incremento de la gluconeogénesis.
- D. Falta de absorción de glucosa en el intestino.
- E. Disminución del uso de la glucosa por las células.

13 El gráfico muestra lo sucedido con la glicemia al inyectar las sustancias 1 y 2 a un perro. ¿A qué podrían corresponder las sustancias 1 y 2, respectivamente?



- A. Insulina y glucagón.
- B. Glucagón e insulina.
- C. Extracto de hipófisis e insulina.
- D. Extracto de tiroides y glucagón.
- E. Extracto de páncreas y de suprarrenal.

Yo me evalúo

Marca el nivel de logro de tus aprendizajes dentro de la unidad. Usa para ello la escala que se presenta después de la tabla.

Evaluación sección	
Actividad de inicio.	
Evaluación de proceso.	
Evaluación final.	

1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

Unidad

4

Reproducción y sexualidad humana



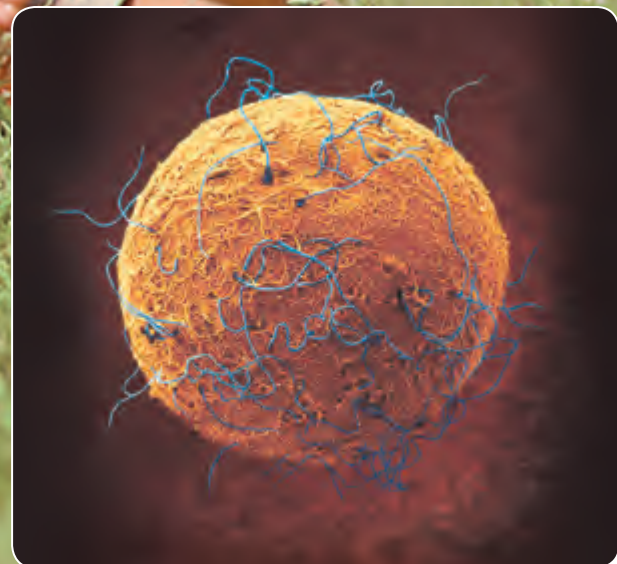
¿Qué aprenderás?	¿Para qué?	¿Dónde?
Interpretación de resultados.	Formular explicaciones a partir de los datos obtenidos en distintas actividades experimentales.	Páginas 120, 121, 138, 139 y 155.
Proceso reproductivo y modelos de reproducción.	Comprender que la reproducción es una característica propia de los seres vivos y que existen distintas modalidades.	Páginas 122 y 123.
Estructura y función de los sistemas reproductores masculino y femenino.	Reconocer las estructuras anatómicas y funcionales del sistema reproductor humano y comprender la formación de las células sexuales.	Páginas 124 a 133.
Inicio de la vida, desarrollo embrionario, parto y lactancia.	Comprender cómo y cuándo se origina una nueva vida humana única a partir de dos progenitores y los cuidados que durante su desarrollo debemos tener.	Páginas 136 a 147.
Interpretación de mecanismos de acción en procesos asociados a la reproducción humana.	Interpretar los principales factores implicados en la regulación del parto y la lactancia.	Páginas 146 y 147.
Métodos de planificación familiar y enfermedades de transmisión sexual en el contexto de la afectividad y la sexualidad humana.	Reconocer que la sexualidad humana y la reproducción son aspectos fundamentales de la vida y que cada persona tiene responsabilidad individual frente a estos.	Páginas 148 a 153.

Evaluación inicial

Si te paras en el patio del colegio, en los jardines de una plaza o simplemente miras por una ventana, seguramente verás personas, insectos, algunas aves y árboles. Todos estos organismos tienen algo en común: se reproducen.

A continuación, te invitamos a responder algunas preguntas. Si no conoces las respuestas, seguramente las encontrarás en esta unidad.

1. ¿Todos los seres vivos se reproducen de la misma forma? ¿Cuántas modalidades de reproducción crees que existen?
2. ¿De qué manera se asegura la mantención del número de cromosomas de una especie?
3. ¿Qué responsabilidad tenemos como personas frente a la reproducción?
4. ¿En qué momento comienza una nueva vida humana? Compartan sus respuestas en grupo.



▲ Espermatozoides rodeando a un ovocito.

Etapas experimentales

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
3. Procedimiento experimental.
4. Obtención de resultados.

5. Interpretación de resultados.

6. Elaboración de conclusiones.

¿Cómo se relaciona la interpretación con los resultados?

Los resultados se obtienen luego de hacer un experimento, y la interpretación que de ellos se hace consiste en expresar con palabras propias lo que se entiende de la información obtenida.

Pasos para interpretar los resultados

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



▲ Ejemplar de hámster dorado.

Un grupo de investigadores de una universidad está estudiando la asociación existente entre la aparición de la conducta reproductiva en machos, expresada como número de eventos copulatorios, y los niveles de testosterona.

Estos científicos han utilizado como animal de estudio al hámster dorado (*Mesocricetus auratus*), ya que presenta grandes ventajas, como son: pequeño tamaño y, por lo tanto, fácil manipulación, ciclo reproductivo corto, gran número de descendientes y características reproductivas de fácil estudio y ampliamente conocidas.

Planteamiento del problema

Los científicos se plantearon el siguiente problema:

¿Qué efecto tiene la testosterona sobre la conducta reproductiva de hámsteres machos?

Formulación de hipótesis

Considerando la interrogante del problema anterior, los investigadores formularon la siguiente hipótesis:

“La aplicación de testosterona potencia la conducta reproductiva en hámsteres machos, expresada como un aumento en el número de eventos copulatorios”.

Procedimiento experimental

Para poner a prueba esta hipótesis, se utilizaron 20 hámsteres machos castrados a los 45 días de vida (después de la pubertad) y fueron separados en dos grupos con las siguientes características:

Grupo 1: formado por 10 machos, los que fueron colocados en una jaula con agua y alimento sin restricción durante 45 días.

Grupo 2: formado por 10 machos, los que fueron colocados en una jaula con agua y alimento sin restricción durante 45 días. A este grupo, además, se le suministró testosterona.

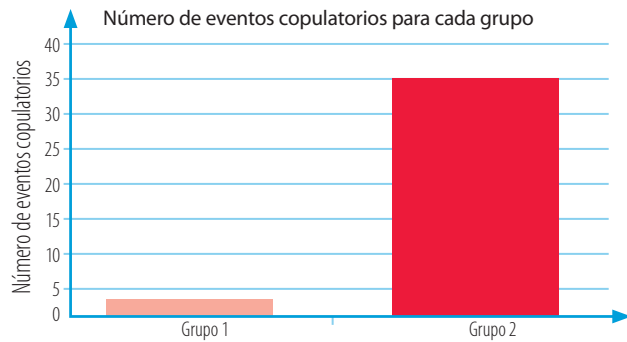
Al cumplirse los 45 días, los machos integrantes de cada grupo fueron trasladados a otra jaula, donde había hámsteres hembras, para evaluar la conducta reproductiva de los machos, expresada en el número de eventos copulatorios. La conducta de cada grupo se registró utilizando una cámara de video.

Antes de avanzar en el experimento, responde las siguientes preguntas.

- a. ¿Cuál es el número total de hámsteres machos de las muestras en estudio?
- b. ¿Cuál de los dos grupos de hámsteres es el grupo experimental?, ¿por qué?
- c. ¿Por qué crees tú que los hámsteres machos fueron castrados después de la pubertad?
- d. ¿Cuál es la variable dependiente y la independiente en este caso?

Obtención de resultados

Los resultados se obtuvieron de las filmaciones realizadas con las cámaras colocadas en cada jaula y luego se graficó el número de eventos copulatorios para cada grupo de hámsteres machos.



	Grupo 1	Grupo 2
Nº de eventos copulatorios.	3	35
Suministro de testosterona.	No	Sí

◀ Efecto de la testosterona sobre el número de eventos copulatorios en hámsteres machos.

Interpretación de resultados

A partir de los resultados presentados y de la correcta interpretación del gráfico, responde las siguientes preguntas.

- ¿Qué representa cada uno de los ejes del gráfico?
- ¿Cuál de los dos grupos presentó mayor cantidad de eventos copulatorios?
- ¿Qué relación existe entre la presencia o ausencia de testosterona y los resultados obtenidos en cada grupo de hámsteres?
- Si tú fueras uno de los investigadores o investigadoras, ¿qué modificación le harías a este experimento para seguir con el estudio? Considera, por ejemplo, la dosis de testosterona, la edad de castración, la utilización de hámsteres no castrados, entre otras alternativas.

Elaboración de conclusiones

- ¿Qué se puede concluir respecto de la hipótesis formulada?, ¿resultó válida? Explica a partir de los resultados obtenidos.
- Redacta una composición breve, de no más de diez líneas, con lo que aprendiste de este experimento.

Yo me evalúo

De la actividad anterior:

- ¿qué te resultó más difícil?, ¿por qué?

Esta actividad está centrada en la **interpretación de los resultados** para formular explicaciones a partir de los datos que se presentan.

- ¿Qué entendiste que debías hacer?
- ¿Qué hiciste para interpretar los resultados?
- ¿Cómo sabes que lo hiciste correctamente?



▲ La Tierra se encuentra habitada por una enorme diversidad de seres vivos, pero ¿se reproducen todos ellos de la misma manera? Averigüémoslo en estas páginas.

La maravilla del proceso reproductivo

Todos los seres vivos tienen necesidades básicas que están relacionadas con su supervivencia. Para satisfacer estos requerimientos, los organismos han implementado estrategias que les permiten protegerse de las condiciones variables del ambiente en que se desarrollan, efectuar movimientos, responder ante múltiples estímulos, regular su medio interno e intercambiar sustancias con su entorno, nutrirse y excretar desechos corporales, entre muchas otras. Sin embargo, existe una necesidad fundamental relacionada con la supervivencia de los seres vivos en términos de especie: la **reproducción**, ya que todos los organismos necesitan originar descendencia fértil para que las nuevas generaciones, a su vez, mantengan la continuidad de su especie. Lejos de ser un fenómeno simple, conformado por un único evento, la reproducción de los seres vivos está basada en una serie de procesos altamente regulados y sincronizados, los que dependen de factores mecánicos, endocrinos, conductuales y ambientales, entre otros. Además, es un fenómeno fascinante desde el punto de vista de la biología, ya que a partir de un individuo, o dos, según sea el caso, se genera otro ser vivo que iniciará su desarrollo de manera continua, coordinada y gradual, y que también tendrá posteriormente la capacidad de reproducirse.

La reproducción es el proceso biológico mediante el cual se generan nuevos organismos. Existen dos tipos básicos de reproducción: **reproducción asexual** o **asexuada** (a veces también llamada vegetativa) y **reproducción sexual** o **sexuada**. Dentro de cada tipo de reproducción (asexual y sexual) existe una gran diversidad de alternativas. La reproducción asexual puede involucrar la duplicación del organismo completo (unicelulares) o el desarrollo de estructuras especializadas (yemas, esporas, estolones), entre otras estrategias. La reproducción sexual puede involucrar la existencia de sexos separados (especies **dioicas** en las que se diferencian machos y hembras) o la presencia de estructuras de ambos sexos dentro del mismo individuo (especies **monoicas** o hermafroditas).

A continuación se presenta una tabla comparativa entre ambos tipos.

	Reproducción asexual	Reproducción sexual
Descripción	Se generan uno o varios individuos que son una copia idéntica (clon) de su progenitor y que, por lo tanto, poseen sus mismas características. Esta modalidad es muy común en los organismos unicelulares; pero existen algunos pluricelulares, como plantas, hongos y animales, que también se pueden reproducir de esta forma cuando las condiciones ambientales lo permiten.	Requiere de la participación de dos organismos en vez de uno. El descendiente originado posee características similares, pero no idénticas, a las de ambos progenitores, pues ha surgido a partir de la combinación del material genético presente en células reproductoras altamente especializadas, llamadas gametos, provenientes de los dos organismos que se reproducen.
Ventaja	Un único organismo progenitor es capaz de generar descendencia en ausencia de otros individuos.	Al combinarse la información genética de los progenitores, esto les confiere variabilidad genética a los descendientes.
Desventaja	Al ser copias idénticas entre sí, en general, no existe variabilidad genética entre progenitores y descendientes. La falta de variabilidad puede ser desventajosa cuando las condiciones ambientales cambian drásticamente.	Requiere la presencia de individuos de ambos sexos, sin lo cual no existe reproducción. El tiempo transcurrido entre el nacimiento de un individuo y el nacimiento de su descendencia puede ser más largo que para la reproducción asexual.

Algunos ejemplos de reproducción

En los seres humanos, la reproducción es de tipo sexual, pues se basa en la unión de los gametos de dos personas de distinto sexo: masculino y femenino. En ella están involucrados sus sistemas reproductores, los que poseen notorias diferencias estructurales, característica que permite originar dos tipos distintos de gametos y, además, como veremos más adelante, que estos puedan encontrarse y fusionarse a través de la unión sexual.

Por otro lado, existen algunos organismos que pueden cambiar el tipo de reproducción de sexual a asexual (o viceversa). Esto generalmente ocurre a causa de alguna variación ambiental muy brusca o ante la ausencia de uno de los progenitores, condiciones que obligan al organismo a reproducirse rápidamente. Un ejemplo lo constituyen los ácaros de la familia de los crotónidos, los que inicialmente se reproducían sexualmente, pero hace millones de años, producto de la ausencia de machos, comenzaron a hacerlo asexualmente. Sorprendentemente, en la actualidad algunos de ellos han vuelto a la reproducción sexual.



▲ La reproducción en los humanos es de tipo sexual, lo que otorga variabilidad genética en los hijos por la combinación de la información genética de los padres.



▲ Ácaro de la familia de los crotónidos.

Para profundizar

¿Por qué todas las especies no pueden cambiar el tipo de reproducción como estrategia para evitar la extinción? Porque para que esto sea posible, deben existir las estructuras y adaptaciones (anatómicas, fisiológicas, conductuales, entre otras) que permitan el cambio de un tipo de reproducción a otro, cuando, por ejemplo, se presenta una condición ambiental adversa.

Recuerda

La reproducción no es una función indispensable para la supervivencia de un organismo, pero sí es imprescindible para la perpetuación de la especie a la que pertenece.

Actividad

1. A modo de **síntesis**, completa la siguiente tabla **comparativa** entre reproducción asexual y sexual, considerando los criterios que se explicitan.
2. A partir de lo estudiado, responde las siguientes preguntas.
 - a. Si un organismo unicelular que se reproduce de manera asexual experimenta una mutación, ¿la transmitirá a su descendencia?, ¿por qué? **Explica**.
 - b. Si un organismo que se reproduce de manera sexual experimenta una mutación en las células de su línea germinal (que originan los gametos), ¿la transmitirá a su descendencia? ¿Qué sucederá si la mutación se encuentra en las células somáticas, es decir, aquellas que no forman parte de la línea germinal? **Explica** en ambos casos lo que crees que pueda ocurrir.

Criterios de comparación	Reproducción asexual	Reproducción sexual
Cantidad de progenitores.		
Características de los descendientes respecto del o los progenitores.		
Ejemplo de organismo que la presenta.		

Sistema reproductor masculino

El sistema reproductor masculino puede ser dividido, a grandes rasgos, en cuatro regiones principales: los **testículos** (gónadas masculinas), un **sistema complejo de conductos** (epidídimo, conductos deferentes y la uretra, entre otros), tres **glándulas exocrinas** (próstata, vesículas seminales y glándulas bulbouretrales o de Cowper) y el **pene**. En el esquema de esta página se muestran los principales componentes del sistema reproductor masculino y cómo se relacionan.

Actividad

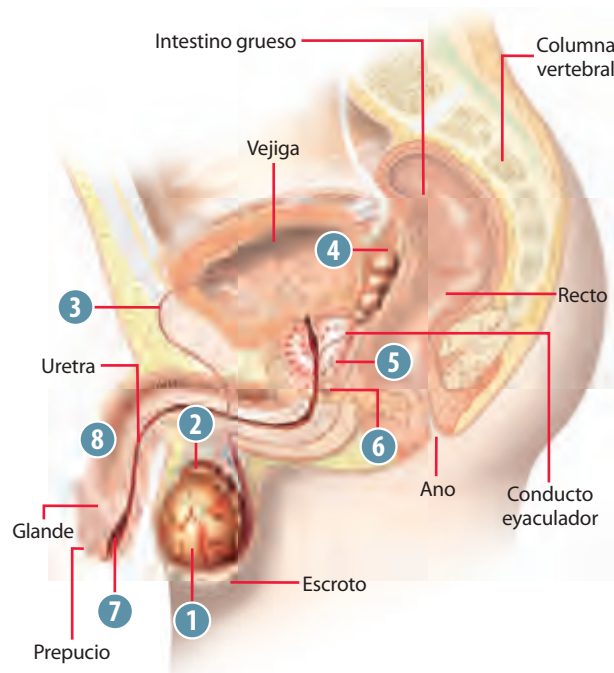
1. A partir del esquema y de la información de los recuadros, **indica**, de forma secuencial, el camino que deben seguir los espermatozoides desde su formación hasta su eyaculación.
2. Elabora un cuadro **comparativo** respecto de las secreciones que aporta cada una de las glándulas exocrinas. Considera para ello los siguientes criterios: la estructura que la secreta, la función y el aporte en volumen al líquido seminal.

Los **testículos** 1 son dos estructuras que miden alrededor de 3,5 cm cada una. Se ubican al interior de una bolsa de piel denominada escroto, que los mantiene a unos 2 °C por debajo de la temperatura abdominal. En ellos existe una intrincada red de túbulos seminíferos, en los que se forman los espermatozoides.

El **epidídimo** 2 es una estructura tubular, de unos 4 a 5 cm de longitud. Se ubica sobre el testículo y está encargado del almacenamiento y la maduración de los espermatozoides.

Los **conductos deferentes** 3 son dos tubos delgados (uno por testículo), de unos 30 cm de largo, que transportan a los espermatozoides desde el epidídimo hasta el conducto eyaculador, el que conecta con la uretra.

Las **vesículas seminales** 4 son dos glándulas exocrinas que secretan el 60% del líquido seminal. Este contiene fructosa y otros nutrientes que brindan energía a los espermatozoides.



El **pene** 8 permite depositar el semen en el tercio superior de la vagina. Tiene forma alargada, con un ensanchamiento en su extremo, llamado glande, y está recubierto por un doble pliegue de piel, llamado prepucio.

El **meato urinario** 7, conducto por donde desemboca la uretra, permite expulsar el semen hacia el exterior mediante la eyaculación. Por él también se evacua la orina, proveniente de la vejiga, durante la micción.

La **próstata** 5 es un órgano glandular, secreta sustancias que neutralizan la acidez de la vagina, protegen a los espermatozoides y ayudan a su movilidad. En la próstata confluyen la vía seminal y la urinaria. Sus secreciones constituyen aproximadamente el 30% del semen.

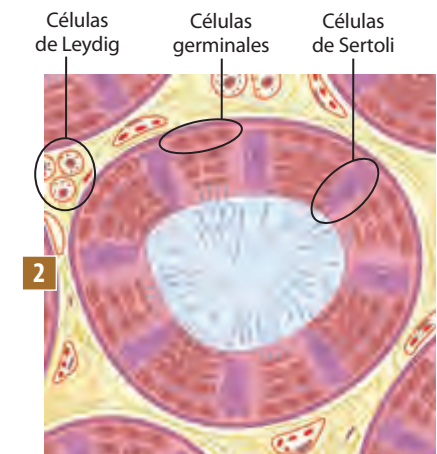
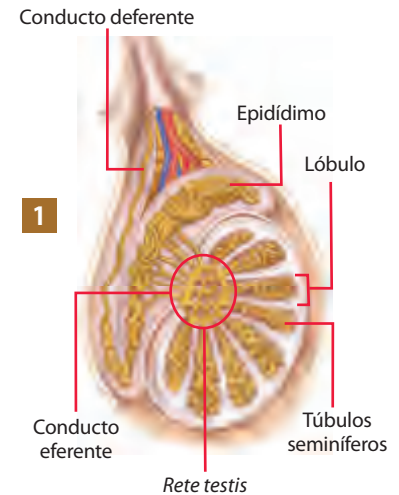
Las **glándulas bulbouretrales** o **de Cowper** 6 secretan una sustancia con un líquido alcalino y un moco que sirve para lubricar la uretra. Este aporta el 5% al líquido seminal.

Estructura de los testículos

Cada testículo se encuentra dividido en aproximadamente doscientos compartimentos que se denominan lóbulos. Cada lóbulo presenta células intersticiales o **células de Leydig** y pequeños conductos, los túbulos seminíferos, que se reúnen en la *rete testis* (red testicular) para luego comunicarse con el epidídimo a partir de los conductos eferentes. En los túbulos seminíferos encontramos **células germinales**, que formarán espermatozoides, acompañadas de las **células de Sertoli**, que les proporcionan apoyo mecánico, protección y diversos metabolitos relacionados con el proceso de espermatogénesis.

Los testículos como glándula endocrina

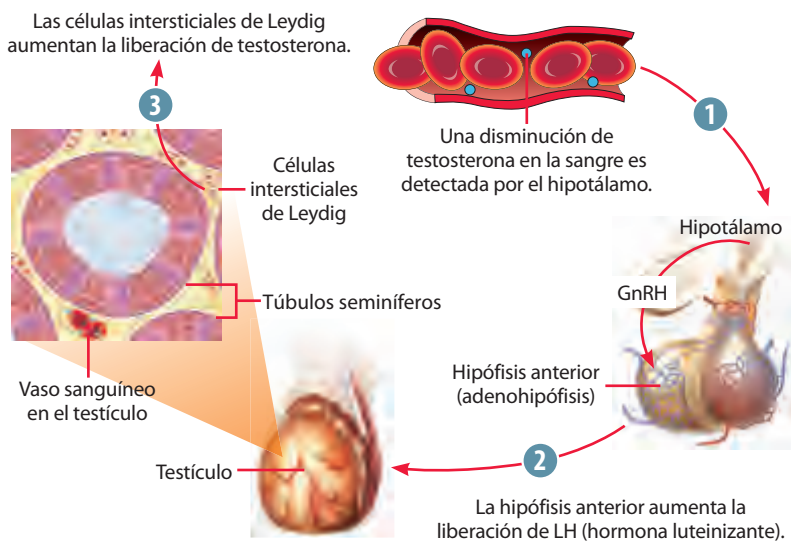
Los testículos no solo producen espermatozoides (gametos masculinos), sino que además son **glándulas endocrinas** que secretan hormonas, principalmente **andrógenos**, como la testosterona. Como vimos en la unidad 3, el hipotálamo produce la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), que estimula a la hipófisis anterior (o adenohipófisis) para que secrete **FSH** y **LH**. Luego, en el caso del hombre, estas hormonas se liberan a la sangre y a través de esta llegan a los testículos. La FSH actúa sobre las células de Sertoli haciendo que estas aumenten su tamaño y produzcan sustancias espermatogénicas, lo que estimula la producción de espermatozoides. Por su parte, la LH actúa sobre las células de Leydig y estimula la producción de hormonas sexuales, testosterona principalmente.



▲ Esquemización del interior de un testículo (1) y del interior de un túbulo seminífero (2).

Actividad

1. **Interpreta** correctamente la información del siguiente esquema sobre el funcionamiento del sistema de regulación de la testosterona y luego responde.



- ¿Cuál es el estímulo para la activación del mecanismo regulatorio?
- ¿Qué estructura es la encargada de la captación del estímulo?, ¿qué respuesta da?
- ¿Qué permite la respuesta dada por este mecanismo?, ¿qué consecuencias tiene esto en el testículo?

Para profundizar

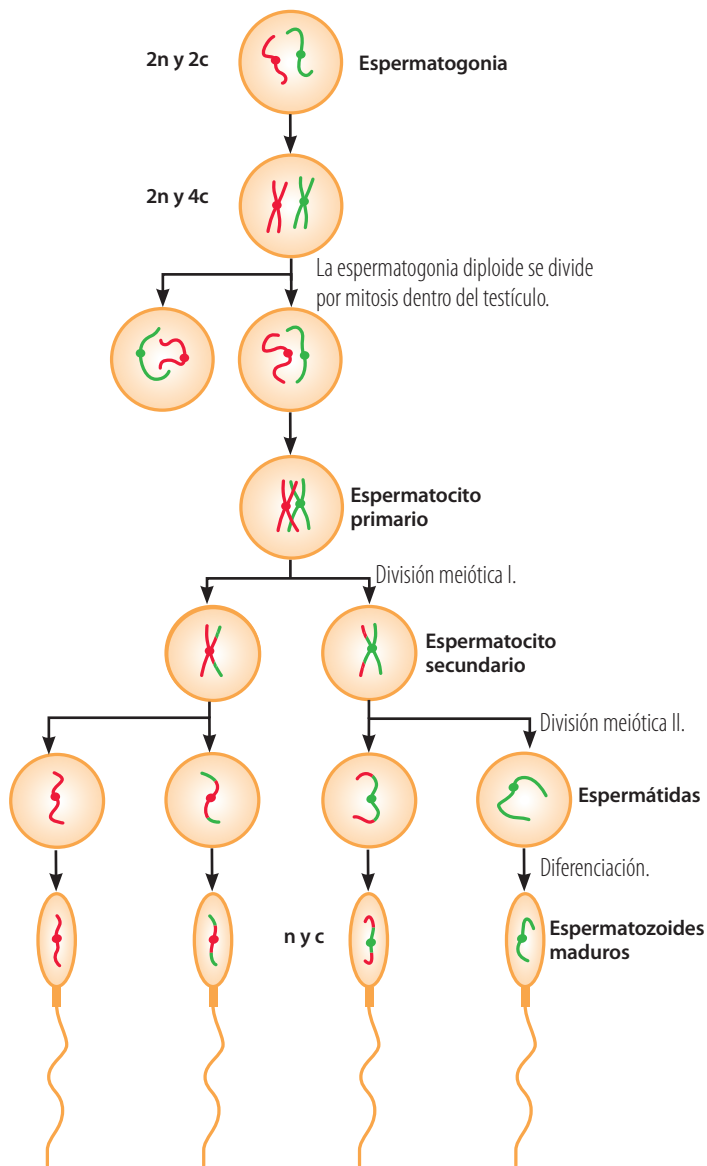
La **testosterona** está asociada con la aparición, durante la pubertad, de los caracteres sexuales secundarios en los hombres. Entre los principales cambios se encuentran: aumento de la masa corporal y de la estatura, crecimiento y desarrollo de los genitales, aumento de vello en la cara, axilas, pubis y otras partes del cuerpo, engrosamiento de la voz, desarrollo esquelético y de la masa muscular, proliferación de las glándulas sudoríparas y sebáceas, entre otros.

Espermatogénesis: los testículos como gónadas

Para profundizar

La espermatogénesis es un proceso biológico que puede verse afectado por la exposición prolongada a diversas sustancias químicas; por ejemplo, pesticidas y desechos industriales, entre otros contaminantes ambientales.

Los espermatozoides se forman al interior de los testículos mediante un proceso llamado **espermatogénesis**, que se lleva a cabo en los túbulos seminíferos, en cuyas paredes hay células germinales primordiales que se dividen continuamente, desde la pubertad, durante toda la vida del hombre. Los espermatozoides son el producto de esa división, que involucra procesos de mitosis, meiosis y transformaciones celulares. La espermatogénesis consta de tres etapas principales: **fase proliferativa**, **fase meiótica** y **espermiogénesis**, las que se esquematizan a continuación:



Fase proliferativa

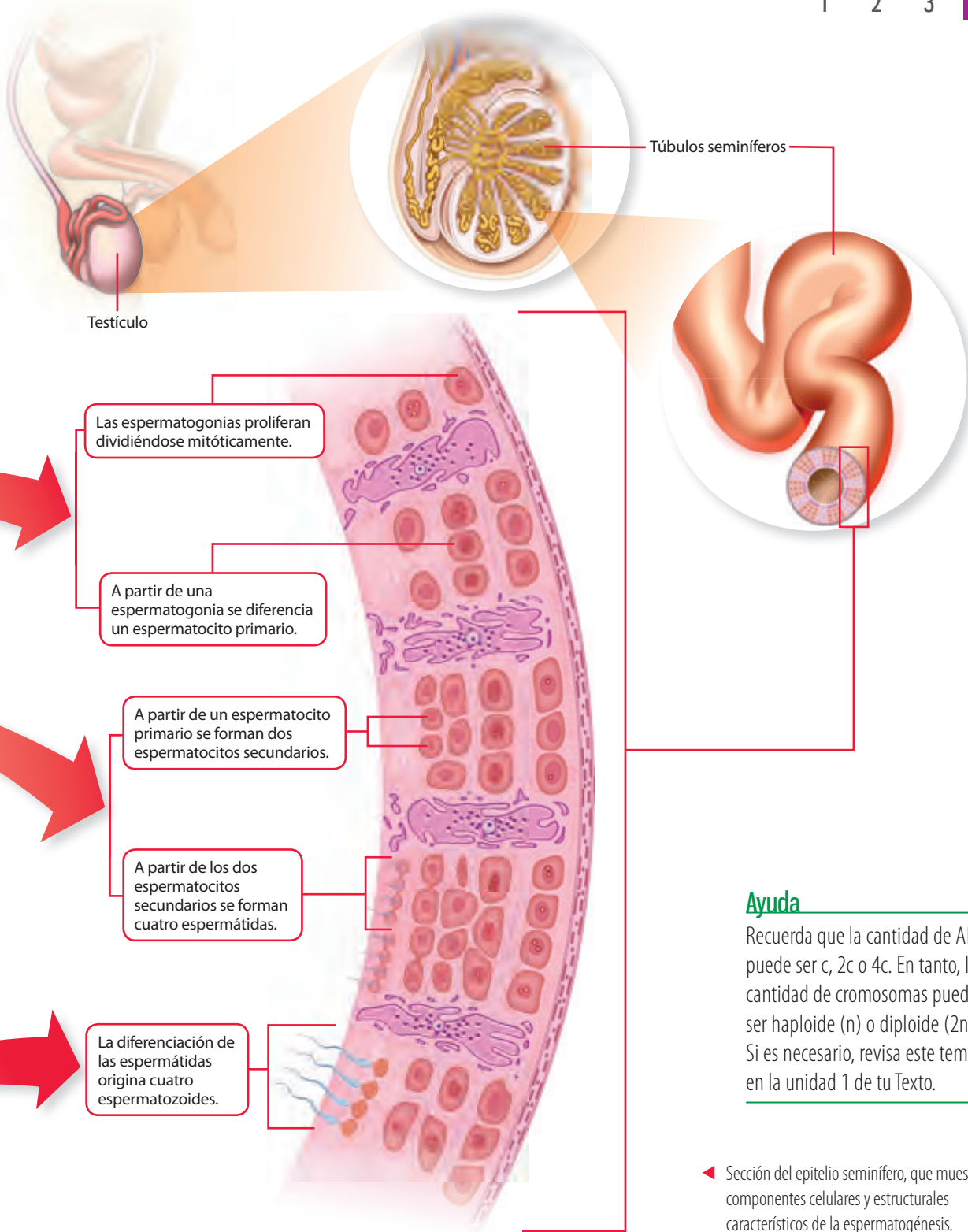
Las espermatogonias proliferan dividiéndose mitóticamente. Algunas de ellas dejan de proliferar, crecen y se diferencian en espermatocitos primarios.

Fase meiótica o maduración

Los espermatocitos primarios entran en la primera división meiótica, en la que se entrecruzan los cromosomas homólogos y luego se originan dos espermatocitos secundarios, cada uno de los cuales contiene 22 cromosomas autosómicos duplicados y un cromosoma X o Y duplicado. Estos comienzan casi inmediatamente una segunda división meiótica, la que originará a las espermátidas, cada una de las cuales tiene un número haploide de cromosomas simples.

Espermiogénesis

Las espermátidas se transforman en espermatozoides mediante modificaciones, tales como la formación del flagelo, la condensación de la cromatina nuclear, la disminución del volumen citoplasmático y la formación del acrosoma, organelo que contiene enzimas hidrolíticas de importancia para el proceso de fecundación.



Actividad

1. A partir de lo anterior, realiza la siguiente actividad.

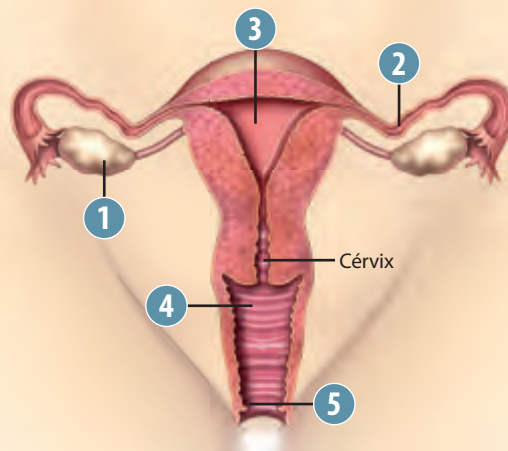
- Completa** en tu cuaderno la cantidad de ADN y de cromosomas en cada uno de los estados celulares de la espermatogénesis. Revisa la sección *Ayuda*. ¿En qué estado se pueden encontrar células haploides?
- ¿Cuál es la importancia del proceso de maduración y de espermiogénesis? **Explica**.
- ¿Cuántos espermatozoides se formarán a partir de un espermatocito primario? **Explica**.

Sistema reproductor femenino

El sistema reproductor de la mujer puede ser dividido en **genitales internos**, que agrupan a la vagina, al útero, a las trompas de Falopio (a veces denominadas oviductos) y a los ovarios, y en **genitales externos**, constituidos principalmente por la vulva. A continuación se muestran los principales componentes del sistema reproductor femenino y cómo se relacionan sus funciones.

Los **ovarios** ① son dos órganos ovalados adyacentes a las trompas de Falopio, uno a cada lado del útero. Miden aproximadamente 4 cm en una mujer adulta. En ellos se producen y liberan los **ovocitos**.

Las **trompas de Falopio** ② son dos estructuras de 10 cm, aproximadamente, con un extremo ancho, que tiene prolongaciones filamentosas llamadas fimbrias, y un extremo más delgado, que conecta con el útero. Su principal función es conducir hacia el útero el ovocito liberado por el ovario.



La **vagina** ④ es una estructura muscular elástica de aproximadamente 8 a 10 cm y forma tubular. Conecta con el útero a través del cérvix o cuello. Posee tres funciones principales: recibir el semen, posibilitar la expulsión del flujo menstrual y permitir el descenso del bebé durante el parto.

La **vulva** ⑤ brinda protección a los genitales internos. Está formada por una zona de pliegues llamados **labios mayores**, ubicados en la parte más externa, y **labios menores**, en la parte interna. Detrás de la unión de los labios menores se encuentra el **clítoris**, que es una estructura eréctil muy sensible. Entre los labios menores se localiza el orificio de la uretra (meato urinario) y el orificio de la vagina.

El **útero** ③ es un órgano hueco, de unos 8 cm de largo y 4 cm de ancho en una mujer que no está embarazada. Constituido principalmente por tejido muscular y mucoso, se divide en dos regiones: el **cérvix** (o cuello), conectado con la región superior de la vagina, y el **cuerpo**, más ancho y con apariencia triangular, donde generalmente se receptiona, implanta y desarrolla el embrión. El útero posee tres capas: el **perimetrio** o capa externa; el **miometrio** o capa intermedia muscular, responsable de las contracciones uterinas, y el **endometrio** o capa interna.

Para profundizar

Los **estrógenos** están asociados con el desarrollo de los órganos reproductores y la aparición, durante la pubertad, de los caracteres sexuales secundarios en las mujeres. Entre los principales cambios se encuentran: aumento de la masa corporal y de la estatura, desarrollo de las glándulas mamarias, aumento del volumen de las caderas, aparición de vello corporal, aumento de los depósitos de grasa, entre otros.

Función endocrina del ovario

Los ovarios no solo producen ovocitos (gametos femeninos), sino que además son **glándulas endocrinas** que secretan hormonas, especialmente de tipo **esteroidal**, como los estrógenos (por ejemplo, estradiol) y la progesterona.

Como vimos en la unidad anterior, el hipotálamo produce la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), que estimula a la hipófisis anterior (o adenohipófisis) para que secrete **FSH** y **LH**. Luego, en el caso de la mujer, estas hormonas se liberan a la sangre y a través de esta llegan a los ovarios.

La FSH estimula la selección, crecimiento y maduración de los ovocitos durante el desarrollo folicular, mientras que la LH estimula la mantención del cuerpo lúteo y la producción de hormonas sexuales femeninas: estrógenos y progesterona, principalmente.

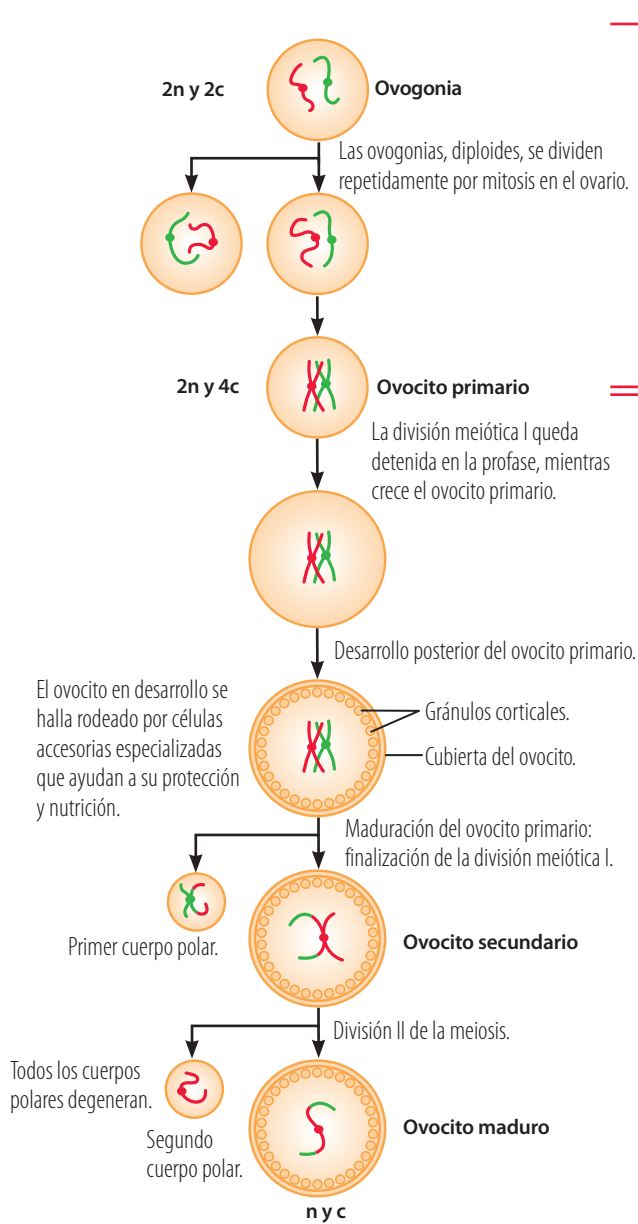
Ovogénesis: los ovarios como gónadas

Los ovocitos se forman al interior de los ovarios mediante un proceso llamado **ovogénesis**. Los ovocitos de una mujer se generan todos antes de su nacimiento. Cuando nace una niña, cada uno de sus ovarios contiene ya una reserva de ovocitos en unas pequeñas cavidades denominadas folículos.

Durante los primeros diez años de vida, aproximadamente, los folículos casi no experimentan cambios. A partir de la pubertad, comienza su maduración cíclica y tienen lugar las primeras ovulaciones. En el transcurso de su vida, una mujer ovula unas quinientas veces, hasta que, hacia los cincuenta años, se produce la menopausia, cuando ya quedan pocos folículos en el ovario y cesan dichas ovulaciones. A continuación se presentan los principales eventos de la ovogénesis:

Para profundizar

El cuerpo polar I o polocito I se genera debido a la distribución desigual del citoplasma del ovocito I. Cuando el polocito I se divide por meiosis II, genera dos nuevos corpúsculos, llamados polocitos II.



Fase proliferativa

Las ovogonias se desarrollan a partir de células germinales primordiales que durante la embriogénesis migran hacia la gónada en desarrollo (ovario). Tras un cierto número de divisiones mitóticas, las ovogonias empiezan la división meiótica I, momento desde el cual reciben el nombre de ovocitos primarios. En el embrión humano estos se forman entre los tres y ocho meses de gestación y permanecen detenidos en la profase I hasta que la mujer entra en la pubertad.

Fase meiótica o maduración

En este momento, y de forma periódica, un pequeño número de ovocitos madura bajo la influencia hormonal, creciendo y completando la división meiótica I, y se constituyen en ovocitos secundarios, los que finalmente pasan por la división meiótica II y se convierten en ovocitos maduros.

En el caso humano, la maduración de los ovocitos se encuentra detenida en la metafase de la meiosis II, y el ovocito secundario solo completa la meiosis II tras la fecundación. Por eso el término "óvulo" no es considerado, ya que, una vez terminada la meiosis II, el ovocito maduro se convierte inmediatamente en cigoto.

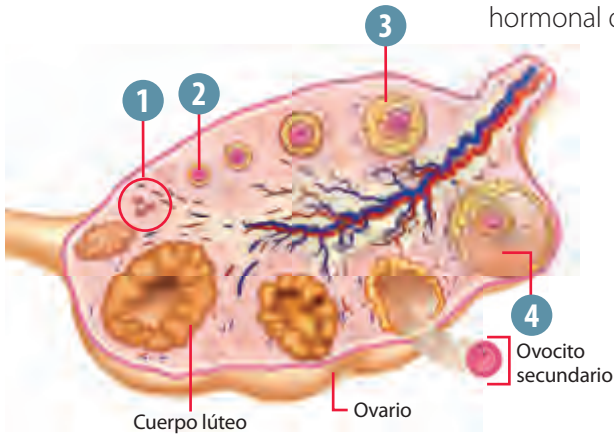
Desarrollo folicular y ovogénesis

Para profundizar

Al momento del nacimiento de una niña, en cada ovario hay aproximadamente 200 000 a 2 000 000 de ovocitos primarios. Alrededor de 40 000 siguen presentes al alcanzar la pubertad, y alrededor de 450 a 500 podrán madurar y ser ovulados a lo largo de la vida fértil de la mujer.

A partir de su formación como ovocitos primarios, estas células son rodeadas por una capa de células foliculares que tienen un origen embrionario distinto. Es así como los ovocitos primarios –que inician la profase de la meiosis I durante el desarrollo fetal, pero no la completan hasta luego de la pubertad– junto con esta capa de células foliculares pasan a denominarse **folículos primordiales** (ver 1 en el esquema). Aproximadamente una vez por mes, unos pocos folículos primordiales comienzan a crecer, convirtiéndose en **folículos primarios** (ver 2) debido a la estimulación provocada por la llegada de FSH y LH por parte de la adenohipófisis. Luego, algunos de estos se convierten en **folículos secundarios** (ver 3), al diferenciarse las células que los rodean. Finalmente, solo un folículo secundario se agranda y se convierte en un **folículo maduro** o de **De Graaf** (ver 4).

Luego de la ovulación, los restos del folículo forman una estructura conocida como cuerpo lúteo, que, como veremos más adelante, participa en el control hormonal del ciclo reproductor femenino.



▲ Desarrollo folicular y ovogénesis en el ovario.

Relación entre el desarrollo folicular y la ovogénesis

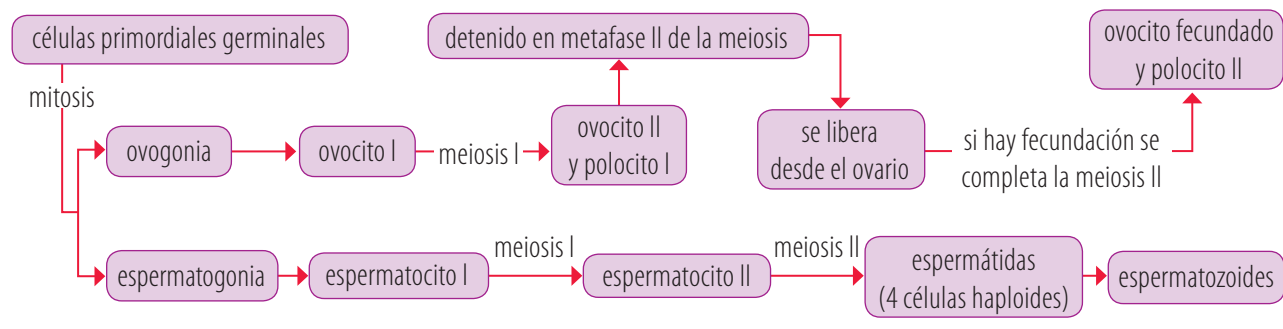
Células de la ovogénesis	Estados del desarrollo folicular
Ovocito primario.	Folículo primordial.
Ovocito primario (en profase I).	Folículo primario.
Ovocito primario (detenido en profase I).	Folículo secundario.
Ovocito secundario.	Folículo maduro (de De Graaf).

Actividad

1. **Construye** en tu cuaderno una tabla **comparativa** entre los procesos de espermatogénesis y ovogénesis, considerando los siguientes eventos:

inicio de la meiosis - resultado de la meiosis I - resultado de la meiosis II - continuidad de la meiosis - número de células resultantes por gonia.

2. **Completa** el siguiente esquema en tu cuaderno con la cantidad de ADN y cromosomas para cada uno de los tipos celulares resultantes de la espermatogénesis y de la ovogénesis.

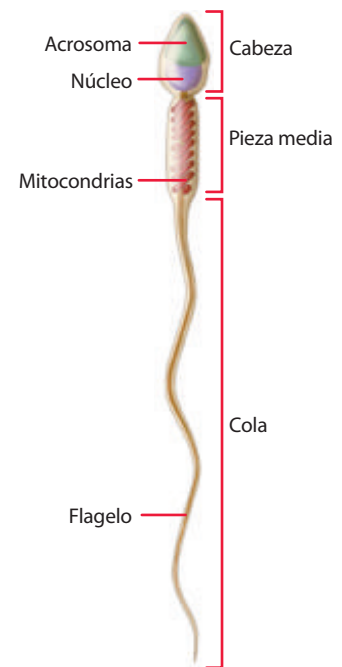


Gametos: células reproductoras

Como vimos anteriormente, los gametos son células especializadas que transportan la información hereditaria de los progenitores para formar la primera célula de un nuevo individuo, la **célula huevo** o **cigoto**. Los gametos masculinos son los espermatozoides, y los femeninos, los ovocitos. Aunque ambos desempeñan una función común, tienen características distintas.

Los espermatozoides

Son células de tamaño diminuto, muy especializadas (en los seres humanos tienen una cabeza de 5 µm y una cola de 50 µm de longitud, aproximadamente). La porción delantera, denominada **cabeza**, contiene el núcleo con el material hereditario paterno. En su extremo se forma una vesícula secretora derivada del aparato de Golgi, el acrosoma, que contiene enzimas líticas que le permiten al espermatozoide disolver la zona pelúcida del ovocito durante la fecundación. En la **pieza media** posee abundantes mitocondrias que le suministran la energía necesaria para mover su **cola**, formada por un largo flagelo.

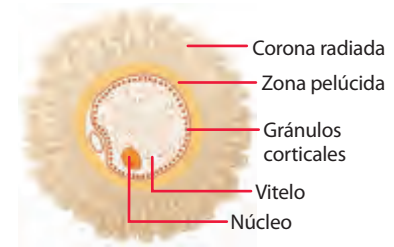


▲ Representación gráfica de un espermatozoide.

Los ovocitos

Son células de gran tamaño (en los seres humanos, 100 µm de diámetro, aproximadamente). Su núcleo contiene la información hereditaria materna. En el citoplasma se almacena una compleja mezcla de sustancias de reserva que constituyen el vitelo, destinadas a nutrir al embrión en las primeras fases de su desarrollo, y pequeñas vesículas derivadas del aparato de Golgi, los gránulos corticales, que se disponen en su periferia y lo protegen.

Alrededor de la membrana plasmática existe una envoltura transparente, la zona pelúcida, y sobre ella, una corona radiada, formada por células foliculares. El núcleo se localiza en un polo celular, formando la vesícula germinativa.



▲ Representación gráfica de un ovocito y de las estructuras que lo rodean.

Actividad

1. A partir de lo estudiado, **completa** la siguiente tabla **comparativa** entre ambos tipos de gametos humanos.

Característica	Ovocito	Espermatozoide
Cantidad liberada.	1 por mes.	200 a 300 millones en una eyaculación.
Movilidad		
Ploidía		
Nutrientes		
Lugar de formación.		
Viabilidad	De 12 a 24 horas, aproximadamente.	72 horas en promedio, si bien se han reportado tiempos superiores.
Forma		

Recuerda

La formación de espermatozoides y ovocitos está dada por procesos similares, sustentados fundamentalmente en la meiosis. Como resultado de la espermatogénesis y de la ovogénesis, si bien se forman células haploides, estos gametos difieren en características morfológicas y funcionales.

Ciclo reproductor femenino

Para profundizar

La duración del ciclo menstrual es diferente entre las mujeres y también durante la vida reproductiva de cada mujer. No obstante, en la mayoría dura entre 24 y 36 días, siendo frecuentes ciclos de 26, 27 y 28 días.

Menstruación ①

La menstruación es el hecho más evidente del ciclo menstrual y por esta razón marca el inicio de este. Corresponde al desprendimiento sanguinolento del tejido endometrial.

Fase preovulatoria o folicular ②

Transcurre desde el término de la menstruación hasta la ovulación. Es muy variable en cuanto a tiempo y, por lo tanto, hace que el ciclo presente modificaciones. Esta fase también es conocida como estrogénica, debido a la importante acción de los estrógenos, y como folicular, considerando lo que ocurre con los folículos al interior de los ovarios.

Simbología del gráfico	
FSH	
LH	
Estrógenos	
Progesterona	

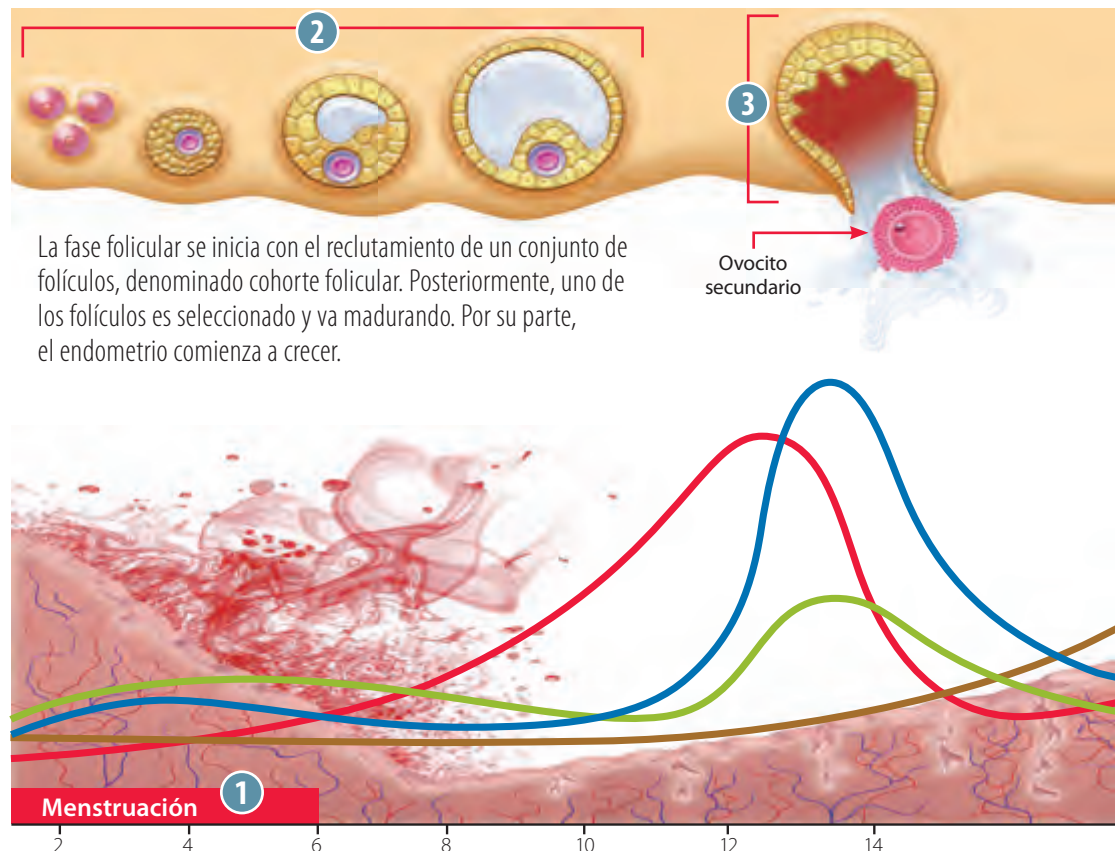
▲ Las líneas representan concentraciones sanguíneas de las hormonas.

Luego de la pubertad, en la mujer suceden una serie de cambios hormonales que en su conjunto le otorgan la capacidad para ser madre. En términos generales, estos cambios reciben el nombre de **ciclo reproductor femenino** o **ciclo menstrual** (del latín *mensis* = mes), pues su duración, en la mayoría de los casos, es cercana a un mes. Este ciclo reproductor abarca, a su vez, tanto al **ciclo ovárico** como al **ciclo uterino**. El primero de ellos hace referencia al crecimiento y a la maduración del folículo ovárico, el que luego expulsará al ovocito mediante la **ovulación**, siendo este el evento más importante del ciclo menstrual. Por su parte, el ciclo uterino se refiere a los cambios que experimenta el endometrio, tanto en grosor como en irrigación, durante el ciclo reproductor.

El ciclo reproductor femenino es variable en días, pero para la siguiente explicación se considera un ciclo de 28 días con dos fases: fase preovulatoria y fase posovulatoria. Además, el ciclo posee dos eventos muy importantes: la menstruación y la ovulación.

Ovulación ③

En la ovulación, el folículo maduro libera al ovocito, que luego es transportado a la trompa de Falopio. Generalmente, la ovulación sucede el día 14 del ciclo, pero no siempre es así a causa de la variabilidad de la fase folicular precedente.



Regulación hormonal del ciclo

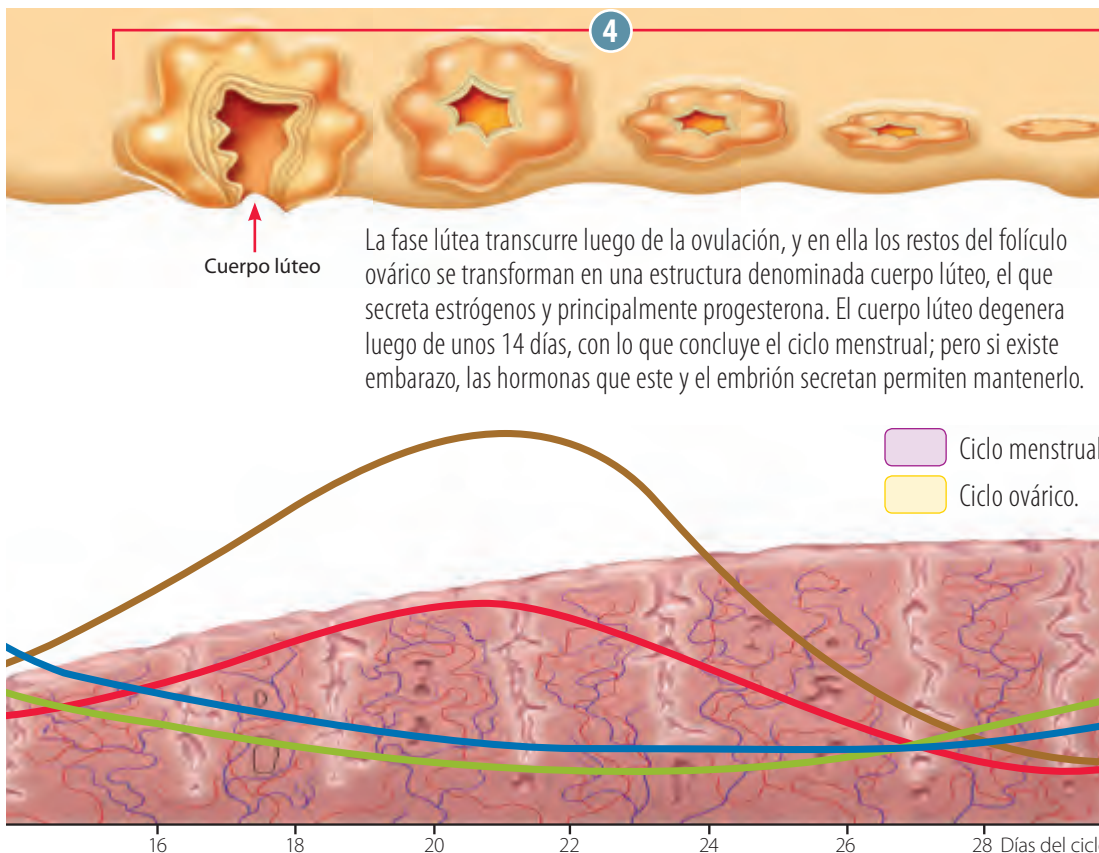
El ciclo menstrual es un fenómeno biológico sujeto a una sutil regulación hormonal. Los cambios endocrinos experimentados pueden ser estudiados desde el punto de vista de las fases que conforman este ciclo. Cada una de las variaciones hormonales está representada en el esquema de la doble página.

Actividad

1. Considerando la información de la doble página, responde.
 - a. ¿Cuál es el evento más importante del ciclo menstrual femenino? **Argumenta.**
 - b. ¿Cuáles son las fases del ciclo menstrual?, ¿en cuál de ellas se produce la ovulación?
 - c. En la figura, ¿cómo varía el endometrio en la fase lútea?, ¿en qué fase se produce principalmente su desprendimiento? **Explica.**

Fase posovulatoria o lútea 4

Transcurre desde que ha sucedido la ovulación hasta el inicio de la próxima menstruación. Al contrario que la etapa preovulatoria, su duración es constante, 14 días. Esta fase también es conocida como progestativa, debido a la preponderante acción de la progesterona, y como lútea, considerando el ciclo ovárico.



Fase folicular en el ovario 2

La **fase folicular temprana** comienza con los primeros días de la menstruación y en ella los niveles de FSH y de LH aumentan. El incremento de FSH permite la selección y desarrollo de una cohorte folicular. La LH, por su parte, regula la maduración de estos folículos. Los niveles estrogénicos son bajos, y se incrementan a medida que se desarrolla el folículo dominante. La progesterona se mantiene baja. En la **fase folicular tardía** se produce un aumento progresivo de los estrógenos sanguíneos, lo que es detectado por el hipotálamo para inhibir la secreción de FSH.

Ovulación 3

A causa del aumento de estrógenos, se reduce la secreción de FSH e incrementa la de LH (**retroalimentación positiva**), con lo que esta alcanza su *peak* el día anterior a la ovulación. Esta cúspide de LH hace que el folículo libere al ovocito (ovulación), lo que ocurre solo una vez en el ciclo.

Fase lútea en el ovario 4

Ocurrida la ovulación, el cuerpo lúteo comienza a secretar estrógenos y progesterona. Este aumento permite mantener al endometrio y facilitar la implantación embrionaria si se ha producido un embarazo. Al término de esta fase disminuyen los niveles de estrógenos y progesterona y se produce la menstruación, con lo que se iniciará otro ciclo.

I. Marca la alternativa correcta.

- 1** ¿Cuál de las siguientes aseveraciones es una característica de la reproducción sexual?
- La generación de individuos idénticos a su progenitor.
 - La participación de dos progenitores.
 - La reducida variabilidad genética de los descendientes.
 - La generación de una gran cantidad de descendientes.
 - Ser una estrategia reproductiva habitual de microorganismos.
- 2** ¿Cuál(es) característica(s) es(son) propia(s) de la reproducción asexual?
- Generar descendientes genéticamente distintos a sus progenitores.
 - Requerir exclusivamente de la división celular mitótica.
 - Ser un mecanismo exclusivo de organismos unicelulares.
- Solo II.
 - Solo III.
 - I y II.
 - I y III.
 - I, II y III.
- 3** ¿Cuál es la principal hormona responsable de la aparición de los caracteres sexuales secundarios en los hombres?
- La hormona luteinizante.
 - El estradiol.
 - La progesterona.
 - La testosterona.
 - La hormona estimulante de los folículos.
- 4** La aparición de los caracteres sexuales secundarios en las mujeres es responsabilidad de:
- la hormona estimulante de los folículos.
 - la hormona luteinizante.
 - la progesterona.
 - los estrógenos.
 - la testosterona.
- 5** Con respecto al sistema reproductor femenino, ¿qué es correcto afirmar?
- Que en sus gónadas, los ovarios, maduran unos 500 ovocitos diariamente.
 - Que en él se encuentra el útero, cuya principal función es permitir la implantación del embrión.
 - Que está sujeto a la regulación por parte del hipotálamo y de la hipófisis.
- Solo I.
 - Solo II.
 - Solo III.
 - I y II.
 - II y III.
- 6** ¿Cuál(es) de las siguientes afirmaciones es(son) correcta(s) respecto de la espermatogénesis?
- En la fase proliferativa, algunas espermatogonias proliferan y se diferencian hasta espermatozoides primarios.
 - En la fase meiótica se originarán los espermatozoides secundarios, células que son diploides.
 - En la espermiogénesis, el espermatozoide adquiere su morfología definitiva.
- Solo I.
 - Solo III.
 - I y III.
 - II y III.
 - I, II y III.
- 7** ¿Cuál(es) de las siguientes afirmaciones es(son) correcta(s) sobre las fases de la ovogénesis?
- En el período embrionario, las células germinales primordiales migran hacia el lugar donde se formarán las gónadas.
 - Durante la proliferación, las ovogonias se dividen, generando ovocitos primarios diploides.
 - Todos los ovocitos formados en la gestación serán ovulados durante la vida reproductiva de la mujer.
- Solo I.
 - I y II.
 - I y III.
 - II y III.
 - I, II y III.

8 ¿En qué estado(s) de la espermatogénesis se pueden encontrar células haploides?

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

9 En la espermatogénesis, ¿cuál de los siguientes tipos celulares presenta una cantidad de ADN igual a $2c$ y es haploide?

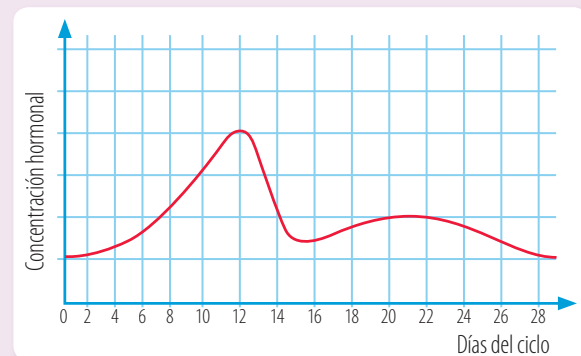
- A. Célula germinal.
- B. Espermatogonia.
- C. Espermatocono I.
- D. Espermatocono II.
- E. Espermátida.

10 Respecto del ciclo reproductor femenino, ¿qué es correcto afirmar?

- I. Que en la fase folicular tardía se produce un aumento progresivo de los estrógenos en la sangre.
 - II. Que existe un mecanismo de retroalimentación negativa que estimula la liberación de más LH desde la hipófisis.
 - III. Que en la fase lútea se produce un notorio descenso en los niveles de progesterona.
- A. Solo I. D. I y II.
 B. Solo II. E. I y III.
 C. Solo III.

11 En el gráfico se muestra la concentración de una hormona fundamental durante el ciclo menstrual. ¿A qué hormona corresponde?

- A. Luteinizante (LH).
- B. Liberadora de gonadotropina (GnRH).
- C. Estrógenos.
- D. Estimulante de los folículos (FSH).
- E. Testosterona.



II. Responde las siguientes preguntas.

- 1 ¿La liberación de los gametos es continua tanto en hombres como en mujeres? Explica.
- 2 ¿Qué podría suceder si durante la fase folicular del ciclo menstrual no se libera la cantidad apropiada de FSH? ¿Qué podría suceder si ocurriera lo mismo con la LH? Justifica en ambos casos.
- 3 Identifica cada una de las siguientes funciones con el órgano correspondiente.

Formación de ovocitos - Conducción del ovocito al útero - Recepción e implantación del embrión - Expulsión del flujo menstrual.

Yo me evaluó

Marca con un los aprendizajes logrados hasta ahora y evalúa tu desempeño.

- Pude entender las principales diferencias entre las estrategias de reproducción.
- Pude reconocer las principales características morfológicas y funcionales de los sistemas reproductores masculino y femenino, y de los gametos.

- Pude comprender los principales procesos que se desarrollan durante la gametogénesis.
- Pude entender los eventos fundamentales del ciclo menstrual, su regulación y características.

Fecundación: el inicio de la vida humana

Para profundizar

Para poder fecundar a un ovocito, los espermatozoides experimentan varios cambios en el **tracto reproductor femenino**, que, en su conjunto, son denominados **capacitación**. Estos cambios dejan preparado al espermatozoide para poder interactuar y unirse al ovocito.

La **fecundación** constituye el momento en que el espermatozoide se fusiona con el ovocito. Es un proceso fascinante, ya que la unión de los dos gametos origina una nueva célula, el **cigoto**, organismo humano que iniciará un desarrollo continuo, gradual y altamente regulado. El cigoto **es una célula viva**, pues proviene de gametos que también lo son.

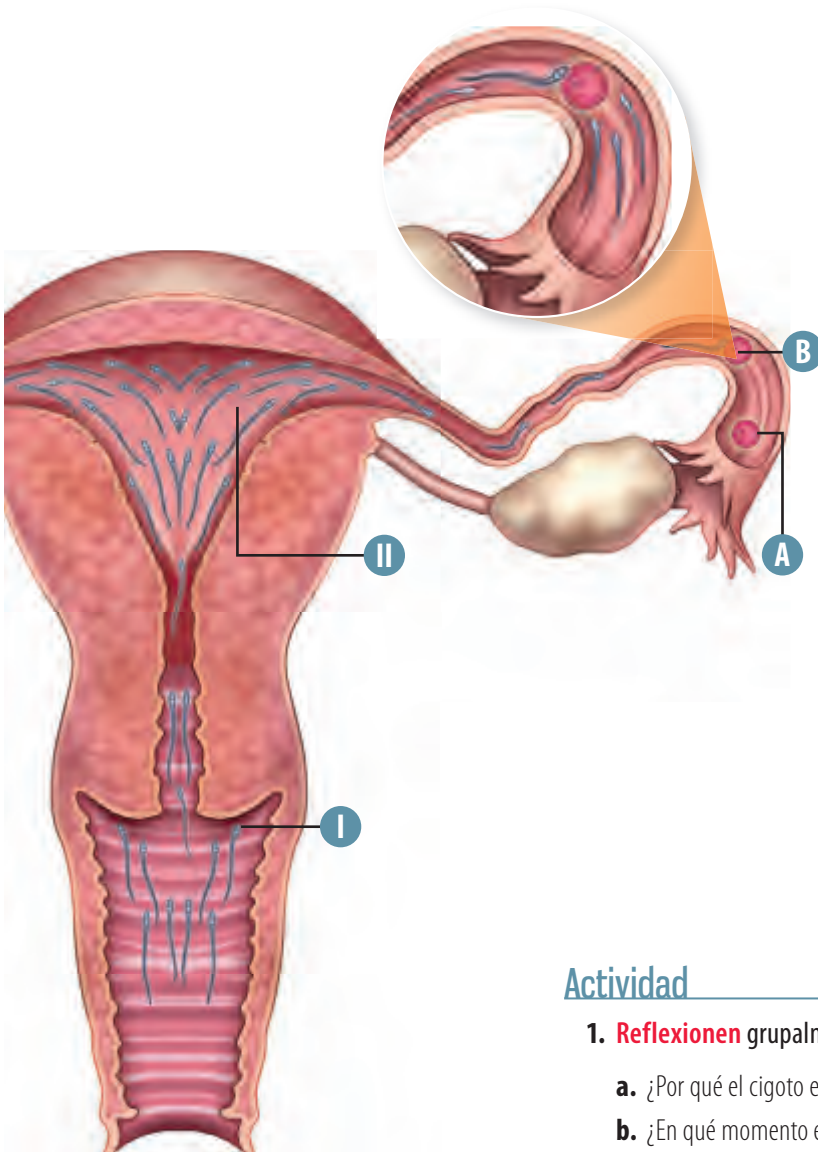
La fecundación implica el inicio de una nueva vida humana; por ello, concebir un hijo es una decisión que debe ser tomada con gran madurez y responsabilidad por parte de los padres. A continuación se describen los principales eventos previos a la fecundación:

En el acto sexual, el semen es depositado en el **tercio superior de la vagina I**. Desde ahí, millones de espermatozoides comienzan a ascender, encontrándose con el **moco cervical**, hidrogel producido en el cérvix, que es muy importante en la **selección y transporte** de los espermatozoides.

Los espermatozoides han ascendido por el cérvix y, desde el cuerpo del útero, comienzan a subir hacia las trompas de Falopio **II**. Los espermatozoides son orientados hacia su encuentro con el ovocito por sustancias llamadas **quimioattractantes** (algunas hormonas y metabolitos).

El ovocito ha sido liberado del ovario y comienza su recorrido por las trompas de Falopio **A**.

El ovocito ha avanzado hasta llegar al primer tercio de la trompa de Falopio **B**, región más cercana al ovario. Aquí se encuentra con los pocos espermatozoides que han podido llegar a ese lugar. La mayor parte de las veces, solo un espermatozoide es capaz de atravesar las cubiertas del ovocito (aún en estado de ovocito II) y fusionarse a su membrana plasmática, para que se produzca la **fecundación**. Una vez fecundado, el propio ovocito impide el ingreso de otro espermatozoide.



Actividad

1. **Reflexionen** grupalmente y luego respondan.

- ¿Por qué el cigoto es un organismo vivo?
- ¿En qué momento específico se inicia la vida humana?
- ¿Por qué es tan importante el moco cervical?
- ¿Cuál es la relevancia de la capacitación espermática?

Etapas de la fecundación

La fecundación no es un fenómeno inmediato, sino que sucede en varias etapas. A continuación se representan los principales eventos que caracterizan a la fecundación humana.

1 Corona radiada
Membrana plasmática
Zona pelúcida
Pronúcleo femenino

2 La corona radiada se dispersa

3 Espermatozoide

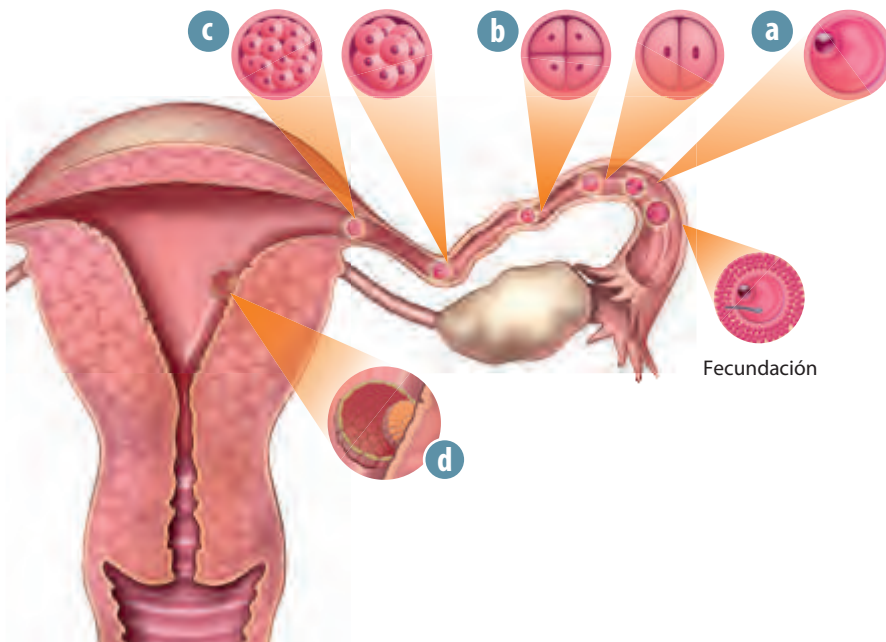
4 Pronúcleo masculino
Se organiza el huso mitótico
Pronúcleo femenino

5 Cromosomas alineados

- El **ovocito** es transportado a través del oviducto y aún no se ha encontrado con el espermatozoide.
- El espermatozoide se encuentra con el ovocito y comienza a penetrar por la **corona radiada** (células de la granulosa). Al entrar en contacto con la **zona pelúcida**, ocurre la reacción acrosómica, liberando enzimas que le permiten atravesarla y unirse a la membrana plasmática del ovocito.
- Cuando se une el espermatozoide con la membrana plasmática del ovocito, esta se vuelve impenetrable, lo que impide la unión de otros espermatozoides. El ovocito, que se encontraba en el estado de **ovocito II**, completa la meiosis.
- En esta fase se observa en el cigoto la formación del **pronúcleo masculino** (proveniente del espermatozoide) y la descondensación del **pronúcleo femenino** (originario del ovocito). Dentro de los pronúcleos se llevan a cabo los procesos de duplicación del ADN.
- Las membranas nucleares de los pronúcleos se desintegran, evento que marca la **formación del cigoto**, lo que restituye los **23 pares** de cromosomas homólogos, es decir, **46 cromosomas totales**. Los cromosomas se alinean en un solo huso mitótico y el cigoto comienza a dividirse, lo que da origen a un **embrión**.

Primeras fases del desarrollo embrionario

Luego de la fecundación, el embrión formado es transportado por la trompa de Falopio hasta el útero, donde se implantará. Durante este viaje, el embrión experimenta una serie de cambios y de divisiones mitóticas, fenómeno conocido como **segmentación**, el que forma a las células, llamadas **blastómeros**. En la figura inferior se muestran las sucesivas fases de división que experimenta el embrión durante su primera semana de vida.



Luego de su formación, el **cigoto** comenzará a dividirse y formará el embrión **a**.

A través de múltiples divisiones mitóticas, el cigoto origina células de menor tamaño, llamadas **blastómeros b**.

Se forma la **mórula c**, estado constituido por unos 16 a 64 blastómeros, de forma esférica y estructura compacta, con apariencia semejante a una mora (de ahí su nombre).

Alrededor de una semana después de la fecundación ya se ha formado el **blastocisto**, estado que posee en su interior una cavidad llamada **blastocelo**. El blastocisto se implantará en la mucosa uterina **d**.

Etapas experimentales

1. Planteamiento del problema.
2. Formulación de hipótesis.
3. Procedimiento experimental.
4. Obtención de resultados.

5. Interpretación de resultados.

6. Elaboración de conclusiones.

¿Cómo se relaciona la interpretación con los resultados?

Los resultados se obtienen luego de hacer un experimento, y la interpretación que de ellos se hace consiste en expresar con palabras propias lo que se entiende de la información obtenida.

Pasos para interpretar los resultados

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

La fecundación en mamíferos ocurre mediante una serie de eventos. Uno de los más importantes es la **reacción del acrosoma**, que sucede en el espermatozoide. Esta reacción permite la liberación de varias enzimas desde el acrosoma, las que permiten la penetración del espermatozoide a través de la zona pelúcida, que es una matriz proteica que envuelve al ovocito.

La reacción acrosómica ha sido ampliamente estudiada, por lo que se ha logrado identificar una serie de receptores para diversas hormonas en el espermatozoide. Esto abre la posibilidad de que la reacción pueda ser regulada por las variaciones en los niveles de las hormonas presentes en el tracto reproductor femenino cuando los espermatozoides viajan por él.

Planteamiento del problema

Se ha reportado que el moco cervical posee cantidades variables de estrógenos (principalmente estradiol) durante el ciclo menstrual, en tanto que el fluido folicular (medio en el que se desarrolla el ovocito) presenta progesterona. Basados en lo anterior, un grupo de investigadores se planteó el siguiente problema:

¿Qué efecto tienen sobre la reacción del acrosoma la progesterona y el estradiol?

Formulación de hipótesis

Considerando lo anterior, formularon la siguiente hipótesis:

“El estradiol y la progesterona ejercen un efecto antagónico sobre la reacción acrosómica del espermatozoide humano”.

Procedimiento experimental

Para poner a prueba la hipótesis, diseñaron el siguiente experimento:

- Obtuvieron muestras seminales de hombres sanos.
- Posteriormente, las muestras fueron centrifugadas y obtuvieron una suspensión de espermatozoides.

Los espermatozoides fueron incubados en cuatro tubos, considerando los siguientes tratamientos:

Tubo 1: espermatozoides + medio de incubación + progesterona.

Tubo 2: espermatozoides + medio de incubación + estradiol + progesterona.

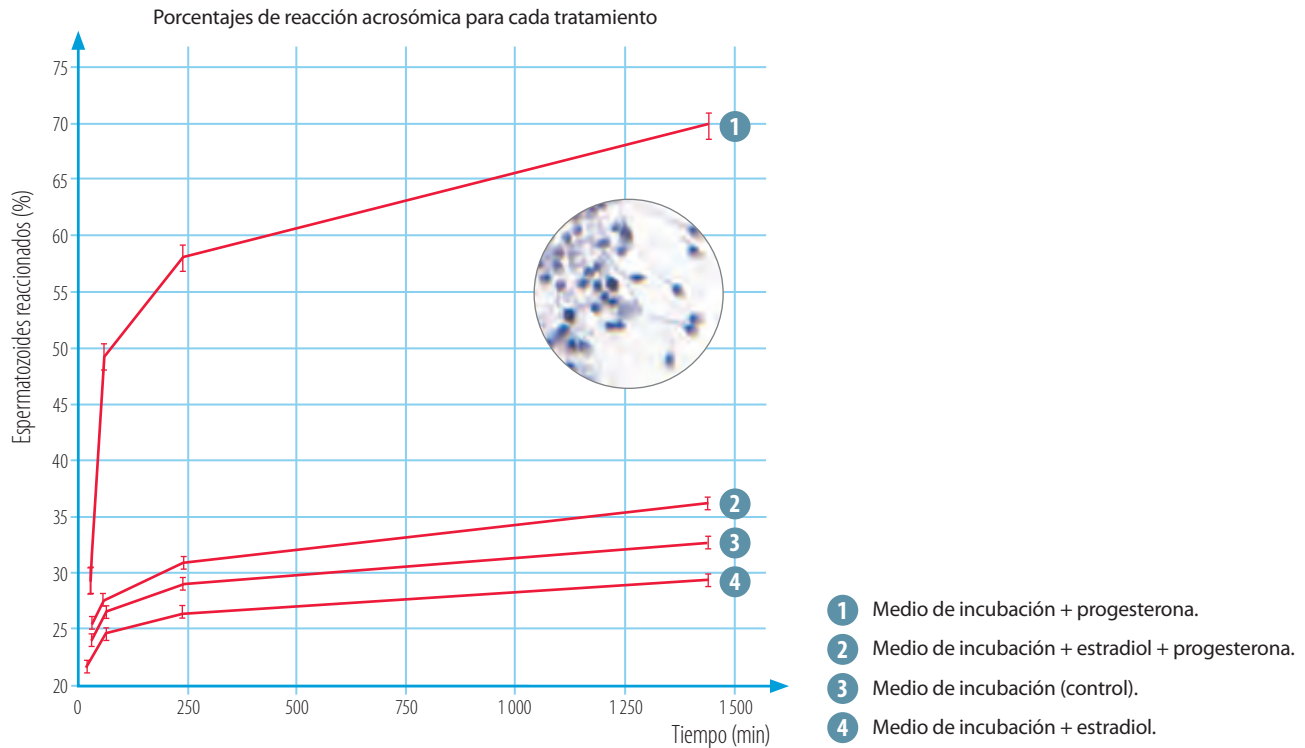
Tubo 3: espermatozoides + medio de incubación (tratamiento control).

Tubo 4: espermatozoides + medio de incubación + estradiol.

Finalmente, utilizaron un microscopio para evaluar la incidencia de ambas hormonas sobre la reacción del acrosoma. Dicho efecto se midió y se determinó el porcentaje de espermatozoides reaccionados al observar las muestras obtenidas desde cada tubo.

Obtención de resultados

En el siguiente gráfico se presentan los porcentajes de reacción acrosómica obtenidos en distintos tiempos para cada tratamiento:



Interpretación de resultados

Observa con detención el gráfico anterior, en el que se presenta el efecto del estradiol y de la progesterona sobre la reacción del acrosoma. En relación con esto, responde.

- ¿Para qué se utilizó un tratamiento control?
- ¿Qué efecto posee la progesterona sobre la reacción del acrosoma?
- ¿El estradiol induce o inhibe la reacción del acrosoma? Explica.
- ¿Qué efecto observas cuando la incubación de los espermatozoides se efectúa con ambas hormonas? ¿Para qué crees que se realizó esta incubación?

Elaboración de conclusiones

A partir de los resultados obtenidos y de la interpretación de ellos, responde.

- ¿Qué se puede concluir respecto de la hipótesis formulada? ¿Por qué?
- ¿Qué nuevo problema de investigación puedes plantear a partir de las conclusiones de este experimento?

Implantación

Para profundizar

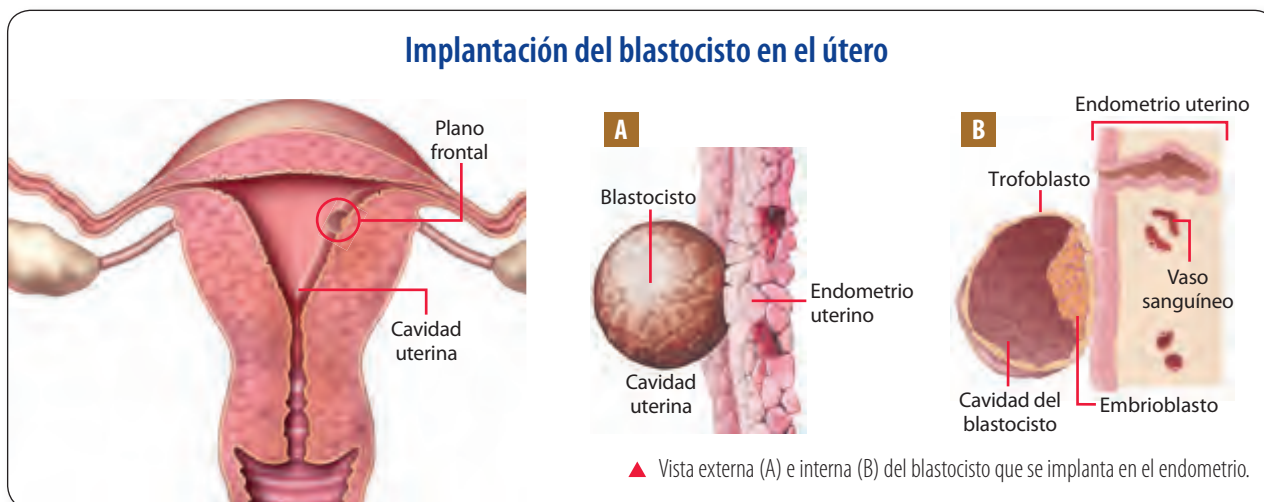
Muchos desórdenes relacionados con la **infertilidad femenina** tienen como causa subyacente problemas a nivel de la implantación embrionaria.

Tal como vimos anteriormente, el embrión sigue dividiéndose en su viaje por las trompas. Luego de llegar al útero, deben pasar uno o dos días más para que se implante. En este punto, el embrión se encuentra en el estado de **blastocisto**, el que comienza a fijarse en la cavidad uterina, que nutrirá y protegerá a esta nueva vida en desarrollo. El blastocisto está formado por un **embrioblasto** (o masa celular interna), que originará al organismo como tal, y por el **trofoblasto** (o masa celular externa), que proveerá nutrientes al embrión.

La **implantación** es posible gracias a las células del trofoblasto, las que liberan varias enzimas que degradan a las células presentes en la cavidad uterina y le permiten invadir y adherirse al endometrio, el que ya ha sido preparado por los esteroides sexuales, especialmente por la **progesterona**, para acoger al nuevo ser, lo que favorece su crecimiento y desarrollo. Luego de la implantación, se observa una rápida proliferación, especialmente de las células del trofoblasto, para formar la **placenta** y los **anexos embrionarios**.

Posterior al estado de blastocisto se forma la **gástrula**. Esta posee tres capas:

- El **endodermo**, que formará el tubo digestivo, hígado, páncreas, pulmones y otros órganos.
- El **mesodermo**, que originará el esqueleto, las gónadas y los músculos, entre otras estructuras.
- El **ectodermo**, que formará el cerebro, la piel, la médula espinal y los nervios, entre otras estructuras.



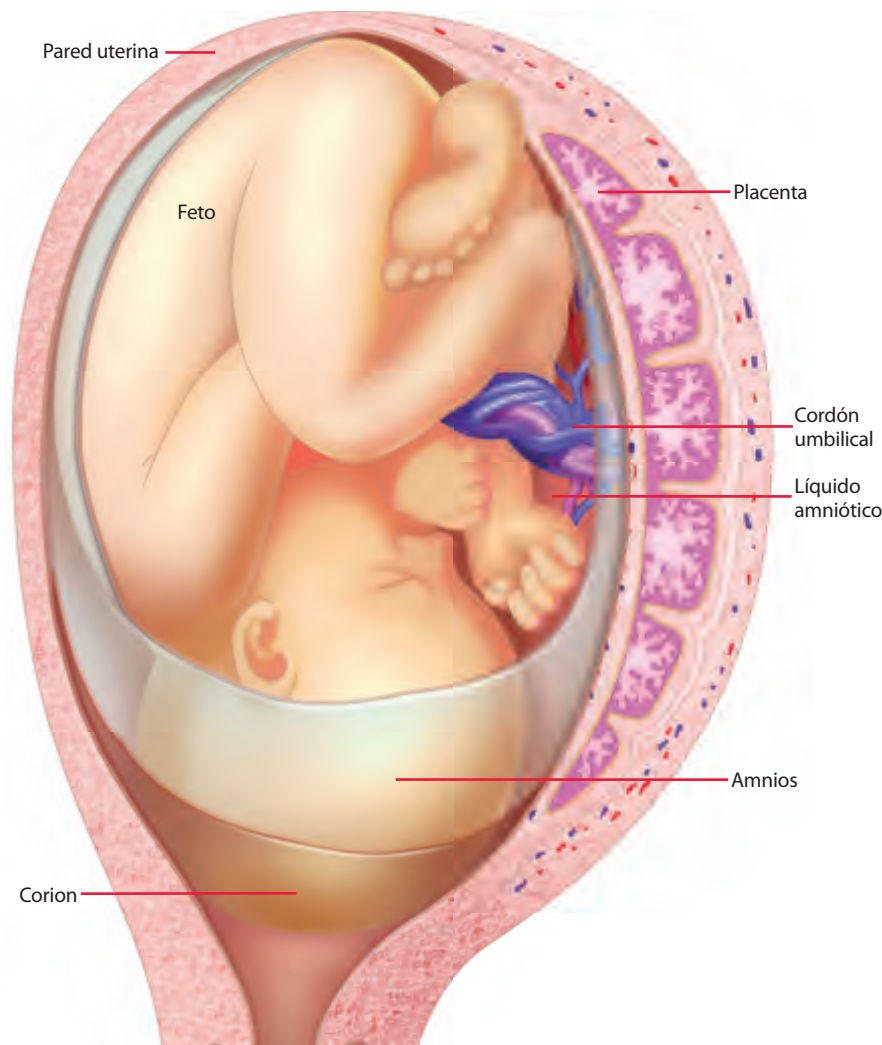
Actividad

1. En relación con lo anterior, lee las siguientes preguntas y **justifica** tus respuestas.
 - a. ¿Qué diferencias existen entre un embrión en estado de mórula y uno en estado de blastocisto? **Explica.**
 - b. ¿Por qué las células del trofoblasto liberan enzimas cuando se unen al endometrio?
 - c. ¿Qué tejidos originará cada capa germinativa de la gástrula?

Anexos embrionarios

Una vez que el embrión se ha implantado en el endometrio uterino, se genera el siguiente problema: las reservas alimenticias que provenían del ovocito se han acabado y ya no puede nutrirse a partir de ellas. Por esto, deben desarrollarse diversos órganos y estructuras que entreguen nutrientes y brinden protección al embrión y le permitan, además, establecer una comunicación metabólica con la madre. Entre tales estructuras destacan los **anexos embrionarios**, que comprenden al **corion** y al **amnios** (ambos habitualmente denominados membranas fetales), junto con el alantoides y el saco vitelino. Además, se forma el órgano materno-fetal denominado **placenta**, de gran importancia para el desarrollo del embrión.

A continuación se esquematizan y explican en mayor profundidad las principales estructuras anteriormente mencionadas.



El **corion** es una estructura membranosa encargada del intercambio de gases como el oxígeno, de nutrientes y de diversas sustancias. El corion, ubicado cerca de la pared del útero, originará el componente fetal de la placenta.

Para profundizar

El cordón umbilical es un tubo de unos 55 cm de largo que conecta al feto con la placenta y que permite el intercambio de gases y de nutrientes con la madre. Parte del alantoides participa de la formación del cordón umbilical. En cuanto al saco vitelino, en los seres humanos no contiene vitelo y, aun cuando permanece por largo tiempo, no forma ninguna estructura importante en el embrión en desarrollo.

La **placenta** es un órgano de gran relevancia, cuya función es intercambiar nutrientes, sustancias de desecho y gases (especialmente oxígeno y dióxido de carbono) entre el feto y la madre.

El **amnios** es una membrana con apariencia de saco que contiene tanto al embrión como al líquido amniótico. El amnios y el líquido amniótico son muy importantes, pues protegen al embrión frente a diversos traumatismos, como un golpe o una caída de la madre. A partir de unos pliegues que posee el amnios se forma el cordón umbilical, estructura encargada de conducir nutrientes desde la pared uterina al embrión.

Placenta: sitio de intercambio de sangre materna y fetal

Funciones de la placenta

Función metabólica: la placenta permite difundir, desde la circulación materna hacia el feto, el oxígeno y diversas sustancias, como aminoácidos, glucosa, iones y agua, entre otras, las que son cruciales para su nutrición, crecimiento y desarrollo. Además, la circulación placentaria permite el traspaso de dióxido de carbono, urea y bilirrubina desde el feto hacia la circulación de la madre.

Función endocrina: la placenta sintetiza la hormona gonadotropina coriónica humana (GCH). También produce lactógeno placentario, GnRH, somatostatina, progesterona y estrógenos, entre otras.

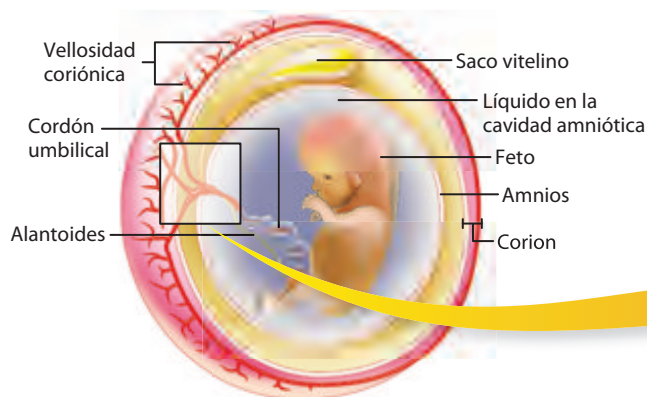
La **placenta** es un órgano materno-fetal, es decir, está constituido por tejidos que **proviene tanto de la madre como del embrión**. Se genera a partir del trofoblasto, grupo de células que invade una porción del endometrio, ricas en nutrientes tales como el glicógeno, los lípidos y las proteínas.

El trofoblasto dará origen a **vellosidades coriónicas**, las que a través de diversos vasos sanguíneos se conectan con el sistema circulatorio de la madre. Las vellosidades coriónicas de la placenta poseen una gran área de intercambio (aproximadamente 10 m²) y confluyen en el cordón umbilical, estructura que conecta con el embrión.

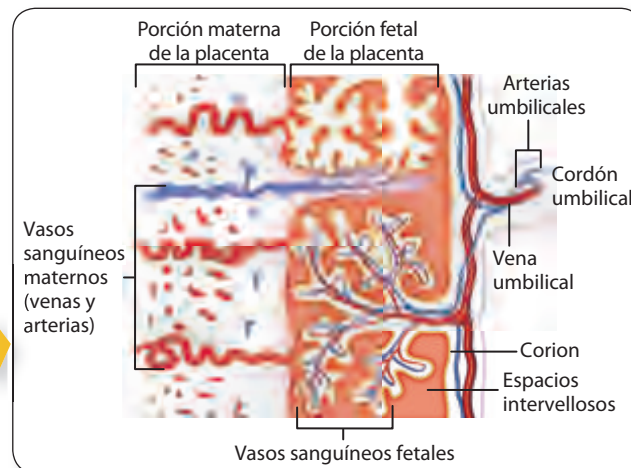
No existe **mezcla directa** de la sangre materna con la fetal, ya que todos los intercambios ocurren por difusión a través de las paredes capilares en la placenta. Tal como lo muestra el esquema, los vasos sanguíneos fetales en ningún caso se fusionan con los vasos sanguíneos maternos. Entonces, ¿cómo se lleva a cabo el proceso de intercambio de sustancias?

Los desechos de la sangre fetal (dióxido de carbono, entre otros) difunden desde los capilares en la placenta a espacios intervellosos que contienen sangre materna, y finalmente hacia las venas uterinas. Sustancias como los nutrientes, el oxígeno, las hormonas y los anticuerpos siguen la vía opuesta, desde los vasos sanguíneos maternos hacia los espacios intervellosos y desde allí a los capilares fetales.

La sangre pasa desde el feto a la placenta a través de dos arterias umbilicales. Desde la placenta, la sangre oxigenada regresa a través de una única vena umbilical.



▲ Detalle de la placenta y del cordón umbilical.



▲ Sección de intercambio de sangre materna y fetal.

Actividad

1. Con la ayuda de un compañero o compañera, responde las siguientes preguntas.
 - a. **Reconoce** cuáles son los anexos embrionarios y qué funciones cumplen.
 - b. ¿Qué sustancias pasan desde la madre al feto y viceversa? **Ejemplifica**.
 - c. ¿Cuál es la ruta que siguen las sustancias desde el feto a la madre y viceversa? **Explica**.

Período embrionario y fetal

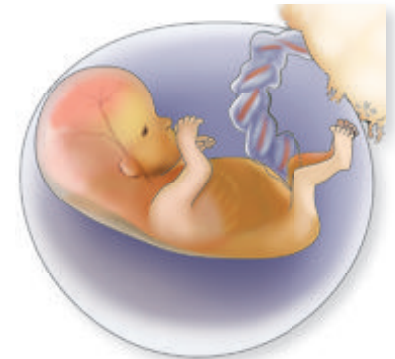
Ya sabemos que luego de la implantación se forman los anexos embrionarios y la placenta, los que permiten una constante comunicación entre la madre y el embrión. Pero el desarrollo continúa durante el **embarazo** o **gestación**, que dura entre 38 y 40 semanas en los seres humanos. En el embarazo podemos distinguir dos períodos sucesivos: el embrionario y el fetal.

El **período embrionario** abarca los dos primeros meses de desarrollo (ocho semanas). En él se produce la organogénesis, es decir, la formación de la mayoría de los órganos y estructuras del cuerpo, tales como el cerebro, la médula espinal, el corazón (que comienza a latir), otros órganos internos, los huesos y las extremidades. Debido a que en este período se está estableciendo la estructura del embrión mediante diversos procesos de proliferación, crecimiento, división y migración de células en su interior, asociados a la organogénesis, resulta fundamental que la mujer en gestación no se exponga a tóxicos ambientales, drogas ni alcohol, ya que estas pueden producir alteraciones cognitivas o malformaciones graves en el embrión.

El **período fetal** abarca desde el inicio del tercer mes hasta el momento del parto (durante el noveno mes, aproximadamente). En esta etapa ya se le denomina feto, y sus órganos, previamente formados, comienzan a crecer. En el feto se observa el movimiento de los ojos, los músculos comienzan a desarrollarse y su cuerpo se cubre de un vello muy delgado y suave, denominado lanugo. Alrededor del cuarto mes, la madre comienza a percibir los movimientos fetales. Si bien hasta este momento el feto ha avanzado considerablemente en su desarrollo, no es sino hasta el séptimo mes que tendrá las mayores posibilidades de sobrevivir fuera del vientre materno, pero con ayuda de una incubadora. En el último mes, aproximadamente, adquiere protección inmunológica por parte de su madre, quien le entrega los anticuerpos que lo protegerán de las enfermedades durante los meses iniciales de vida después del nacimiento.



▲ Período embrionario (1^{er} y 2^{do} mes).



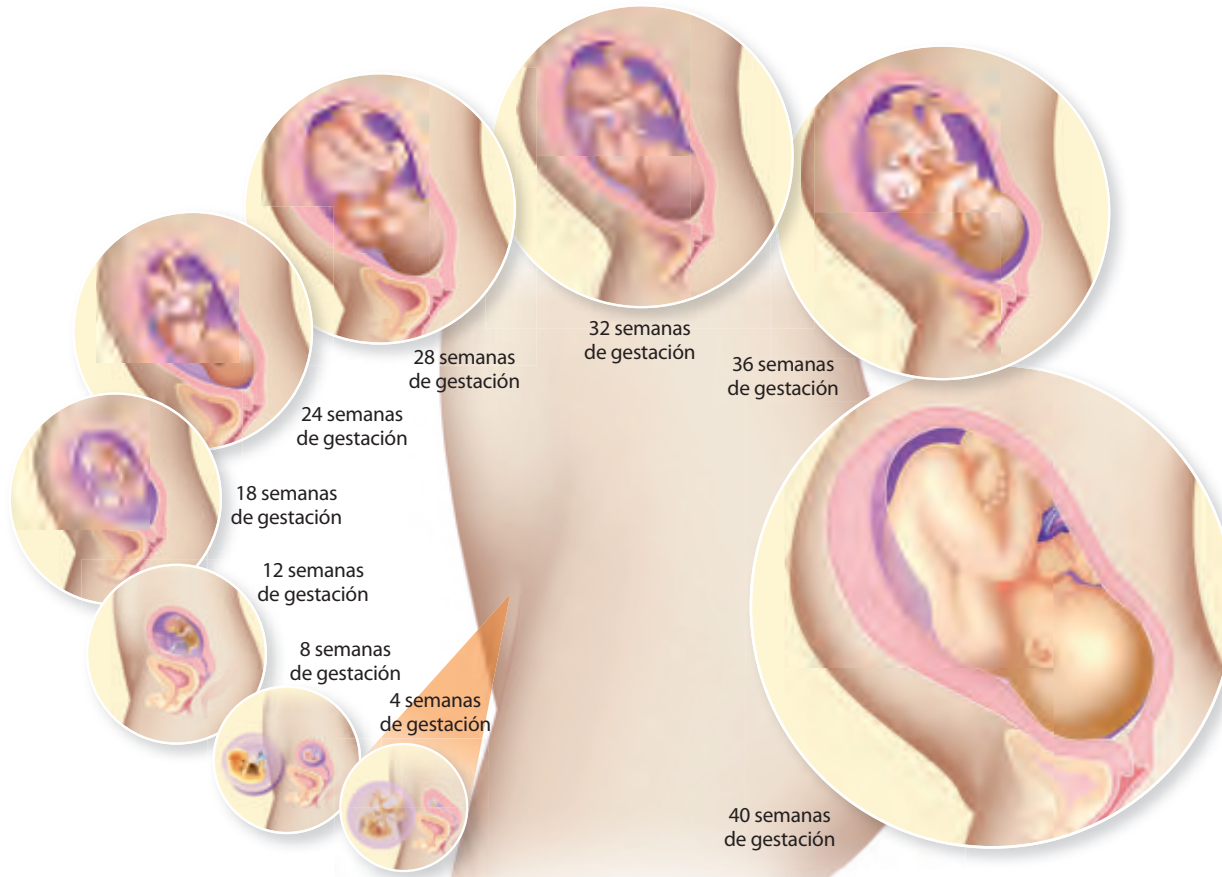
▲ Período fetal (desde el 3^{er} mes).

Actividad

1. Elabora una tabla **comparativa** entre el período embrionario y el fetal, explicitando los criterios de comparación.
2. Observa el gráfico y **determina** el tamaño y la masa aproximados para cada una de las semanas de gestación del niño o niña.



Principales cambios durante el embarazo



Mes	Cambios del embrión y feto durante el desarrollo
1	Comienzan a formarse la cabeza y la columna vertebral, además del sistema nervioso y de estructuras como los ojos. Se observa un desarrollo incipiente de las extremidades y del corazón, que empieza a latir.
2	Continúa la formación del sistema cardiovascular con la aparición de vasos sanguíneos y el desarrollo del corazón. Se inicia la formación del cerebro, de los órganos internos, de las extremidades, junto con un alargamiento del tronco.
3	Empieza la diferenciación de los genitales y la formación de los riñones. Se puede identificar el perfil facial humano. Continúa el desarrollo de los huesos. Al final de este mes, el ahora llamado feto está completamente formado (pero no desarrollado) y se mueve.
4	Es posible identificar el sexo del feto. Se activan el hígado, el páncreas y el sistema digestivo. Se ha formado el sistema circulatorio y empiezan a desarrollarse las articulaciones.
5	El sistema nervioso comienza un desarrollo y una maduración constante. Los párpados aún están fusionados y los movimientos corporales del feto pueden ser fácilmente percibidos por la madre.
6	Se desarrollan los pulmones del feto, pero aún no están totalmente formados como para que pueda respirar por sí mismo si naciese. Los ojos se abren, pues los párpados ya no están fusionados. Un reflejo común de este período es que el feto comienza a succionarse el pulgar.
7	Durante este mes, gran parte de los órganos se encuentran casi totalmente desarrollados. El feto es capaz de reaccionar ante los ruidos moviéndose.
8	Durante este período, el feto se dispone en posición cefálica (boca abajo), ya preparándose para el momento de nacer. Como la mayoría de los sistemas corporales ya están totalmente desarrollados, si el feto naciese tendría grandes posibilidades de sobrevivir.
9	Todos los órganos del feto ya son totalmente funcionales, lo que le permitirá adaptarse y vivir en el medio externo. Está listo para nacer.

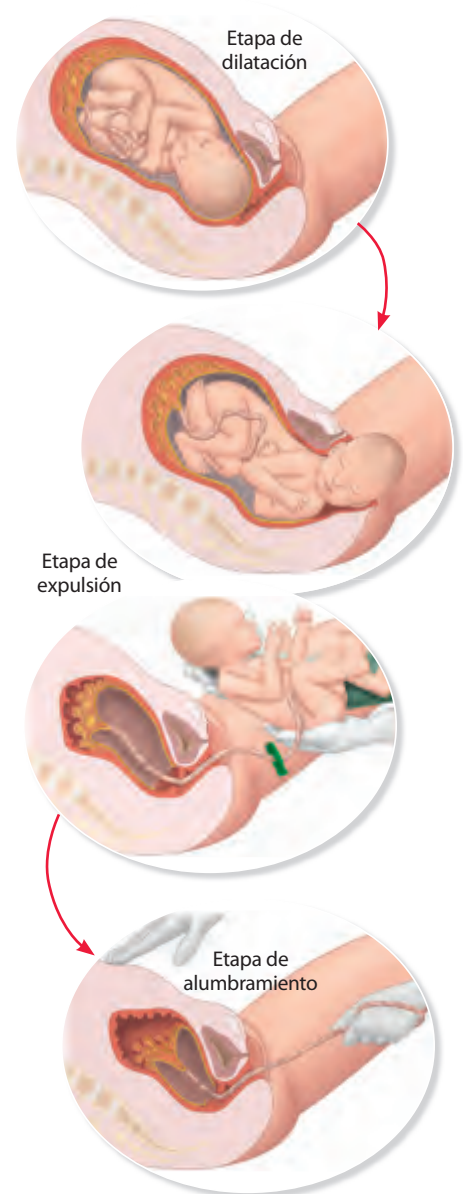
El parto

El **parto** constituye el momento en que el bebé nace gracias a las dilataciones y contracciones rítmicas del útero. Se produce generalmente entre las 38 y 42 semanas de gestación.

En condiciones normales, el parto es un proceso que no ocurre de manera inmediata, sino que se desarrolla en etapas o fases, las que se describen a continuación.

- **Etapa de dilatación:** comienza con la aparición de contracciones que se originan en las paredes del útero. Estas son espontáneas, permiten que el feto comience a descender paulatinamente y van acompañadas de sensación de dolor en aumento en la región abdominal. Junto con lo anterior, el cérvix se va dilatando para posibilitar la salida del bebé. Además, en esta etapa la membrana del amnios es expuesta a una presión mayor de lo común debido a las contracciones y descenso del niño o la niña, razón por la que se rompe y libera el líquido amniótico contenido en su interior. Este fenómeno se denomina habitualmente como “ruptura de la bolsa”.
- **Etapa de expulsión:** en ella el feto es forzado a salir (expulsado) a través del cuello del útero y comienza a descender por el canal del parto (vagina). Esto se produce a causa del notorio aumento en la intensidad de las contracciones uterinas. La contracción de los músculos abdominales de la madre también ayuda al descenso del bebé. Generalmente, lo primero en aparecer es la cabeza. Una vez que el niño o la niña ha salido completamente, se procede a cortar el cordón umbilical que lo vinculaba a la placenta. El bebé, en este instante, ya debiese comenzar a respirar por sí mismo.
- **Etapa de alumbramiento:** varios minutos después de que ha nacido el niño o la niña comienzan nuevamente las contracciones espontáneas y rítmicas del útero. Estas provocarán que la placenta se desprenda del tejido uterino y salga al exterior junto a otras envolturas fetales. A causa de esto, se produce la ruptura de numerosos vasos sanguíneos, lo que ocasiona una hemorragia que comienza a disminuir una vez que el útero vuelve a su tamaño normal.

El recién nacido comienza a respirar por sí mismo y, posteriormente, a alimentarse por vía oral mediante la leche materna. Luego de haberse cortado el cordón umbilical, queda una porción de este unida al bebé, la que posteriormente cae y da origen a una cicatriz conocida comúnmente como ombligo.



▲ El parto normal transcurre en etapas secuenciales y se desarrolla en un rango de 6 a 12 horas, aproximadamente.

Actividad

1. Con ayuda de un compañero o compañera, responde.

- | | |
|---|--|
| a. Describe las contracciones que suceden en cada una de las etapas del parto. | c. ¿Qué consecuencias tienen las contracciones en cada una de las etapas? Explica . |
| b. Identifica cuál es la capa del útero que se contrae. | d. Analiza cuál es la importancia de la dilatación del cérvix. |

Principales factores implicados en la regulación del parto y la lactancia

El parto

En esta doble página veremos dos ejemplos de procesos biológicos regulados por **retroalimentación positiva**: el parto y la lactancia.

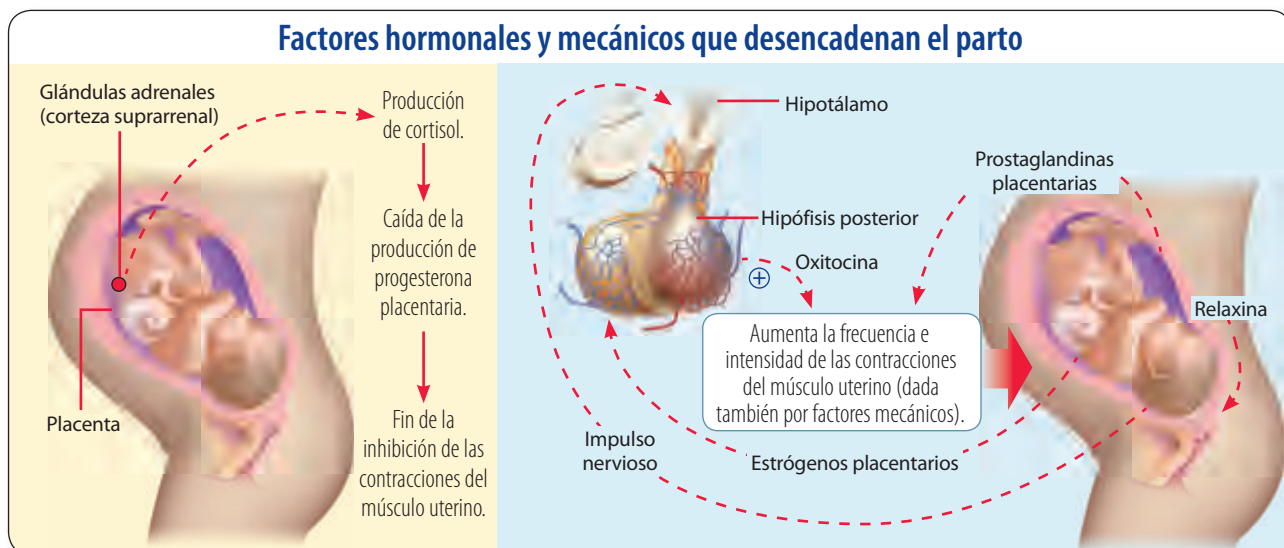
La **regulación** del inicio y desarrollo del parto es muy compleja y en ella participan principalmente factores endocrinos y factores mecánicos.

Los **factores endocrinos** agrupan los cambios hormonales que se producen en el feto o en la madre durante el parto.

- Destaca el aumento en la madre de los niveles de **oxitocina**, hormona peptídica secretada por la hipófisis posterior, que **causa fuertes contracciones uterinas**. Esta hormona también es liberada por el feto.
- Además, las glándulas adrenales y las membranas fetales liberan **cortisol**, hormona que se asocia a la maduración de los órganos fetales y al inicio del parto mediante la estimulación uterina.
- Otra hormona que está vinculada al parto es la **relaxina**, polipéptido sintetizado por el ovario y la placenta, que se relaciona con la facilitación de la **dilatación del cérvix** durante el embarazo. Las prostaglandinas y los estrógenos, ambos producidos principalmente por la placenta, también participan en la dilatación del cérvix e incrementan las contracciones uterinas.

Existen al menos dos **factores mecánicos** importantes que estarían involucrados con el inicio y la progresión del parto. El primero de ellos es la distensión que causa el feto sobre la musculatura lisa del útero materno, lo que provoca un aumento de la contractilidad uterina. El segundo se basa en la distensión que produce la cabeza del feto sobre el cérvix de la madre una vez que va descendiendo. Esta estimulación también incrementa su contractilidad.

Las primeras contracciones del parto comienzan a empujar la cabeza del bebé contra el cérvix, ubicado en la base del útero, presión que provoca la dilatación de dicha estructura. Neuronas receptoras del estiramiento en el cérvix responden a esta expansión enviando una señal al hipotálamo, glándula que activa la liberación de oxitocina, hormona que estimula contracciones uterinas más numerosas y fuertes. Este ciclo de retroalimentación positiva termina con el nacimiento del bebé y la expulsión de la placenta.



La lactancia materna

En el transcurso del embarazo, el cuerpo de la madre se alista para entregar al final de la gestación un alimento adecuado para el desarrollo óptimo del bebé. Este alimento es la leche producida en las **glándulas mamarias**. Durante el embarazo, dichas glándulas aumentan de tamaño a causa del efecto de algunas hormonas esteroidales, específicamente estrógenos y progesterona, que permiten el desarrollo tanto de los **alvéolos** (estructuras donde se produce la leche), como de los **conductos mamarios** (que conducen la leche al pezón).

La principal hormona que promueve la síntesis y secreción de leche es la **prolactina**, elaborada en la **hipófisis anterior**. A pesar de que los niveles de prolactina aumentan a medida que progresa el embarazo, la secreción de leche no comienza inmediatamente porque la progesterona inhibe los efectos de la prolactina. Después del parto, disminuyen los niveles de estrógenos y progesterona y desaparece la inhibición.

El **estímulo** que mantiene la secreción de prolactina durante el período de lactancia es la **succión**. Esta acción del lactante ocasiona el envío de impulsos nerviosos desde los receptores del pezón hacia el hipotálamo. Estos impulsos disminuyen la liberación de la hormona inhibidora de prolactina, de manera que se libera más prolactina por la hipófisis anterior.

Un bebé recién nacido succionará de manera refleja el pezón de su madre, pero la leche demorará unos instantes en salir. El estímulo de succión debe conducirse desde el pezón al hipotálamo, glándula que originará impulsos nerviosos que provocarán la secreción de **oxitocina** desde la **hipófisis posterior**. La oxitocina llegará por la sangre a la glándula mamaria, donde estimulará finalmente la **eyección de leche**.

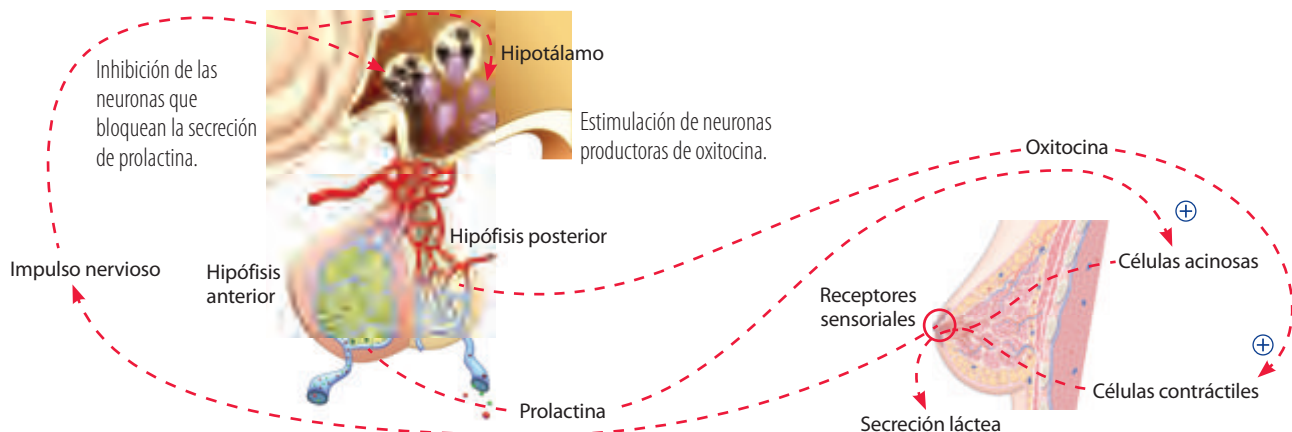
Para profundizar

Durante los cinco días posteriores al nacimiento, se produce una sustancia láctea denominada **calostro**, y solo alrededor de un mes de ocurrido el parto la leche tendrá su composición característica. La leche materna contiene **anticuerpos** y **nutrientes** importantísimos que fortalecen el sistema inmune y promueven el crecimiento y desarrollo intelectual del bebé. La lactancia fortalece, además, los vínculos afectivos entre madre e hijo.



▲ Cuanto más succiona el lactante, más oxitocina se libera y con ello más leche se produce, ya que aumenta la síntesis y secreción de prolactina.

Factores que desencadenan la lactancia



Actividad

1. Según lo estudiado anteriormente, responde las siguientes preguntas.

- ¿Por qué se puede afirmar que la regulación del parto está basada principalmente en un mecanismo de retroalimentación positiva? **Explica.**
- ¿Por qué la lactancia es un mecanismo de retroalimentación positiva? **Subraya** con un destacado aquella información que te permite ratificar lo afirmado.

Afectividad y sexualidad: componentes esenciales de la persona



▲ El amor humano también está presente en la familia, ejemplificado por el cariño y afecto entre hermanos (amor fraterno).



▲ La capacidad de amar, propia del ser humano, también se pone de manifiesto en el amor entre un hombre y una mujer.

Hasta ahora hemos estudiado los principales procesos biológicos que permiten reproducirnos, característica que compartimos con otros seres vivos, como las plantas y los animales. Pero ¿te has puesto a pensar en lo que nos diferencia de estos? Si bien los principios bioquímicos que determinan la estructura y regulan las funciones fisiológicas de los seres vivos son, en general, los mismos, nosotros tenemos atributos que nos hacen especiales, distintos al resto de los seres vivos: el **raciocinio** y la **capacidad de amar**.

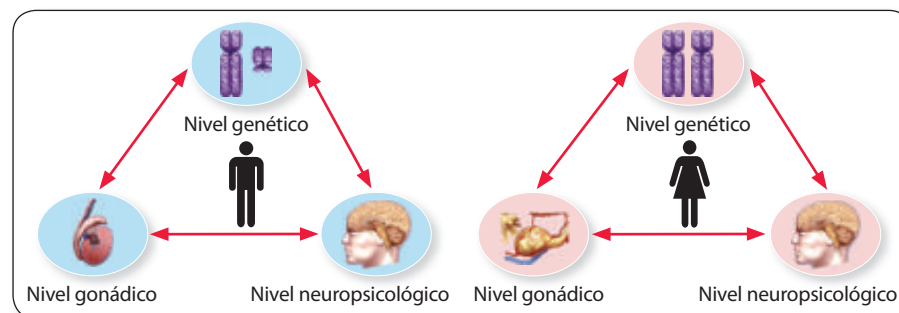
El raciocinio nos permite tomar decisiones ante las diversas situaciones que vivimos; esto nos diferencia notoriamente de los animales, que actúan instintivamente. Además, poseemos la capacidad de amar, de mostrar un especial afecto por nuestros semejantes, lo que se pone de manifiesto en el cariño entre hermanos y entre amigos, en la preocupación constante de los padres por sus hijos y en el amor que surge entre un hombre y una mujer, entre otros ejemplos.

Amar es la única experiencia humana capaz de llevar a una persona hacia su plenitud y está basada en la sutil integración de los diferentes aspectos que componen al ser humano: corporal, mental y espiritual. Solo con una adecuada integración de estos aspectos (que constituyen una totalidad unificada en la persona) podemos amar a los demás. Es necesario también considerar que no amamos solo mediante el cuerpo o la mente, sino que amamos como un yo completo, como una persona íntegra.

Hombres y mujeres somos distintos tanto por el **sexo**, que es la condición, determinada genéticamente, que se relaciona con el ser hombre o ser mujer y que se expresa principalmente en diferencias gonádicas y neuropsicológicas, como por el **género**, que hace referencia a la manera de pensar, sentir, comportarse y comunicarse con los demás según el sexo que poseamos. El sexo y el género son los constituyentes de la **identidad sexual**, componente fundamental de nuestra realidad personal.

La expresión sublime del amor humano también queda de manifiesto en el amor que nace entre una mujer y un hombre, que se basa en la atracción, el cariño, la confianza y la entrega mutua. Si bien existe una distinción sexuada, ambos son iguales en dignidad y naturaleza humana. Al amarse se entienden y complementan mutuamente, conservando las diferencias que los identifican.

► Niveles de diferenciación sexual.



El verdadero sentido de la sexualidad

La **sexualidad** es un componente esencial de cada ser humano, que infunde una manera distintiva de ser, de comunicarse con los demás, de sentir, de expresar sentimientos y de experimentar el amor. Todos los seres humanos somos personas sexuadas y debemos ser respetuosos de esta condición.

Actualmente, parte de la sociedad separa lo racional de lo afectivo. A causa de esto y de otros factores, se ha extendido una imagen distorsionada de la sexualidad, interpretación que ha surgido de creer que esta es igual a la genitalidad, entendida esta última como actos de contacto genital. Pero la sexualidad es mucho más que eso, pues a través de ella se da a conocer todo el ser humano, no solamente en su aspecto corpóreo, sino también en el psíquico y espiritual, como seres integrales.

El ejercicio pleno de la sexualidad por parte de un ser humano requiere de una adecuada madurez personal. Si bien el sistema reproductor está desarrollado biológicamente desde el inicio de la adolescencia, esta condición no es suficiente, pues se requiere de una madurez personal, especialmente en el plano psicológico, para establecer una relación seria como el matrimonio, basada en el amor y el compromiso. La condición anterior es necesaria, pues solo cuando la sexualidad es dirigida, sublimada e integrada por el amor verdadero es cuando adquiere su auténtica condición humana; de lo contrario, ejercer una sexualidad desvinculada del amor, de los sentimientos y de la razón, podría llevar a una disociación de la persona y originar diversos trastornos psicoafectivos.



▲ “La familia es la base de la sociedad y el lugar donde las personas aprenden por vez primera los valores que les guían durante toda su vida”. Juan Pablo II.

La familia: constituyente fundamental de nuestra sociedad

Cuando un hombre y una mujer se enamoran, y el amor que ha surgido entre ellos prospera, forman una pareja, la que, al establecer un vínculo de amor serio y comprometido, como en el matrimonio, pondrá de manifiesto ese amor mediante el acto sexual conyugal. Este acto expresará el amor integral y pleno entre un hombre y una mujer, un amor llamado a ser completo, fiel y, además, fecundo, pues está abierto al anhelo y a la capacidad de tener hijos, frutos del profundo amor que los cónyuges se profesan. De esta forma, la pareja humana está llamada a constituir una familia, componente natural y fundamental de nuestra sociedad, la que siempre debe ser protegida, pues en ella se adquieren los valores fundamentales que guiarán a los hijos durante su vida.

Actividad

1. Reúnanse en grupo junto a compañeros y compañeras, y **reflexionen** a partir de las siguientes interrogantes.
 - a. ¿Son lo mismo sexo y género? Justifica tu respuesta.
 - b. ¿Por qué la sexualidad es un componente fundamental del ser humano?
 - c. ¿Cuál es la importancia de la familia?
 - d. Elabora un afiche que muestre los principales aspectos de nuestra sexualidad.

Recuerda

La **sexualidad** es un componente fundamental de todo ser humano. Es una condición natural que debemos reconocer y respetar en nosotros y en los demás.

Métodos de planificación de la familia

Tu cuerpo está formado por miles de millones de células, cada una de ellas con una dotación completa de cromosomas, con 30 000 genes, aproximadamente, que tienen el patrón de desarrollo de tu cuerpo.

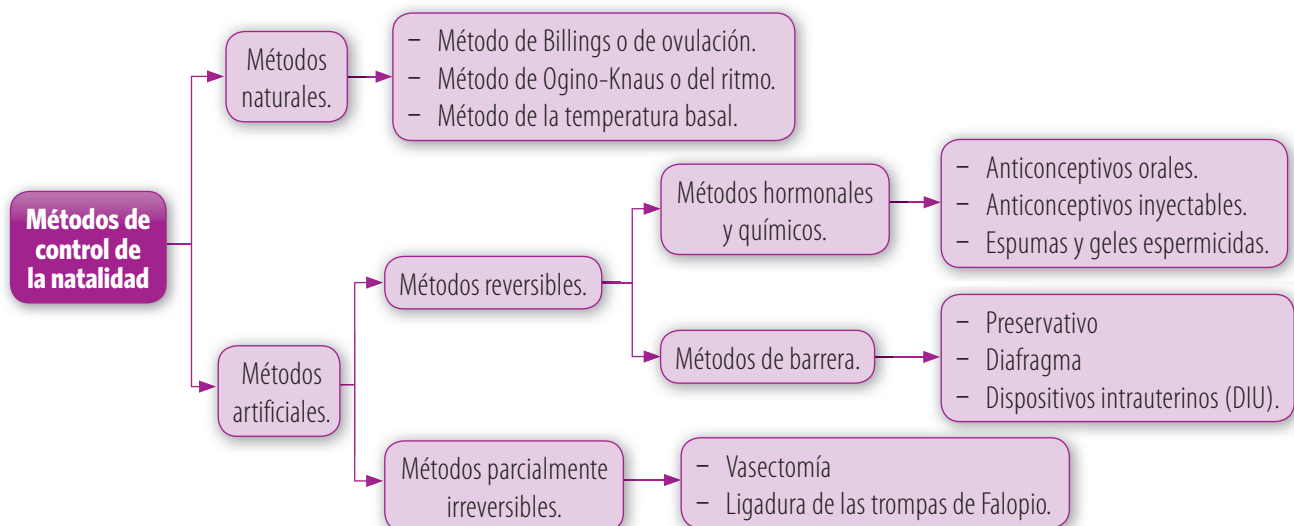
Al analizar estas células, para nadie es extraño reconocer en ellas vida, ya que tienen metabolismo, responden a estímulos, muchas se dividen por mitosis, eliminan desechos y otras diversas características propias de los seres vivos.

Un tipo especial de célula son los gametos, que se originan en las gónadas, testículos y ovarios, en momentos determinados de la vida de hombres y mujeres. Son células con la mitad del material genético de cada individuo, y lo más importante es que **están vivos**.

Dado que los gametos son células humanas vivas, cuando se produce la fecundación se da origen a una nueva vida humana, única e irrepetible. Quizás esta afirmación nos podría parecer carente de fundamento biológico; sin embargo, no es así. Cuando se forman los gametos por meiosis, ocurren dos mecanismos que generan variabilidad genética: el entrecruzamiento o *crossing-over* y la permutación cromosómica. Por esta razón, cada gameto es diferente a otro del mismo individuo. Si a esto sumamos que la fecundación se produce al azar entre un ovocito y un espermatozoide de entre trescientos millones, la combinación genética resultante del nuevo ser humano es simplemente **única e irrepetible**. Por lo anterior, podemos afirmar, desde un punto de vista biológico, que **la vida es un continuo** y que durante la fecundación se origina una **nueva vida humana**.

Así, la unión entre un hombre y una mujer por medio de una relación sexual lleva asociada la posibilidad de originar una nueva vida humana, hecho que debiese ser siempre bien recibido por los padres. No obstante, algunas parejas deciden regular la natalidad mediante el uso de diversos métodos de planificación familiar, de control de la natalidad o métodos anticonceptivos.

Los métodos de control de la natalidad se pueden dividir en dos grupos:



▲ La unión sexual entre un hombre y una mujer puede dar origen a una nueva vida humana.

Cuadro comparativo de los métodos de planificación familiar

Método	Mecanismo de acción	Posibles efectos indeseables
Billings o de ovulación.	Por las características de la mucosidad cervical se determina el día de la ovulación. Mucosidad más hidratada indica fertilidad, mucosidad seca y espesa, infertilidad. Se basa en la abstinencia durante los días de la ovulación.	No presenta.
Ogino-Knaus o del ritmo.	A través del análisis de los ciclos menstruales durante doce meses se determinan los días de fertilidad de la mujer. Se basa en la abstinencia durante los días de la ovulación.	No presenta.
Temperatura basal.	Mediante el registro diario de la temperatura basal se determina el cambio de temperatura que ocurre durante los días cercanos a la ovulación, ya que esta va acompañada de un aumento de medio grado en la temperatura basal. Se fundamenta en la abstinencia durante los días cercanos a la ovulación.	No presenta.
Anticonceptivos orales.	Inhiben la secreción de FSH y LH y, por lo tanto, el crecimiento y la maduración del folículo, así como la ovulación.	Pueden ocasionar retención de líquido, mayor sensibilidad de los senos, náuseas y otros efectos secundarios si su ingesta es prolongada.
Anticonceptivos inyectables.	Provocan cambios en la mucosidad cervical, haciéndola más espesa y evitando así el paso de los espermatozoides. También inhiben la ovulación.	Pueden generar infertilidad de tres a seis meses.
Espumas y geles espermicidas.	Se trata de sustancias químicas que se aplican en el tracto genital femenino y matan a los espermatozoides.	Generalmente no presentan, aun cuando se han reportado cuadros de irritación local.
Preservativo.	Funda de látex que se coloca en el pene y evita que los espermatozoides lleguen al tracto genital femenino.	Generalmente no presenta, aun cuando se han reportado casos de pérdida de sensibilidad en varones.
Diafragma.	Dispositivo de látex con forma de aro que se coloca dentro de la vagina, en el inicio del cuello del útero. Evita que los espermatozoides avancen hacia el encuentro con el ovocito.	No presenta. Debe ser retirado de seis a ocho horas después de su utilización.
Dispositivos intrauterinos (DIU).	Artefactos de diversos materiales que se colocan en la cavidad uterina para evitar la sobrevida y/o el avance de los espermatozoides. Causan inflamación crónica del endometrio.	Incomodidad durante la menstruación, infección uterina y embarazo ectópico.
Vasectomía.	Procedimiento quirúrgico donde se seccionan y luego ligan los conductos deferentes, con lo que el eyaculado no tiene espermatozoides.	Es posible que genere esterilidad permanente e irreversible.
Ligadura de las trompas de Falopio.	Procedimiento quirúrgico donde se seccionan y ligan las trompas de Falopio, con lo que se impide el encuentro de los ovocitos con los espermatozoides.	Es posible que genere esterilidad permanente e irreversible.

Actividad

1. A partir de lo anterior, realiza la siguiente actividad.

- Clasifica** los distintos métodos según si son de uso femenino o masculino.
- ¿Qué hace diferentes a los métodos naturales de los artificiales? **Explica.**

ETS: enfermedades de transmisión sexual

Ayuda

Se llama **prevalencia** a la proporción de individuos de una población o grupo de interés que presentan una enfermedad o característica determinada.

Investig@

A modo de síntesis de lo estudiado en la unidad, utiliza la información sugerida en la siguiente página web y diseña las etapas necesarias para resolver las actividades que allí se presentan. Luego escribe un informe siguiendo la pauta de investigación que se encuentra en la página 223 de tu Texto.

http://odas.educarchile.cl/objetos_digitales_NE/ODAS_Ciencias/Naturaleza/Reproduccion%20humana/index.html

Recuerda que el contenido de las páginas webs puede cambiar.

Las **enfermedades de transmisión sexual (ETS)**, también conocidas como infecciones de transmisión sexual, son diversas patologías infecciosas cuyo contagio ocurre por lo general a través del contacto directo con el cuerpo de quien está infectado o con fluidos de este, especialmente mediante relaciones sexuales. También su contagio puede producirse por medio de transfusiones con sangre infectada, con el uso de jeringas y otros objetos cortopunzantes no estériles, y desde la madre a los hijos durante el parto o la lactancia. Las ETS son causadas por diversos microorganismos, tales como bacterias, protozoos, hongos y virus.

Debido a su alta **prevalencia** y habitual contagio en todo el mundo, es necesario estudiar las principales ETS con mayor detención.

Enfermedades	Microorganismos	Agentes causales
Sífilis	Bacterias	<i>Treponema pallidum</i> .
Gonorrea		<i>Neisseria gonorrhoeae</i> .
Clamidiasis		<i>Chlamydia trachomatis</i> .
Tricomoniasis	Protozoos	<i>Trichomonas vaginalis</i> .
Candidiasis vulvovaginal.	Hongos	<i>Candida albicans</i> .
SIDA	Virus	Virus de la inmunodeficiencia humana (VIH).
Herpes genital.		Virus herpes simplex.
Verrugas genitales.		Virus papiloma humano (VPH).

Sífilis

Es causada por la **bacteria** *Treponema pallidum*, que tiene una forma similar a espiral y es muy contagiosa. Un síntoma característico de la sífilis en su fase inicial es la aparición de una lesión o erosión indolora denominada chancro, de apariencia ovalada y que secreta algo de líquido. Si no es tratada a tiempo, la sífilis puede avanzar hacia mayores grados de severidad, comprometiendo al sistema nervioso, cardiovascular y a diversos órganos, por lo que podría incluso ocasionar la muerte. La sífilis es curable fácilmente con antibióticos si se trata en su estado inicial.

Gonorrea

Es ocasionada por la **bacteria** *Neisseria gonorrhoeae*. En los hombres, la presencia de este microorganismo se puede reconocer mediante secreciones amarillentas que salen desde el pene y dolor al orinar. En las mujeres suele ser asintomática; no obstante, en algunos casos puede producir molestias urinarias y aumento de las secreciones vaginales. La gonorrea puede provocar infertilidad en ambos sexos y ser transmitida de madre a hijo durante el embarazo. Desaparece mediante un adecuado tratamiento con antibióticos.

Clamidiasis

Esta enfermedad tiene como agente causal a las clamidias, **bacterias** de la especie *Chlamydia trachomatis*, y constituye actualmente una de las ETS más frecuentes. Es generalmente asintomática, pero en algunos casos su adquisición puede evidenciarse por una secreción anormal de los genitales externos y ardor al orinar. La clamidiasis puede ocasionar infertilidad en hombres y en mujeres; además, se le ha relacionado con una mayor prevalencia de abortos en las madres infectadas. Su tratamiento se basa en la administración de antibióticos.

Tricomoniasis

Es provocada por el **protozoo** de la especie *Trichomonas vaginalis*. En las mujeres su sintomatología incluye molestias para orinar y una secreción amarillenta desde la vagina, además de ardor, irritación y comezón en la región vulvovaginal. En general, en los hombres es asintomática, pero en algunos casos puede producir ardor al orinar. La tricomoniasis es curable mediante un tratamiento con un medicamento que afecta a protozoos y bacterias anaeróbicas.

Candidiasis vulvovaginal

Su agente causal es un **hongo**, *Candida albicans*. En la mayoría de los casos es una infección asintomática, pero cuando produce síntomas, estos pueden ser enrojecimiento, inflamación, escozor y dolor. Se trata mediante antifúngicos. No solo puede contagiarse por vía sexual, ya que es un hongo que se encuentra presente en la piel y en las mucosas.

SIDA

Su agente causal es el **virus** de la inmunodeficiencia humana, que se transmite a través de la sangre, el semen y las secreciones vaginales. Una de las principales características del SIDA es que produce la destrucción de los linfocitos T, encargados de la defensa inmunológica del organismo. Esto origina una inmunodeficiencia, razón por la que los pacientes están indefensos ante múltiples infecciones que no provocarían mayor problema en una persona sana. Un individuo infectado puede pasar mucho tiempo sin mostrar síntomas de la enfermedad, siendo un portador asintomático o seropositivo que puede contagiar a otras personas. Además, el SIDA puede ser transmitido de madre a hijo durante el embarazo, parto y lactancia. Actualmente, existen medicamentos que pueden retrasar el avance de la enfermedad, lo que aumenta la expectativa y calidad de vida de quien la padece.

Herpes genital

Constituye una de las ETS de mayor prevalencia a nivel mundial. El agente causal corresponde al **virus** herpes simplex. En algunos individuos el contagio de este virus no presenta síntomas; sin embargo, en otros aparecen llagas en la región genital, las que se convierten en ampollas que son muy molestas, pues causan gran dolor, ardor, inflamación y picazón antes de cicatrizar. Es una enfermedad que no desaparece del organismo; solo es posible aliviar sus síntomas mediante antivirales. Los brotes de herpes genital pueden presentarse varias veces en la vida de una persona.

Virus papiloma humano (VPH)

Es un **virus** que pertenece a la familia *Papovaviridae*. Se han descrito alrededor de 160 tipos, poseen una gran prevalencia a nivel mundial y están asociados al desarrollo de diversas patologías a nivel de epitelios. Existen algunos tipos que afectan específicamente la región genital externa y producen lesiones en forma de verrugas a nivel de los órganos sexuales. En mujeres, la presencia de VPH es uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de cáncer cérvico-uterino.

¿Cómo podemos prevenir y controlar las ETS?

Uno de los aspectos fundamentales en la prevención y control de las ETS es la formación que entrega la familia como núcleo protector y orientador, sumado luego a la capacitación y educación acerca de estas infecciones. Es necesario que tanto padres como hijos estén efectivamente informados de las distintas ETS y de los riesgos y consecuencias que llevan asociadas. Entre las principales medidas para reducir el riesgo del contagio de una ETS destacan: promover y ejercer la abstinencia sexual, retrasar el inicio de la actividad sexual en jóvenes y tener una pareja única, estable, comprometida y fiel.

Actividad

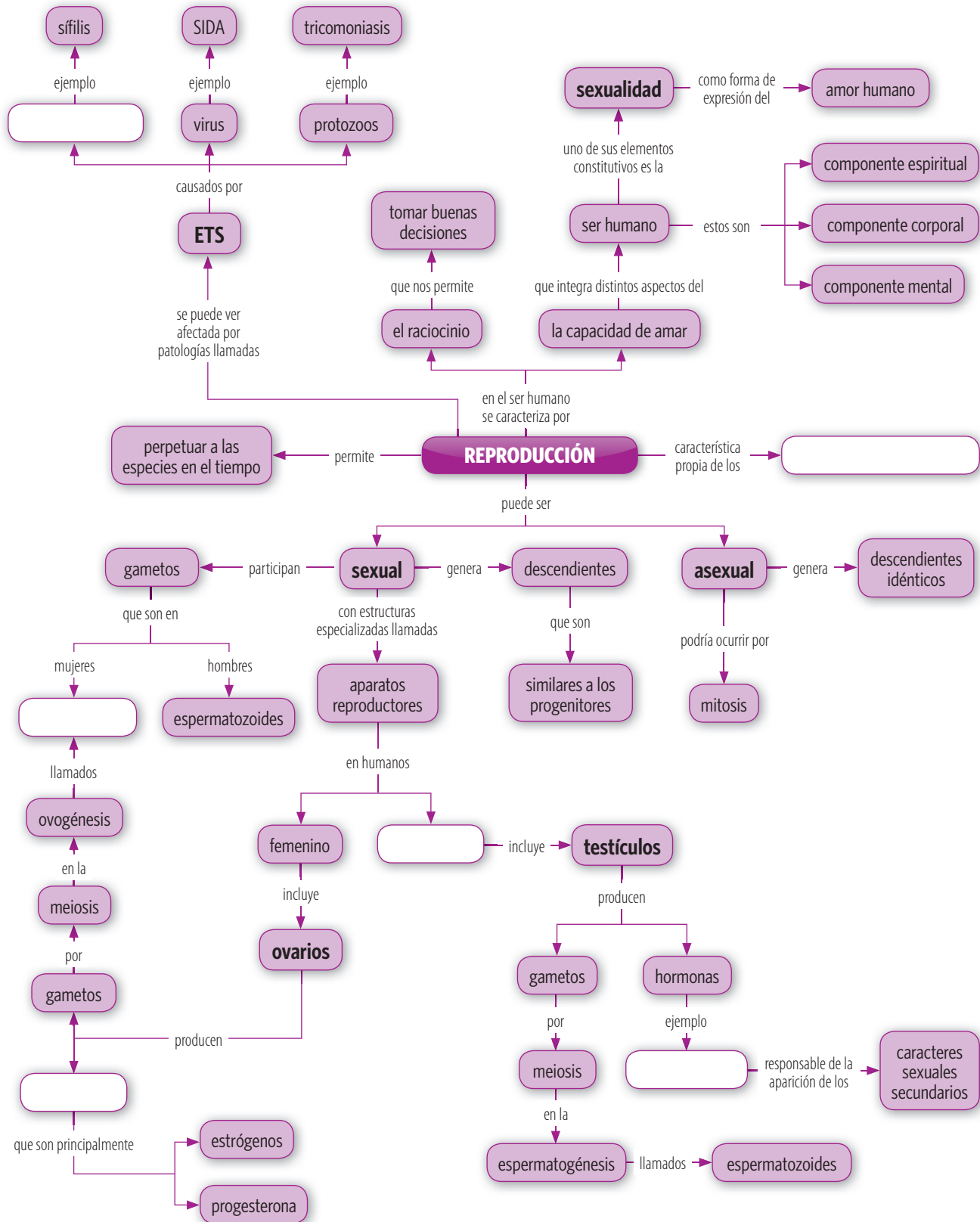
1. Formen grupos de trabajo y respondan las siguientes preguntas.

- ¿Cómo **definirían** a las ETS?
- Clasifiquen** las ETS según los siguientes criterios: tratamiento, agente infeccioso y síntomas.
- ¿Por qué en una persona con SIDA se produce un descenso en sus defensas? **Expliquen**.

Para profundizar

Los distintos métodos artificiales de planificación familiar estudiados anteriormente **no brindan una protección efectiva contra el contagio de las ETS**. Esto sucede claramente con los métodos hormonales y los parcialmente irreversibles, que por su mecanismo de acción no evitarían el contagio. Incluso los métodos de barrera no logran prevenirlas, ya que los agentes causales también pueden atravesarlos.

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



I. Analiza la siguiente situación procedimental y luego responde.

Planteamiento del problema

La infección por la bacteria *Chlamydia trachomatis* es una de las ETS de mayor prevalencia en Chile y se ha transformado en un importante problema para la salud pública. La clamidiasis provoca diversas dificultades a nivel del tracto urogenital humano, y es por lo general una infección asintomática que se disemina por contacto sexual. Un grupo de investigadores cree que existe una relación entre las pérdidas producidas espontáneamente durante los primeros meses de gestación y la clamidiasis. Debido a la importancia de este problema es que han decidido investigarlo.

Formulación de hipótesis

Los científicos plantean que “*existe una mayor prevalencia de pérdidas espontáneas durante el primer trimestre de gestación en parejas con infección por C. trachomatis*”.

Procedimiento experimental

El estudio lo desarrollaron en un hospital, utilizando para ello parejas voluntarias. Estas fueron agrupadas según si habían tenido pérdidas espontáneas o no en el primer trimestre de embarazo al estar ambos progenitores infectados. Además, fueron estudiadas las mujeres por separado y se determinó mediante análisis de microscopía si estaban infectadas o no por la bacteria *C. trachomatis*.

Obtención de resultados

Los resultados obtenidos se resumen en el gráfico de esta página.

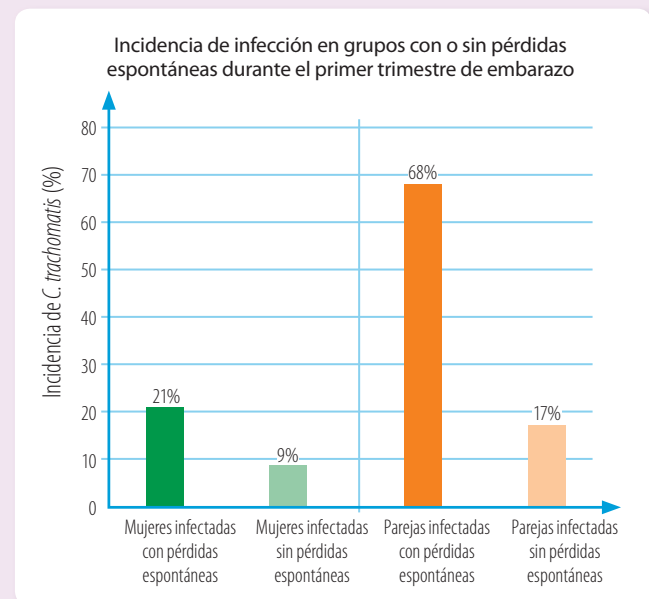
Interpretación de resultados

Respecto de los resultados obtenidos, responde.

- 1 ¿En qué caso tiene mayor incidencia la infección por *C. trachomatis*? Justifica tu respuesta.

Elaboración de conclusiones

- 1 Confrontando los resultados con la hipótesis, ¿cuál es la conclusión final de este estudio?



II. Marca la alternativa correcta.

1 ¿Qué debería analizarse en un organismo para determinar su modalidad de reproducción?

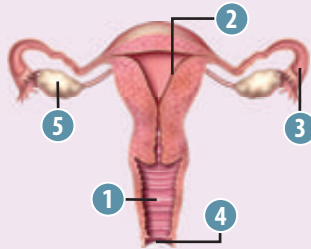
- A. Su material genético y compararlo con el de su progenitor.
- B. Su tamaño, comparado con las dimensiones normales de su especie.
- C. La cantidad de material genético respecto de su especie.
- D. La cantidad de células que presenta en relación a su progenitor.
- E. El tiempo que demora en crecer.

2 ¿Qué estructura del sistema reproductor masculino aporta los nutrientes que brindan energía a los espermatozoides?

- A. Los testículos.
- B. Las glándulas de Cowper.
- C. El epidídimo.
- D. El conducto deferente.
- E. Las vesículas seminales.

3 ¿En cuál de las siguientes estructuras rotuladas del sistema reproductor femenino se produce la implantación?

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



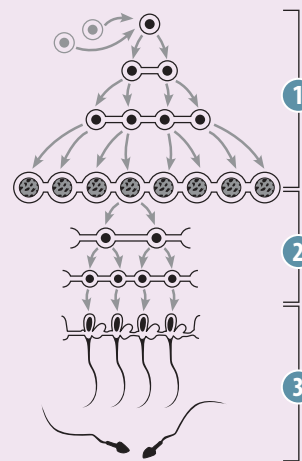
4 ¿Cuál(es) de las alternativas corresponde(n) a métodos naturales de planificación familiar?

- I. Billings.
 - II. Ogino-Knaus.
 - III. Diafragma.
- A. Solo I. D. II y III.
 - B. Solo II. E. I, II, y III.
 - C. I y II.

5 Si el ciclo menstrual tiene una duración de 30 días, ¿cuánto duraría la etapa preovulatoria?

- A. 14 días.
- B. 15 días.
- C. 16 días.
- D. 18 días.
- E. 30 días.

6 En relación con el siguiente esquema de la espermatogénesis y sus etapas, ¿cuál de las alternativas identifica a cada una de ellas?



- A. 1: proliferativa, 2: maduración, 3: espermiogénesis.
- B. 1: proliferativa, 2: espermiogénesis, 3: maduración.
- C. 1: maduración, 2: proliferativa, 3: espermiogénesis.
- D. 1: maduración, 2: meiótica, 3: espermiogénesis.
- E. 1: espermiogénesis, 2: maduración, 3: proliferativa.

7 ¿En qué estado de su desarrollo se encuentra el gameto femenino cuando es fecundado por un espermatozoide?

- A. Ovótida.
- B. Ovogonia.
- C. Ovocito I.
- D. Ovocito II.
- E. Óvulo.

8 ¿A partir de qué capas germinativas se formarán el cerebro y los pulmones, respectivamente?

- A. Ectodermo y mesodermo.
- B. Mesodermo y ectodermo.
- C. Endodermo y ectodermo.
- D. Ectodermo y endodermo.
- E. Mesodermo y endodermo.

9 Observa la figura adjunta. ¿A qué estado embrionario corresponde?

- A. Mórula.
- B. Cigoto.
- C. Blastocisto.
- D. Gástrula.
- E. Feto.



10 ¿Qué sustancia(s) es(son) traspasada(s) de la madre al feto mediante la circulación placentaria?

- I. Nutrientes.
- II. Oxígeno.
- III. Dióxido de carbono.

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

11 ¿Cuál de los siguientes eventos crees que se vería más afectado si existiera una patología inflamatoria a nivel endometrial?

- A. La fecundación.
- B. La división del cigoto.
- C. La ovulación.
- D. La unión de los gametos.
- E. La implantación.

12 ¿Cuál es el **principal** factor endocrino que hace que se desencadenen las contracciones?

- A. El cortisol.
- B. La progesterona.
- C. La oxitocina.
- D. Los estrógenos.
- E. Las prostaglandinas.

13 ¿Cuál es el estímulo que produce la eyección de la leche por las glándulas mamarias?

- A. El aumento de relaxina.
- B. La activación del hipotálamo.
- C. La temperatura ambiental.
- D. El contenido proteico de la leche.
- E. La succión del pezón.

14 ¿Cuál de estas enfermedades de transmisión sexual (ETS) debe ser tratada con antibióticos?

- A. SIDA.
- B. Candidiasis.
- C. Gonorrea.
- D. Herpes genital.
- E. Tricomoniasis.

15 En la imagen se ve un reflejo característico del feto. ¿En qué mes es posible comenzar a visualizarlo?

- A. Segundo mes.
- B. Tercer mes.
- C. Cuarto mes.
- D. Quinto mes.
- E. Sexto mes.



Yo me evalúo

Marca el nivel de logro de tus aprendizajes dentro de la unidad. Usa para ello la escala que se presenta después de la tabla.

Evaluación sección	
Actividad de inicio.	
Evaluación de proceso.	
Evaluación final.	

1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

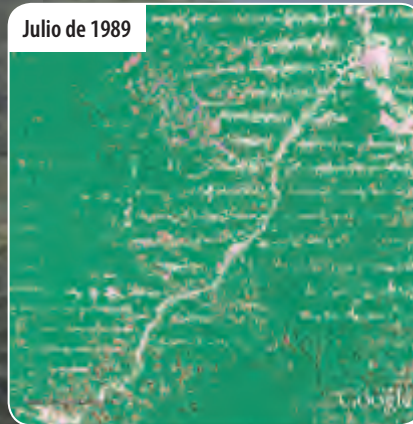
Organismos y medio ambiente

Junio de 1975



Fuente: Google Earth.

Julio de 1989



Fuente: Google Earth.

Julio de 2008



Fuente: Google Earth.

Las imágenes muestran un sector de Brasil de casi cinco millones de hectáreas. En el año 1975, la deforestación era inferior al 1%; pero en el año 1989 ya alcanzaba cerca del 10%, y en 2008, sobre el 40%.

Este ejemplo muestra la magnitud y velocidad con que está ocurriendo el proceso de deforestación en un lugar que hasta hace unas pocas décadas era una de las zonas con mayor diversidad biológica del planeta.

¿Qué aprenderás?	¿Para qué?	¿Dónde?
Elaboración de conclusiones.	Analizar los resultados de distintas investigaciones y elaborar conclusiones a partir de estos.	Páginas 160, 161, 168, 169 y 193.
Interacciones organismo-ambiente: organización ecológica.	Reconocer los principales tipos de interacciones que se establecen entre los organismos y su medio ambiente, identificando los principales factores que influyen en la estructura de poblaciones, comunidades y ecosistemas.	Páginas 162 a 175.
Seres humanos y medio ambiente.	Reconocer los efectos específicos de la actividad humana en la biodiversidad y en el equilibrio de los ecosistemas.	Páginas 178 a 191.
Cambios de visión del ser humano frente a los impactos que sus intervenciones pueden tener sobre el medio ambiente.	Comprender las consecuencias de la modificación de hábitat a partir de antecedentes sociohistóricos de un caso de introducción de especies en nuestro país.	Páginas 190 y 191.

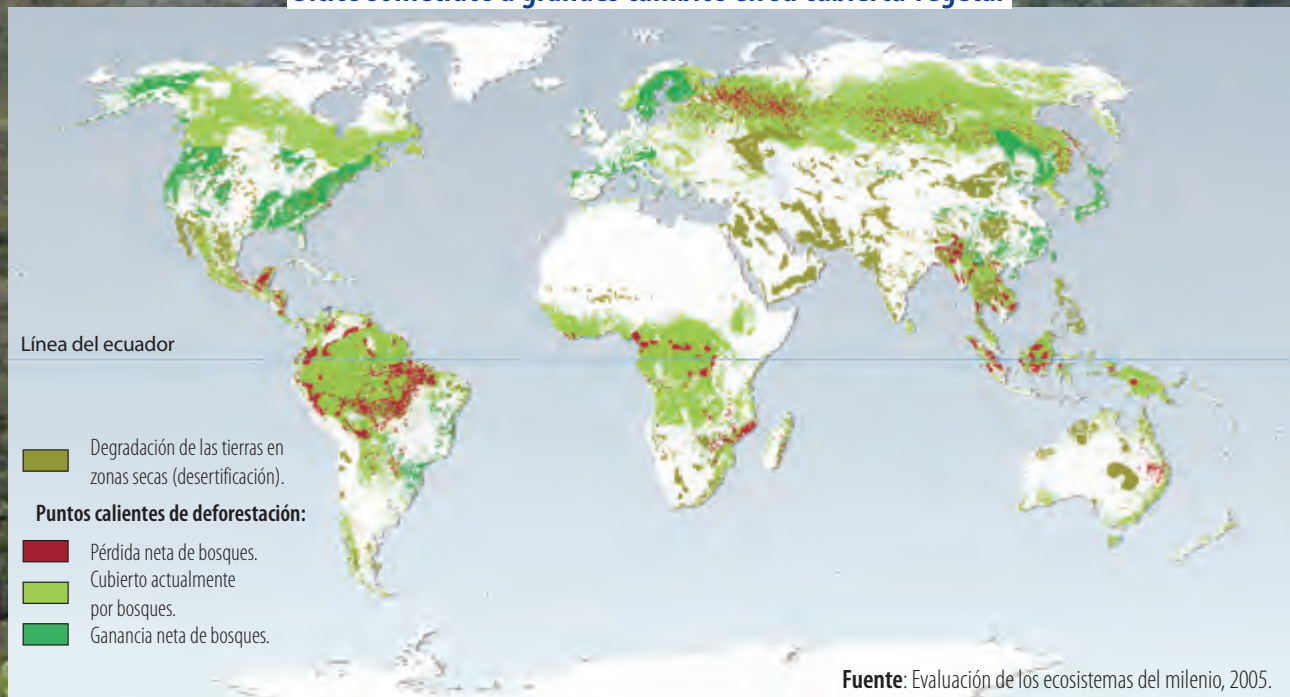
Evaluación inicial

1. Observa el mapa de esta página y lee detenidamente su simbología.
2. ¿Cuál es la zona más afectada por la deforestación en América del Sur?
3. Se estima que en nuestro planeta existen unos 1440 millones de hectáreas de bosque nativo y se calcula que de estos se deforestan unos seis millones de hectáreas al año. Con estos números y pensando que este patrón no cambia, calcula en cuánto tiempo desaparecerían los bosques nativos.

Las cifras antes mencionadas constituyen promedios mundiales (al año 2005) y ciertamente existen lugares en los que la tasa de pérdida es mucho mayor que esta, pero desarrollar el ejercicio te dará una idea de lo alarmante de la situación ambiental en que se encuentra nuestro planeta y la importancia de tomar conciencia de esto.

4. Considerando que en cien años se suceden cerca de tres a cuatro generaciones de humanos, podrías calcular cuántas generaciones durarían los bosques si no se hace algo al respecto. El resultado es dramático.

Sitios sometidos a grandes cambios en su cubierta vegetal



Etapas experimentales

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

¿Qué es una conclusión?

Es una afirmación que se hace a partir de las evidencias e interpretaciones que entrega el desarrollo de un trabajo de investigación.

Pasos para elaborar una conclusión

- Paso 1:** revisar si la hipótesis se acepta o no según los resultados obtenidos y su interpretación.
- Paso 2:** establecer la relación entre la hipótesis y la interpretación de los resultados de la investigación.
- Paso 3:** formular una afirmación que explique la relación entre la hipótesis y la interpretación de los resultados obtenidos.



- ▲ Los machos de guppies presentan una gran diversidad de colores.

Las poblaciones de todos los organismos cambian en el tiempo. Si la cantidad de individuos que nace es mayor que la cantidad que muere, la población crece; si es igual, la población se mantiene, y si los que nacen son menos que los que mueren, la población se reduce. Veamos lo que sucede en el siguiente caso.

Planteamiento del problema

Andrea tiene un acuario donde cría peces de la especie *Poecilia reticulata* (guppys), los que se caracterizan por reproducirse mediante crías vivas y tener muchos descendientes por hembra. Ella quiere dedicarse a la crianza y distribución de peces, pero para esto necesita producir una gran cantidad. Sin embargo, lo que ha observado es que el número de peces en el acuario, aun cuando presenta oscilaciones, se mantiene relativamente constante. Andrea ha estado leyendo al respecto y encontró que una población en un ambiente sin limitación de recursos crece en forma exponencial, lo que significa que aumenta rápidamente y en cada generación se adiciona un número mayor de individuos. Como ella quiere justamente un crecimiento acelerado, piensa que esa es la forma de producir muchos peces. Según lo anterior, se planteó el siguiente problema de investigación:

¿Cómo crecerá una población para la que no escasea el alimento?

Formulación de hipótesis

El problema de investigación de Andrea estaba enfocado en el crecimiento poblacional de los guppys de su acuario. El planteamiento se basaba en observaciones propias (poblaciones estables con recursos limitados) y predicciones teóricas (crecimiento exponencial en un ambiente sin limitación de recursos). Con esto en mente, formuló la siguiente hipótesis:

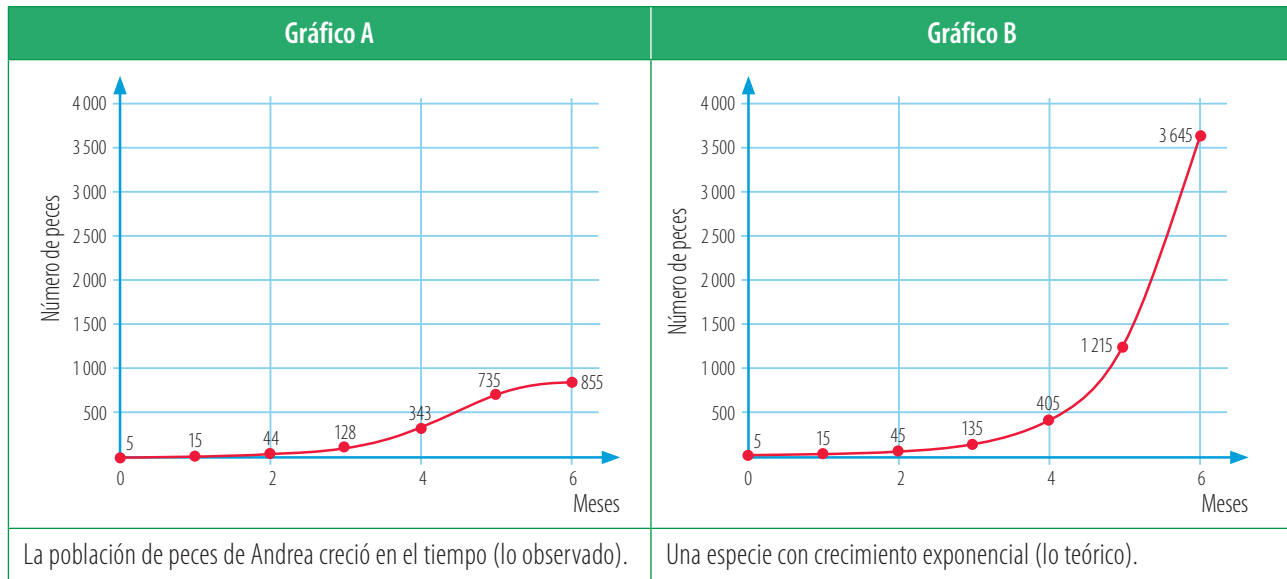
“Una población en un ambiente sin escasez de alimento crecerá exponencialmente”.

Procedimiento experimental

Para esto, ella dispone inicialmente de un acuario de cincuenta litros y cinco parejas de peces. Para evitar que el alimento escasee, estima la cantidad de alimento que necesita un pez y esta cantidad la va multiplicando por el número de peces presentes. Además, irá registrando el número de peces a intervalos regulares de un mes, y sobre la base de esta estimación ajustará la cantidad de alimento necesaria para su población. ¿Qué obtuvo? Al cabo de unos meses la población de peces efectivamente creció. Entonces se propuso ver si el crecimiento registrado se comportaba de manera exponencial o no.

Obtención de resultados

A continuación se presentan dos gráficos. En el gráfico A se registraron los resultados que obtuvo Andrea al poner en práctica su diseño experimental, y en el gráfico B, los datos del crecimiento exponencial de una población.



Interpretación de resultados

Tomando como referencia el crecimiento exponencial (lo teórico) y observando los datos obtenidos en el experimento de crecimiento poblacional con peces (lo observado), responde las siguientes preguntas.

- ¿Por qué crees que los peces no crecieron tanto en el acuario como predice el modelo teórico?
- ¿Existen otros factores, aparte del alimento, que pudieran limitar el crecimiento poblacional? Si es así, menciona al menos uno de ellos y explica cómo podría limitarlo.

Elaboración de conclusiones

- A partir de los resultados observados, ¿es posible afirmar que una población con alimento ilimitado crecerá en forma exponencial? Revisa la hipótesis, los resultados obtenidos y elabora tu conclusión.
- Considerando que uno de los factores limitantes para el crecimiento de una población es el espacio físico, y guiándote por los resultados obtenidos por Andrea, diseña un experimento para investigar la relación entre el tamaño del acuario y el máximo tamaño poblacional de peces que puede habitar en él.

¿Qué variable(s) deberías controlar para poder asegurar que tus resultados se relacionen con el tamaño del acuario y no con otras variables?, ¿cómo podrías tener certeza de ello?

Con ayuda de tu profesor o profesora, diseña un experimento para dar respuesta a las interrogantes antes formuladas (lee la sección *Ayuda*).

Ayuda

Cuando se realizan experimentos, una forma de comprobar que los resultados observados se deben a la variable de interés y no a la manipulación o al efecto de otras variables es mantener “controles experimentales”, que se ocupan como referencia. Generalmente, estos controles corresponden a la no aplicación del tratamiento o a la aplicación a un nivel para el que se conocen los resultados.

Yo me evaluó

En esta actividad se te pidió **elaborar una conclusión** después de relacionar la hipótesis con la interpretación de los resultados obtenidos.

- ¿Qué entendiste que debías hacer?
- ¿Consideraste la información presente en el recuadro lateral de la página anterior?

Organismos y su interacción con el medio

Para profundizar

Cada nivel de organización está formado por unidades menores, o subunidades, que al asociarse generan nuevas características, ausentes en el nivel anterior. Una de las propiedades emergentes de mayor importancia para nosotros aparece en el nivel de organización celular: la vida.

Niveles de organización ecológica



Ecosistema



Comunidad



Población



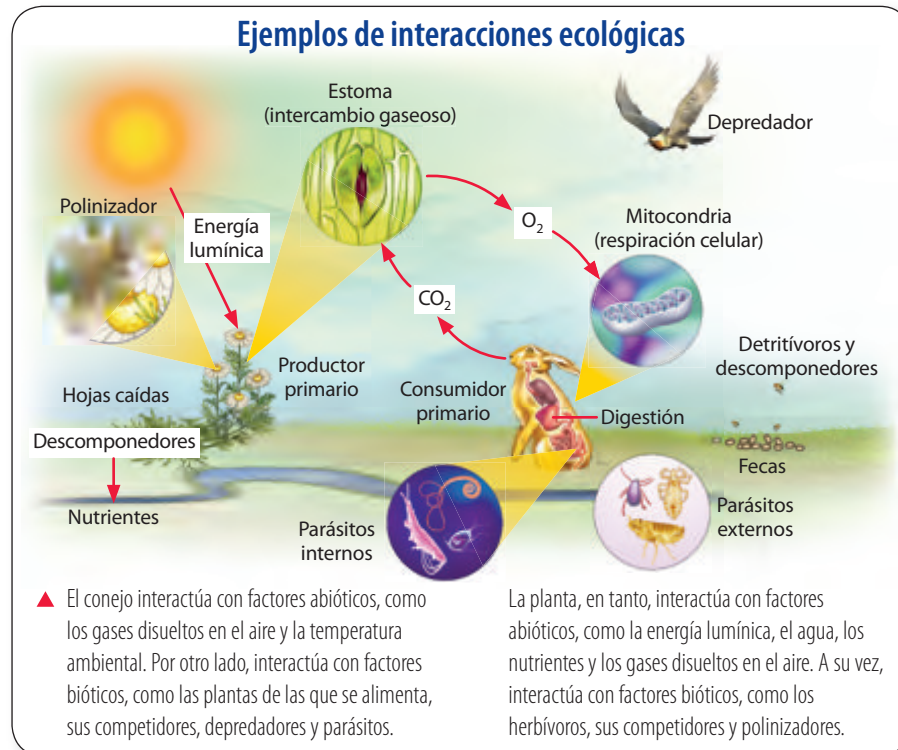
Organismo

▲ A partir del nivel de organismo, la vida se organiza en niveles más amplios que involucran interacciones entre organismos y de estos con su ambiente.

Los **organismos** son la unidad básica de interacción ecológica. En el caso de los organismos **unicelulares**, ellos surgen de la asociación entre las distintas estructuras y organelos que forman la célula. Los organismos **multicelulares**, por su parte, se originan por la agrupación e integración de muchas células, organizadas en tejidos, órganos y sistemas de órganos. Algunas de las características propias o **propiedades emergentes** más relevantes de este nivel de organización son la irritabilidad (capacidad de responder ante estímulos), la reproducción, la homeostasis (condición de equilibrio que el mismo organismo autorregula) y la muerte.

Las interacciones que se establecen entre los organismos y el medio ambiente son la base para el estudio de la ecología. Todos los organismos se relacionan con el medio en todo momento y de muchas formas distintas. Cada actividad realizada por un organismo genera efectos sobre otros componentes del sistema, los que, a su vez, se afectan entre sí. De esta interacción permanente y compleja surgen los distintos niveles de organización ecológica: organismo, población, comunidad, ecosistema, y las propiedades emergentes características de cada uno de estos niveles (ver esquema en el lateral).

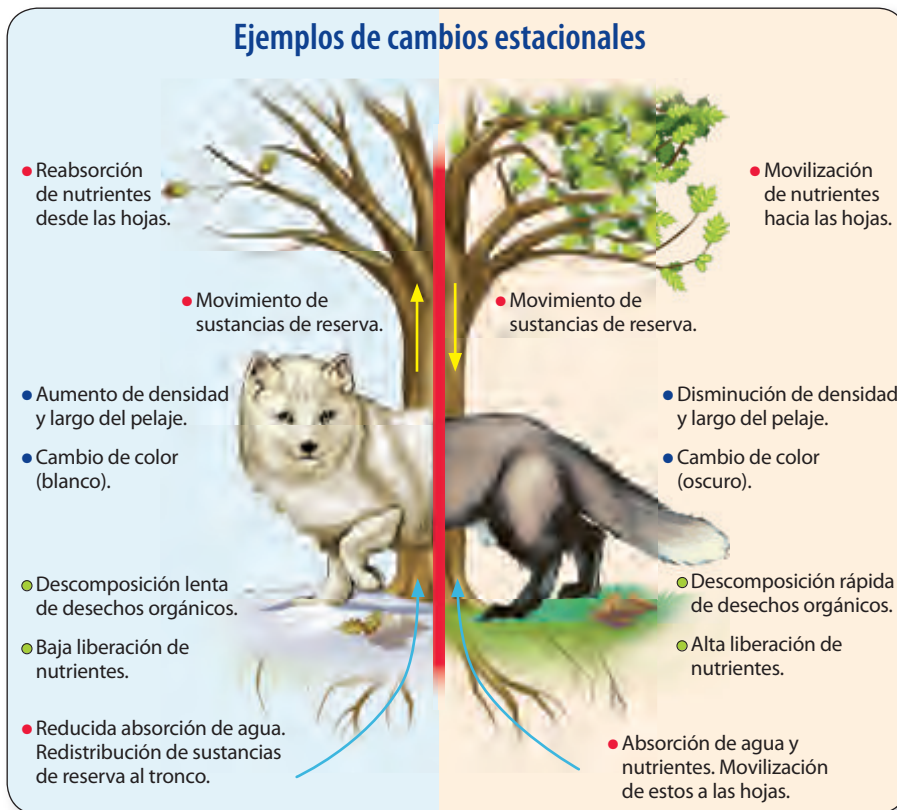
El siguiente esquema muestra algunas de las interacciones ecológicas que pueden ocurrir entre los organismos y su medio ambiente. Algunas de las interacciones de un individuo con su medio se establecen entre este y los **factores abióticos** del lugar donde vive, como el clima, la temperatura, el agua, la salinidad. Otras están dadas por su relación con seres vivos de su propia especie y de otras con las que convive (**factores bióticos**).



Interacciones ecológicas

Como ya mencionáramos, a nivel de organismos ocurren las primeras interacciones ecológicas. La interacción de estos con el ambiente abiótico se puede traducir en cambios temporales o permanentes que pueden afectar al medio o al organismo en cualquiera de sus respectivas condiciones o características. Los **organismos** pueden ver alteradas sus funciones digestivas, reproductivas y/o conductuales, entre otras, como efecto de un cambio en el ambiente. Por su parte, el **medio ambiente** puede verse afectado por los hábitos de los organismos que en él se encuentran, como la creación de madrigueras, el depósito de desechos (fecas y orina), la producción de CO₂ durante la respiración, la generación de O₂ en la fotosíntesis, entre otras conductas que cambian la composición, estado o relaciones entre los componentes del medio. Producto de estas interacciones, el medio abiótico **cambia** y los organismos se **adaptan**.

En el siguiente esquema puedes observar algunos de los cambios que ocurren en dos organismos (● zorro ártico y ● roble) y en el medio ambiente abiótico (●) como resultado de las variaciones estacionales.



- Ambiente frío, día corto.
- Ambiente cálido, día largo.

◀ Estos organismos no necesariamente habitan en el mismo lugar geográfico; solo son ejemplos de seres vivos que presentan grandes variaciones estacionales.

Recuerda

Los **organismos** son la unidad básica de interacción ecológica. Ellos interactúan entre sí y con el medio, y en este proceso el ambiente cambia y los organismos se adaptan.

Actividad

1. **Nombra** dos cambios estacionales en el zorro ártico y en el roble.
2. **Averigua** qué ventajas adaptativas les confiere a los osos polares el pelaje blanco y el color de la piel bajo su pelaje.
3. **Nombra** una especie que habite en el desierto y **selecciona** dos de sus adaptaciones.

Interacciones entre individuos: poblaciones

Investig@

Utiliza la información sugerida en la siguiente página web y diseña las etapas necesarias para resolver las actividades que allí se presentan. Luego escribe un informe siguiendo la pauta de investigación que se encuentra en la página 223 de tu Texto.

http://odas.educarchile.cl/objetos_digitales_NE/ODAS_Ciencias/Biologia/caracteristicas_de_la_poblacion/index.html

Recuerda que el contenido de las páginas webs puede cambiar.

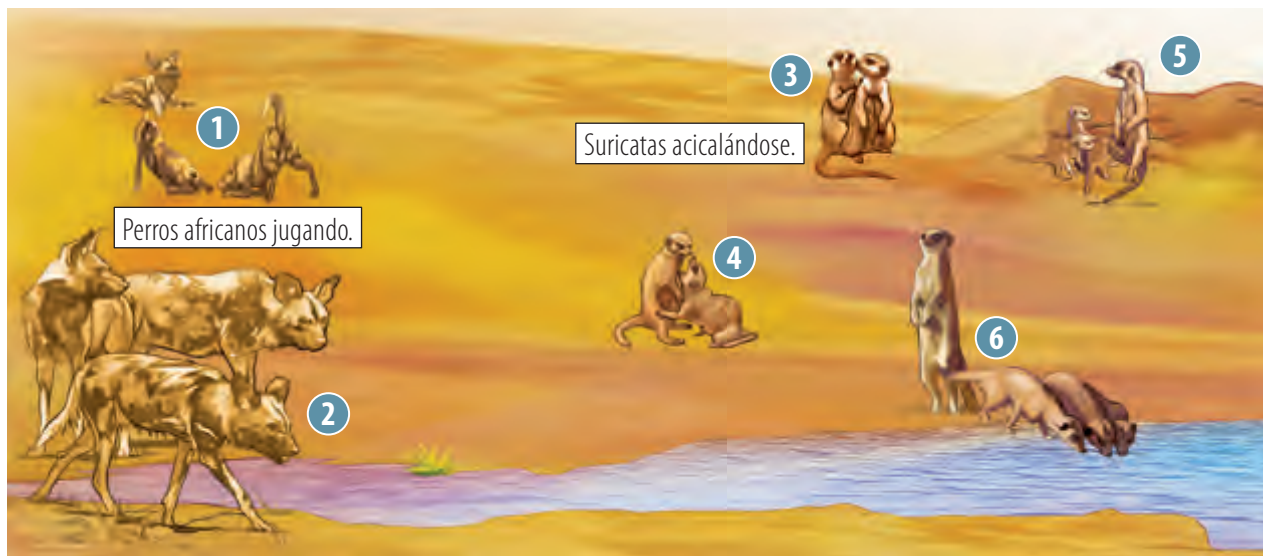
Ya sabemos que los organismos individuales son la unidad básica de interacción ecológica, pero estos no solo se relacionan con el medio ambiente **abiótico** que los rodea, sino que también con los componentes **bióticos** presentes en el medio. Estos últimos están compuestos por individuos de diversas especies. Las **poblaciones** están formadas por **individuos de la misma especie** que **conviven** en un lugar y tiempo determinados. Esta convivencia establece la existencia de **interacciones** potenciales **entre los individuos** de la población (intraespecíficas), de las que surgen las propiedades emergentes de este nivel de organización. Las proporciones de edades y sexos, la tasa de crecimiento poblacional, la densidad y la distribución territorial son todas **propiedades emergentes** características de las poblaciones.

Los individuos que forman parte de la población nacen, crecen, se reproducen, se alimentan e interactúan entre sí (juegan, se protegen, se atacan, conviven), y la población como tal interactúa con el medio ambiente biótico y abiótico consumiendo recursos, depositando desechos, ocupando un espacio, sirviendo de alimento o actuando como depredador, y se interrelaciona con poblaciones de otras especies.

Actividad

1. Observa la figura y luego responde.

- ¿Cuántas especies de animales logras **distinguir** en esta figura?, ¿qué diferencias y semejanzas puedes **reconocer** entre ellas?
- A partir de tus conocimientos, de la información del Texto y de la figura, **identifica** qué actividades están realizando los individuos de estas especies y qué tipos de interacciones se pueden establecer entre ellos y con el medio.



▲ En esta ilustración se representan distintos tipos de interacciones que se establecen entre los individuos de las poblaciones.

Crecimiento poblacional

Una característica de las poblaciones, que resulta de la interacción directa entre sus individuos, es la **tasa de crecimiento poblacional**. El proceso reproductivo de los individuos de la población es el responsable de la **mantención, crecimiento o decrecimiento** poblacional. Si el número de organismos que nacen en un determinado período es igual al número de organismos muertos en el mismo período, entonces la población mantendrá su tamaño (número de individuos). Pero si los individuos que nacen son más que los que mueren, la población crecerá, y si los que nacen son menos que los que mueren, decrecerá.

Todos los factores que influyen en la natalidad y/o la mortalidad a nivel individual tienen un efecto sobre el crecimiento de la población. Por ejemplo, en ambientes donde el alimento es abundante, un mayor número de hembras puede reproducirse y, por ende, también tener más crías. Cuando el alimento escasea, solo algunas hembras logran reproducirse y generan menos descendencia. A la vez, el alimento puede también afectar la tasa de mortalidad (o supervivencia) de los individuos, particularmente de las crías, con lo que el efecto de la falta de alimento puede incidir tanto en la tasa de natalidad como en la de mortalidad de la población. En síntesis, los cambios en cualquier variable abiótica o biótica pueden potencialmente afectar las tasas de natalidad y de mortalidad de una población. De esta forma, para una población cualquiera en la que **no hay migraciones**, la dinámica poblacional, es decir, el cambio en el número de individuos a través del tiempo, está determinada por los nacimientos y muertes:

$$\text{Cambio en el número de individuos} = \text{nacimientos} - \text{muertes}$$

Una población cualquiera, viviendo en un ambiente óptimo, en el que los recursos fueran ilimitados (sin límites de espacio, alimentos o cualquier otro recurso necesario para su supervivencia), crecería indefinidamente al máximo de su capacidad reproductiva. Una población creciendo a este ritmo aumentaría su tamaño en forma geométrica (crecimiento exponencial). Para ejemplificar esta situación, describiremos lo que ocurre en una población de protistas. La mayoría de los protistas unicelulares (y otros microorganismos) se reproducen por bipartición; esto significa que por cada célula que se reproduce se obtienen dos células o, lo que es lo mismo, su número se duplica.

Paramecium caudatum es capaz de dividirse cada diez horas, y cultivada con una cantidad suficiente de alimento y espacio, seguirá dividiéndose según este patrón, duplicando su número cada diez horas. La tabla de esta página muestra el crecimiento de una población de *P. caudatum* que crece en condiciones óptimas, con alimento y espacio prácticamente ilimitados por cinco días. Tomando en consideración estos valores, realiza la siguiente actividad.



▲ Ejemplar de *Paramecium caudatum*.

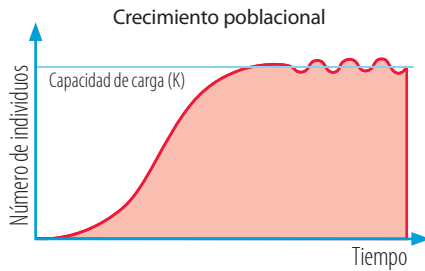
Horas	Número individuos
0	1
10	2
20	4
30	8
40	16
50	32
60	64
70	128
80	256
90	512
100	1 024
110	2 048
120	4 096

▲ Crecimiento de una población de *Paramecium caudatum*.

Actividad

1. **Construye** un gráfico de crecimiento de *P. caudatum*, en cuyos ejes la variable independiente sea el tiempo (eje X), y la variable dependiente, el número de individuos (eje Y).
2. Si en cada unidad de tiempo (10 horas) la población se duplica, ¿cuál sería el tamaño poblacional al haber transcurrido 150 horas?, ¿y a las 240 horas (10 días)? **Explica**.

Competencia entre individuos de una población



▲ La mayoría de las poblaciones crecen hasta un tamaño determinado por la capacidad de carga (K) del ambiente.



▲ A medida que las poblaciones crecen, los recursos escasean y esto lleva a la competencia entre los individuos.

Los individuos dentro de una población comparten muchas características que a su vez los diferencian de individuos de otras especies. Pero así como comparten características, también comparten necesidades. Algunas de estas últimas se relacionan con recursos que la mayoría de las veces no son ilimitados, como el alimento y el espacio, por lo que los individuos deben competir por ellos. Este tipo de competencia al interior de una población de organismos de la misma especie se conoce como **competencia intraespecífica**. La competencia intraespecífica es uno de los mecanismos de selección natural capaces de producir cambios poblacionales (evolutivos), puesto que los más aptos tienen un mayor acceso a los recursos y esto puede traducirse en una mayor longevidad, salud o descendencia.

La competencia no solo es un mecanismo de cambio evolutivo, sino que además es uno de los mecanismos de **control de la dinámica poblacional**, ya que al aumentar el tamaño de una población, la cantidad de recursos que esta requiere también aumenta en forma proporcional y los individuos deben competir cada vez más por recursos como el alimento y el espacio. Esto provoca que los más débiles o menos aptos obtengan una cantidad menor de recursos, tengan menos crías y menor supervivencia, lo que produce una desaceleración gradual del crecimiento poblacional hasta llegar a un tamaño en que la población deja de crecer. A este número de individuos se le conoce como **capacidad de carga (K)** y representa el **número máximo** de individuos de una especie particular que puede soportar un ambiente en un tiempo determinado (ver gráfico). En torno a este valor pueden ocurrir oscilaciones, dadas por cambios en la disponibilidad de recursos.

Actividad

1. Formen parejas y lean las instrucciones antes de comenzar este juego de competencia.

Materiales que necesitará cada dupla: 300 granos de arroz, aproximadamente; una pinza grande de laboratorio; un plato o bandeja plana con borde; un cronómetro o reloj con segundero; dos bolsas y un cuaderno y un lápiz para hacer anotaciones.

Inicialmente, deberán colocar los granos de arroz en el plato o bandeja. Uno de los alumnos utilizará la pinza y el otro solo sus dedos pulgar e índice para, de manera simultánea, recoger y depositar cada uno en una bolsa todos los granos de arroz que puedan durante diez segundos.

Al finalizar cada período, los alumnos contarán los granos de arroz obtenidos y los anotarán en su cuaderno.

Luego, lo volverán a intentar por períodos de diez segundos, repitiendo las instrucciones dadas. Cuando se agoten los granos del plato, el juego termina.

2. Al finalizar, cada integrante deberá **informar** lo siguiente:

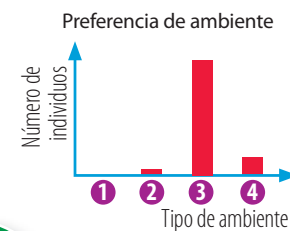
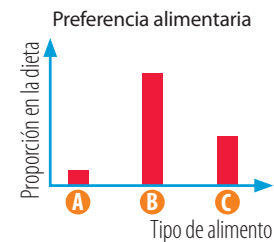
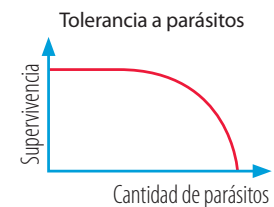
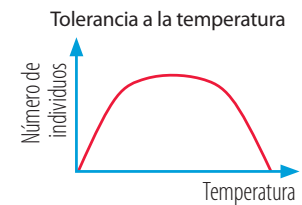
- El total de granos obtenidos.
- El número de períodos que necesitó para agotar los granos.
- Un gráfico en el que se **represente** la captura de granos que hizo por período y la cantidad acumulada en el tiempo total.
- El **cálculo** del promedio de granos obtenidos por unidad de tiempo (deberás dividir la suma total de granos obtenidos por el número total de períodos).
- Considerando el promedio de granos capturados por unidad de tiempo, **calcula** con cuántos períodos adicionales hubieses contado en caso de no existir un competidor (deberás dividir el número total de granos en el plato por el promedio de granos capturados por unidad de tiempo para obtener el número total de unidades de tiempo).
- El individuo "ganador", en este caso uno de los estudiantes de la dupla, ¿se vio perjudicado por la presencia de su competidor? **Explica** a partir de tus respuestas anteriores.

Factores limitantes de las poblaciones: surge el concepto de nicho ecológico

Las poblaciones de todas las especies requieren de una gran diversidad de factores abióticos y bióticos para subsistir. Algunos de estos factores muestran gradientes dentro de los que existen rangos restringidos que les permiten sobrevivir a organismos de una determinada especie. Ciertos factores son recursos, como los nutrientes, el agua, el oxígeno o las presas, o variables ambientales, como la temperatura, la salinidad o la altura, y que afectan su distribución geográfica y abundancia. En todos estos casos existen niveles de cada factor que pueden **limitar** la existencia de organismos de una determinada especie.

Así surge el término **nicho ecológico**, concepto que en sus primeras acepciones hacía alusión al hábitat ocupado por una especie, y posteriormente se le asoció con la "profesión" o papel que desempeñaría una especie en su ambiente. Sin embargo, actualmente el concepto de nicho excluye al hábitat e incluye no solo a las funciones que desempeña una especie en su ambiente, sino también a todas sus necesidades y los rangos de tolerancia para cada una de las variables, abióticas y bióticas, que puedan resultar limitantes para su distribución.

A continuación, presentamos un esquema ilustrativo que pretende representar los principales aspectos relacionados con el concepto de nicho. Los gráficos del lateral muestran variables ambientales determinantes de la distribución y abundancia (factores limitantes) de los individuos de una especie hipotética particular. En este ejemplo se consideran: el rango de temperatura y cantidad de parásitos que tolera y las preferencias de alimento y ambiente. Distintas partes de este organismo (boca y patas) se representan como una llave. Las formas de estas llaves se relacionan con necesidades específicas de la especie a la que pertenece este organismo. En el ambiente pueden o no ocurrir las condiciones necesarias para la existencia de esta especie. En la figura, podemos ver que solo en determinados sectores se dan las condiciones para su existencia.



Representación del concepto de nicho



En el esquema se representan las necesidades del organismo relacionadas con los tipos de alimento **B** y ambiente **3** que este utiliza preferentemente.

▲ Las variables del nicho de una especie incluyen factores abióticos, bióticos y las relaciones que establece con su medio ambiente.

Etapas experimentales

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

6. Elaboración de conclusiones.

¿Qué es una conclusión?

Es una afirmación que se hace a partir de las evidencias e interpretaciones que entrega el desarrollo de un trabajo de investigación.

Pasos para elaborar una conclusión

- Paso 1:** revisar si la hipótesis se acepta o no según los resultados obtenidos y su interpretación.
- Paso 2:** establecer la relación entre la hipótesis y la interpretación de los resultados de la investigación.
- Paso 3:** formular una afirmación que explique la relación entre la hipótesis y la interpretación de los resultados obtenidos.

Ayuda

En ciencias, la mayoría de las investigaciones son guiadas por observaciones de fenómenos naturales. En algunas ocasiones, sin embargo, estas son guiadas por argumentos teóricos que pueden ser usados para anticipar una respuesta (hipótesis) al problema de investigación.

En la historia de la ciencia, no siempre las preguntas de investigación se han originado a partir de observaciones. Muchas veces lo que guía la investigación son ideas, supuestos o preguntas surgidas a partir de postulados teóricos para los cuales no existen evidencias experimentales.

A principios del siglo XX, luego de varias décadas desde la publicación de la obra de Charles Darwin *Sobre el origen de las especies*, los avances científicos en torno a la teoría de la evolución se basaban casi exclusivamente en la discusión de las ideas propuestas en su obra.

El principio de la **lucha por la existencia** estaba en el centro de la discusión. Este plantea que ante un recurso limitado (cuya disponibilidad no es ilimitada) que es compartido por varios organismos, sean estos de la misma o de distintas especies, los organismos competirán por su utilización, y el mejor dotado excluirá a los otros de su uso. Hasta ese momento los intentos para probar este principio en forma experimental habían sido escasos y sin mayores resultados. Por otra parte, la abundante teoría matemática desarrollada hasta el momento no había sido validada experimentalmente hasta que surgen los experimentos de Gause. Veamos a continuación en qué consistieron.

Planteamiento del problema

El biólogo ruso Georgy F. Gause (1910-1986) (no confundir con Carl F. Gauss, matemático alemán) intentaba demostrar experimentalmente el principio de la lucha por la existencia postulado por Charles Darwin. Para esto diseñó una serie de experimentos en los que estudiaría el efecto de la competencia intraespecífica, interespecífica y de la depredación sobre las dinámicas poblacionales de especies cultivadas en sistemas que denominó microcosmos.

Según lo anterior, se planteó el siguiente problema de investigación:

¿Cómo será el crecimiento de dos poblaciones que comparten el uso de un recurso, si crecen por separado y crecen juntas?

¿Qué información crees que pudo resultar clave para la elaboración de la futura hipótesis? Lee el contenido del recuadro *Ayuda*.

Formulación de hipótesis

Gause conocía el comportamiento teórico del sistema. De hecho, sus preguntas de investigación se relacionaban con modelos matemáticos que habían sido desarrollados con anterioridad y que se basaban en el postulado de la lucha por la existencia propuesto por Darwin. Por lo tanto, Gause formuló la hipótesis a partir de una base teórica, la que guió su investigación, y dijo:

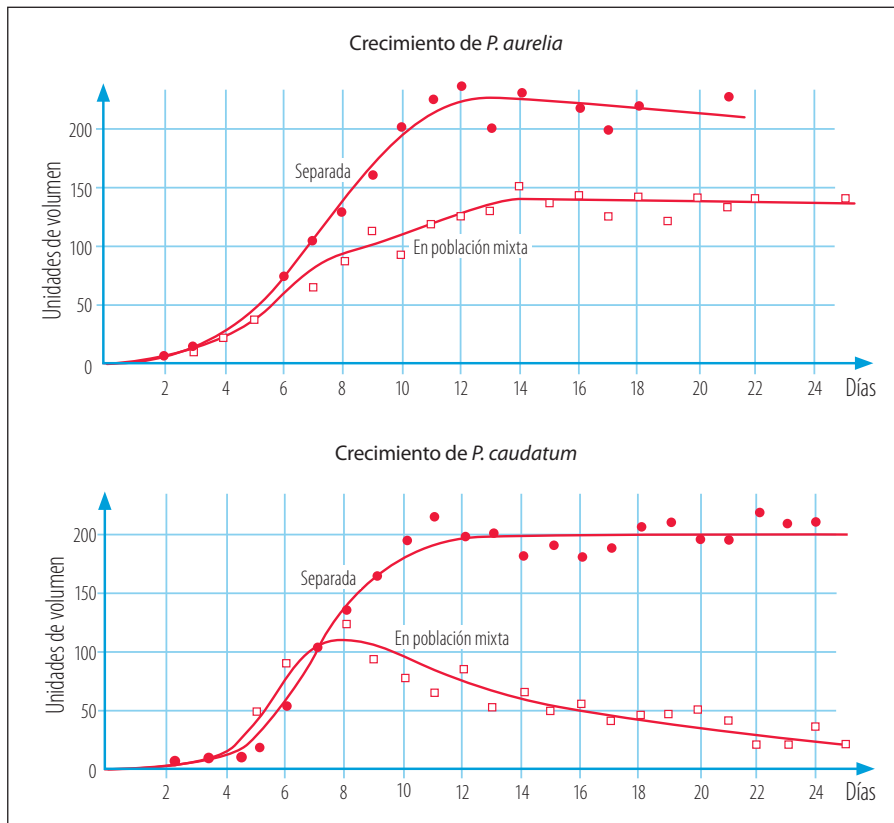
“Cuando dos poblaciones que compiten por un determinado recurso que se encuentra limitado crecen juntas, una prevalecerá y excluirá a la otra”.

Para poner a prueba esta hipótesis, Gause diseñó un experimento en el que hizo crecer dos especies de *Paramecium* por separado y luego juntas.

Procedimiento experimental y obtención de resultados

En su experimento, Gause hizo crecer dos especies de *Paramecium* (*P. aurelia* y *P. caudatum*) en matraces separados y, además, hizo crecer a las dos especies juntas en un mismo matraz. Luego midió cuidadosamente el crecimiento poblacional de ambas especies en todas las condiciones.

A continuación se representan los resultados que obtuvo.



Para profundizar

A partir de los resultados obtenidos, Gause planteó el “principio de exclusión competitiva”, que fue uno de los conceptos clave para el desarrollo de la teoría de nicho en ecología. De acuerdo con este principio, si dos especies compiten por el mismo recurso limitado, una de ellas superará a la otra y la eliminará en situaciones en las que se encuentren juntas.

La especie *P. aurelia* creciendo por separado alcanzó un equilibrio cercano a 220 unidades de volumen.

La especie *P. caudatum* creciendo por separado alcanzó un equilibrio de 200 unidades de volumen.

Las dos especies creciendo juntas alcanzaron niveles de equilibrio menores y *P. caudatum* disminuyó progresivamente a partir del 8º día.

▲ Las dos especies de *Paramecium* utilizadas por Gause tenían tamaños diferentes. Como generalmente organismos más grandes necesitan una provisión mayor de recursos, era necesario estandarizar sus tamaños para poder compararlas.

Interpretación de resultados

Considerando el problema de investigación de Gause, los resultados de su diseño experimental y el contexto histórico en el cual se desarrolló, responde.

- A partir de la teoría de Darwin, ¿cuál era el resultado esperado para la interacción competitiva?
- Compara la situación de ambas especies por separado y lo que sucede cuando crecen juntas.
- Según lo anterior, ¿por qué Gause pudo considerar que este era un ejemplo de competencia interespecífica?

Elaboración de conclusiones

- Vuelve a leer la hipótesis, contrástala con los resultados obtenidos y determina si da cuenta o no de estos. ¿Qué puedes concluir?
- ¿Cómo se relacionan los resultados con el concepto “lucha por la existencia”?

Interacciones entre poblaciones: comunidades

Para profundizar

Las relaciones dentro de la comunidad también actúan como agentes selectivos y son, por lo tanto, capaces de producir cambios evolutivos en las especies, los que generalmente se producen como resultado de su influencia recíproca, fenómeno que se conoce como **coevolución**.



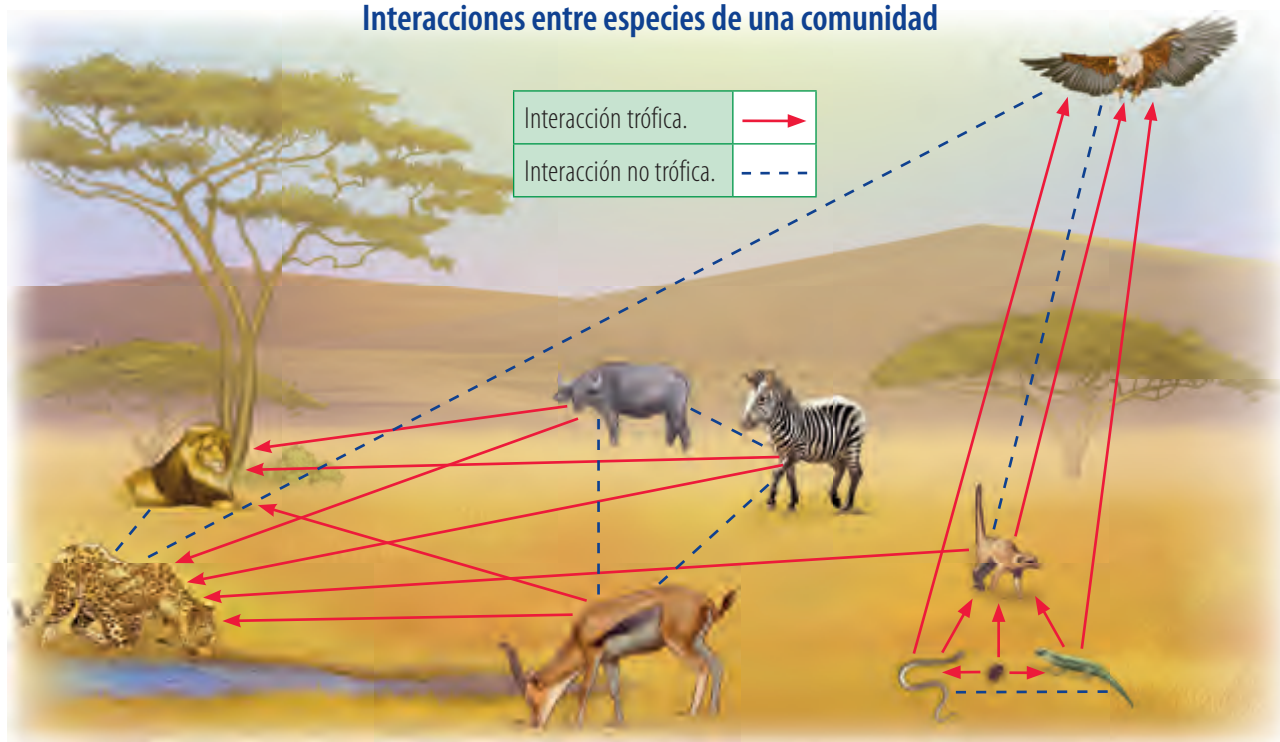
▲ Ejemplo de coevolución.

Las poblaciones de organismos **de distintas especies** que comparten un área determinada en un tiempo dado constituyen una **comunidad**. Las especies dentro de la comunidad, puesto que conviven, pueden mantener relaciones o **interacciones interespecíficas** (entre las especies). Estas relaciones pueden ser tróficas (de consumo) o no tróficas (por ejemplo, de competencia), positivas (+), negativas (-), neutras (0), o una combinación de estas, y en algunos casos involucrar a más de dos especies. Las relaciones que se establecen entre las especies de la comunidad son las responsables de las **propiedades emergentes** de este nivel de organización. Algunas de las principales son la riqueza (número) de especies, la abundancia relativa de especies (número de individuos de cada especie presente en la comunidad) y la estructura trófica (relaciones de consumo).

Actividad

1. **Construye** una trama de interacciones tróficas y no tróficas entre las siguientes especies: águila, zorro, conejo, degú (ratón orejudo), pulga, abeja, gramínea (pasto) y manzanilla (planta con flor).
2. ¿Qué tipo de interacciones **reconoces** entre las especies representadas en la siguiente ilustración? **Selecciona** ejemplos.

Interacciones entre especies de una comunidad



Nota: el sentido de las flechas indica desde y hacia dónde fluyen la materia y la energía.

▲ Entre las especies de la comunidad se establecen interacciones tróficas, como depredación, y no tróficas, como competencia.

Interacciones entre las especies de la comunidad

La **depredación** es una relación trófica (de consumo) que se establece entre especies de consumidores y sus presas. En este tipo de relación, el depredador se beneficia y la presa se ve perjudicada (interacción +/-). La **herbivoría** y el **parasitismo** pueden ser considerados como casos particulares de depredación, en los cuales generalmente “la presa” no es consumida en su totalidad. Dentro de la comunidad, las especies no solo mantienen relaciones de consumo con otras, ya que además se establecen entre ellas relaciones o interacciones no tróficas. El principal ejemplo y una de las interacciones que más se han estudiado en ecología es la **competencia**, condición que se establece entre especies que utilizan los mismos recursos. Este tipo de interacción suele aparecer entre especies que se encuentran en el mismo nivel trófico. La razón de esto es que los organismos dentro de un nivel muchas veces se alimentan de las mismas especies y esto genera competencia entre los consumidores involucrados. Por ejemplo, muchos de los herbívoros del Serengeti compiten por las mismas plantas y muchos de los carnívoros se alimentan de las mismas especies de animales. En la competencia, ambas especies se ven perjudicadas (interacción -/-). Otras interacciones que ocurren entre las especies de una comunidad, como el **mutualismo** y la **simbiosis**, pueden producir efectos positivos para ambas especies (interacción +/+). En otros casos, como el **comensalismo**, se producen efectos positivos para una y neutros para la otra (interacción +/-), o también pueden darse efectos negativos para una y neutros para la otra, como en el **amensalismo** (interacción -/0).



▲ En la depredación, una especie se beneficia (depredador) y la otra se ve perjudicada (presa). Interacción (+/-). ¿Qué organismo se ve perjudicado?



▲ En la competencia, ambas especies se ven perjudicadas por la presencia del competidor. Interacción (-/-). ¿Por qué recurso compiten estos animales?



▲ En el mutualismo, ambas especies involucradas se benefician de la relación. Interacción (+/+). En este caso, el polinizador obtiene néctar y transporta el polen entre las flores.



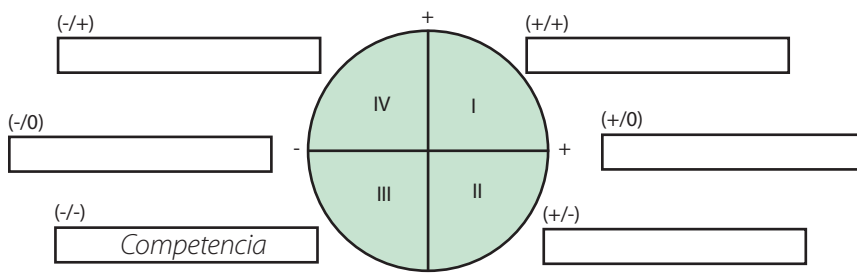
▲ En el comensalismo, una especie se beneficia y la otra no se ve afectada ni positiva ni negativamente. Interacción (+/0). La rémora se alimenta de los restos de comida del tiburón.

Relación depredador-presa

Los depredadores reducen el tamaño de las poblaciones de sus presas, razón por la que pueden ser determinantes en la dinámica poblacional de estas. Sin embargo, como los depredadores dependen de sus presas para subsistir, la reducción de estas acarrea un aumento de la competencia entre los depredadores, los que eventualmente pueden comenzar a morir de inanición al escasear los recursos alimentarios (presas). En otras palabras, la interacción de estas dos especies es un ciclo que conduce a un equilibrio ecológico.

Actividad

1. En el siguiente esquema se muestran los signos de las interacciones entre especies dentro de una comunidad. Cada cuadrante (I a IV) representa una combinación de signos de interacciones. **Ubica** las principales interacciones en los casilleros correspondientes.



Estructura trófica y flujos de energía

Las especies que forman parte de la comunidad pertenecen a todos los niveles tróficos presentes en el sistema. Los **productores primarios** estarán representados por las **especies autótrofas**. Los **consumidores**, por su parte, estarán representados por las **especies heterótrofas**, algunas de las cuales se alimentarán directamente de los productores (consumidores primarios o herbívoros), otras se alimentarán de heterótrofos (consumidores secundarios o carnívoros) y un tercer grupo se alimentará de una mezcla de productores y consumidores (consumidores omnívoros). Sea cual fuere el nivel en el que se encuentre una especie, mantendrá relaciones de consumo o tróficas con otros miembros de la comunidad a través de las llamadas **cadena** y **tramas tróficas**. Hay que tener presente que las relaciones tróficas se establecen entre las especies que son consumidas o sirven de alimento y aquellas que se alimentan de estas. Por lo tanto, las relaciones tróficas dentro de una comunidad ocurren solo entre subconjuntos de las especies presentes.

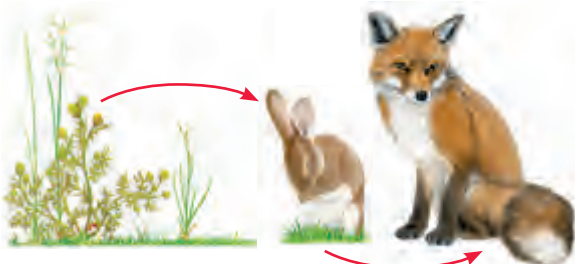
Recuerda

Las **relaciones tróficas** son un subconjunto de todas las relaciones o interacciones posibles entre las especies de una comunidad, algunas de las cuales, como hemos visto, son de naturaleza no trófica, como la competencia, el mutualismo, el comensalismo y el amensalismo.

La **estructura trófica** establece flujos de materia y energía dentro de la comunidad. Dichos flujos permiten el intercambio de energía entre los distintos niveles tróficos, lo que posibilita la existencia de todos los niveles superiores. Sin estructura trófica, solo existirían productores en las comunidades.

No debemos olvidar que toda la energía que fluye a través de las cadenas y tramas tróficas tiene su origen en los productores, que a su vez, mayoritariamente, obtienen su energía a partir de la energía lumínica proveniente de la luz del sol y reacciones de óxido-reducción al interior de los cloroplastos.

Cadena trófica



Terminología de la estructura trófica

Dentro de las comunidades, algunos tipos de especies son particularmente importantes para determinar su estructura y funcionamiento.

- **Especies dominantes:** son aquellas capaces de excluir a otras mediante interacciones competitivas. Suelen ser las más abundantes en los sistemas. Por ejemplo, los conejos.
- **Depredadores tope:** se ubican en la cima de las tramas tróficas. Generalmente son depredadores de gran tamaño, de los que ningún otro depredador se alimenta. Por ejemplo, el zorro y el águila.
- **Especie clave:** tiene una influencia que resulta desproporcionada dentro de la comunidad en relación con su abundancia. Suelen ser depredadores de alto nivel trófico. Por ejemplo, el zorro o el águila, porque son capaces de controlar a los conejos (dominantes).

Trama trófica



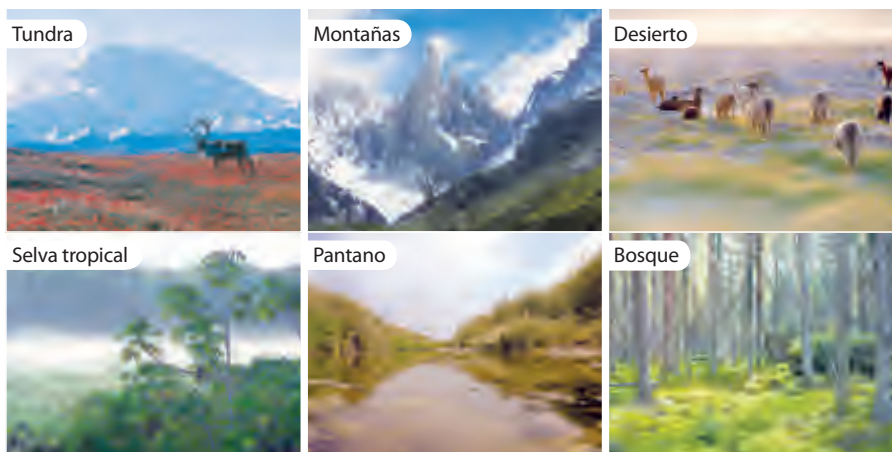
◀ Las cadenas y tramas tróficas representan relaciones de consumo. Estas dan cuenta de la estructura trófica de las comunidades y los flujos de materia y energía en los ecosistemas.

Riqueza de especies y biodiversidad

Como ya discutiéramos, las comunidades están formadas por agrupaciones de distintas especies. Pero ¿cuántas especies forman una comunidad? Este número se conoce como **riqueza de especies**. El concepto de biodiversidad, por su parte, tiene un significado más amplio y depende del contexto en que se use. Sin embargo, en términos generales, la biodiversidad se relaciona con la riqueza de especies.

La biodiversidad se ha asociado tanto a variables abióticas (características físico-químicas del medio ambiente) como a variables bióticas (relaciones entre especies) y no existe un consenso en cuanto a la importancia de estas variables para determinar la biodiversidad de un determinado lugar. Sin embargo, existen ciertos patrones que vale la pena mencionar. Estos son los siguientes:

- La biodiversidad aumenta hacia los trópicos.
- Los ambientes de baja altitud son más diversos que los ambientes de mayor altitud.
- Los ambientes más heterogéneos son más diversos.



◀ La riqueza de especies presenta variaciones relacionadas con las características propias de cada lugar y con variables como latitud, altura y heterogeneidad ambiental.

La **biodiversidad** es un término que engloba toda la variedad de vida presente en un ambiente o lugar dado. Considera la diversidad en varios niveles de organización, desde las diferencias genéticas entre organismos de una población o especie, pasando por las diferentes especies presentes dentro de las comunidades y las comunidades presentes en los ecosistemas, hasta las diferencias entre ecosistemas dentro de la biosfera.

Una gran parte de la biodiversidad se encuentra oculta a nuestros ojos. Muchas especies viven y se desarrollan en ambientes a los que generalmente no tenemos acceso, como los fondos marinos o el interior de bosques y selvas. Gracias a sus conductas, formas o colores, se ocultan de nuestra vista como resultado de las adaptaciones que les permiten evitar depredadores y/o conseguir presas. Sin embargo, la mayor parte de las especies que no vemos se debe a su tamaño. Muchos invertebrados y microorganismos conviven permanentemente con nosotros sin que siquiera los notemos. Un puñado de tierra puede contener miles, cientos de miles y hasta millones de organismos diversos.

Cambios en las comunidades

Cambios estacionales

Otoño



Invierno



Primavera



Verano



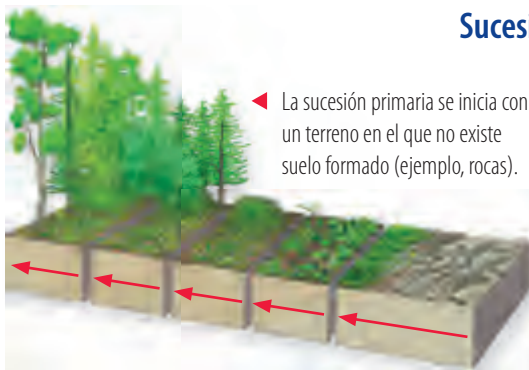
▲ Los cambios estacionales son un ejemplo de cambio cíclico en una comunidad.

Los organismos se hallan en una continua interacción entre ellos y con el medio ambiente. Como resultado de esta interacción, el ambiente cambia y los organismos se adaptan. ¿Por qué? Porque la mayoría de las actividades de los organismos y los procesos que ocurren a nivel de las poblaciones y comunidades tienen un efecto directo o indirecto en el ambiente.

Un organismo que camina en una pradera no solo se mueve, sino que además aplasta a otros organismos (plantas y animales) y deja sus huellas, las que pueden ser beneficiosas o nocivas, dependiendo de las condiciones del ambiente. Al alimentarse, remueve biomasa del sistema, y deposita parte de ella en forma de heces, junto con otros desechos, restos de pelo, piel y su propio cuerpo cuando muere. A su vez, la especie a la que pertenece este organismo tiene un rango de distribución sobre el que produce sus efectos, y se relaciona con otras especies de diversas maneras. Como resultado de estas interacciones entre las especies y de estas con el ambiente, **la comunidad cambia**.

Algunos de estos cambios tienen una naturaleza cíclica, como los producidos por las variaciones estacionales; otros son direccionales y otros tantos son azarosos. Entre los cambios direccionales más notables se encuentra el fenómeno de **sucesión ecológica**, que es un proceso de cambio gradual en la composición de especies de un sistema cualquiera. En general, en este tipo de cambios se observan procesos de colonización por parte de especies pioneras o sucesionales tempranas (generalmente más pequeñas) y luego su reemplazo por parte de especies sucesionales tardías (usualmente más grandes). El nombre sucesión se debe a que estos cambios o reemplazos de especies se suceden unos a otros. Además, en una sucesión, estos cambios ocurren en una secuencia relativamente predecible, determinada por las características de las especies involucradas. Cuando la sucesión ocurre en un ambiente nuevo, donde no existe suelo formado, como una isla volcánica reciente, se denomina **sucesión ecológica primaria**. Cuando la sucesión ocurre en un ambiente que ha sido perturbado, pero que tiene suelo formado, como un bosque que se ha quemado, se denomina **sucesión ecológica secundaria**. La sucesión secundaria generalmente ocurre mucho más rápido, y las especies de las etapas iniciales (formadoras de suelo) pueden no estar presentes. Durante el proceso de sucesión, las comunidades tienden a aumentar su diversidad y la complejidad de sus interacciones.

Sucesión primaria y secundaria



◀ La sucesión primaria se inicia con un terreno en el que no existe suelo formado (ejemplo, rocas).



▶ La sucesión secundaria se inicia con un terreno en el que una perturbación remueve la cubierta vegetal (ejemplo, incendio).

Interacciones entre comunidades y su ambiente: ecosistemas

Las comunidades, conjuntos de especies que viven juntas o **biocenosis**, no solo interactúan entre ellas (interacciones bióticas), sino que además lo hacen con el medio ambiente abiótico o **biotopo** en el que viven y se desarrollan. En conjunto, la comunidad o biocenosis y el ambiente abiótico o biotopo constituyen el siguiente nivel de organización ecológica, denominado **ecosistema**.

Las comunidades, al igual que las especies que las componen y los organismos en ellas, interactúan permanentemente con su entorno, lo que produce cambios en el ambiente durante este proceso. Parte de los cambios que ocurren como resultado de esta interacción continua se relacionan con **flujos de materia y energía**, que son la base para el estudio de los ecosistemas. La **biosfera**, en tanto, puede ser considerada como un gran ecosistema que los engloba.

Recuerda

La interdependencia dinámica que se establece entre los seres vivos y el ambiente es un factor determinante para definir las propiedades de poblaciones, comunidades y ecosistemas.

Actividad

1. **Selecciona** cinco organismos en la figura y para cada uno **describe** una interacción que pueda ocurrir con el medio biótico y otra con el medio abiótico. En la figura se ejemplifica un caso. Recuerda que pueden ser interacciones tróficas o no tróficas.

El tucúquere compete con el águila por alimento (interacción con el medio biótico) e intercambia O₂ y CO₂ con la atmósfera (interacción con el medio abiótico).

1. Águila	12. Conejo
2. Tucúquere (búho)	13. Zorro
3. Monito del monte	14. Cormorán
4. Queltehue	15. Larva de insecto
5. Larva de coleóptero	16. Descomponedores
6. Coleóptero	17. Invertebrados del suelo
7. Zorzal	18. Raíces
8. Huemul	19. Fitoplancton
9. Jabalí	20. Zooplancton
10. Degú	21. Trucha
11. Carpintero negro	22. Pez planctívoro

▲ En los ecosistemas se establecen distintos tipos de interacciones. Unas se producen entre los diversos seres vivos que forman parte del ecosistema (biocenosis). Otras se producen entre los seres vivos y el medio abiótico en el cual se desarrollan (biotopo).

I. Marca la alternativa correcta.

- 1 ¿Cuál(es) de las siguientes afirmaciones puede(n) ser considerada(s) como general(es) a **todos** los organismos?
- Surgen de la asociación entre estructuras y organelos celulares que forman la célula.
 - Presentan irritabilidad, reproducción y homeostasis.
 - Interactúan con otros organismos y con el medio ambiente.
- A. Solo I. D. I y II.
B. Solo II. E. II y III.
C. Solo III.
- 2 ¿Cuál(es) de los siguientes factores pertenece(n) al medio abiótico de un organismo?
- Temperatura ambiental.
 - Cantidad de luz.
 - Parásitos.
- A. Solo I. D. I y II.
B. Solo II. E. I, II y III.
C. Solo III.
- 3 ¿Con qué componente(s) del ambiente interactúa un organismo que vive en una pradera?
- Con las especies vegetales del sistema.
 - Con organismos de otras especies.
 - Con el suelo por el que camina.
- A. Solo I. D. II y III.
B. Solo II. E. I, II y III.
C. Solo III.
- 4 Los individuos de una población:
- pueden competir unos con otros por los recursos.
 - no necesariamente comparten un lugar físico.
 - pertenecen a distintas especies.
- A. Solo I. D. I y III.
B. Solo II. E. II y III.
C. Solo III.
- 5 ¿Qué es posible afirmar a partir de los cambios que experimenta el zorro ártico?
- Son cambios permanentes.
 - Que son un ejemplo de adaptación en los animales.
 - Que están asociados a cambios del ambiente.
- A. Solo I. D. I y III.
B. Solo II. E. II y III.
C. Solo III.
- 6 Con respecto a las poblaciones, ¿cuál(es) de las siguientes afirmaciones es(son) **correcta(s)**?
- La reproducción por sí sola determina si la población crece o disminuye.
 - Los organismos de la población interactúan entre sí y con organismos de otras especies.
 - En una población que crece, la mortalidad es igual a cero.
- A. Solo I. D. II y III.
B. Solo II. E. I, II y III.
C. Solo III.
- 7 ¿Qué se podría afirmar si en el ambiente en el que se encuentra una población un recurso como el alimento escasea?
- Que la población eventualmente dejará de crecer.
 - Que algunas hembras dejarán de tener crías.
 - Que la población crecerá en forma exponencial.
- A. Solo I. D. I y II.
B. Solo II. E. II y III.
C. Solo III.

8 La estructura trófica de la comunidad:

- I. está dada por las relaciones de consumo entre las especies.
- II. está definida por las especies del mismo nivel trófico.
- III. establece flujos de materia y energía entre las poblaciones.

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

9 Con respecto a las interacciones interespecíficas, ¿cuál(es) de las afirmaciones es(son) **correcta(s)**?

- I. Que pueden ser de naturaleza trófica o no trófica.
- II. Que ocurren entre organismos de la misma especie.
- III. Que se producen entre especies de una comunidad biológica.

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

10 Si un organismo de una especie compite con otro de una especie diferente por un determinado recurso, se puede afirmar que:

- I. el organismo más grande ganará.
- II. estos organismos interactúan.
- III. solo uno de ellos se beneficia.

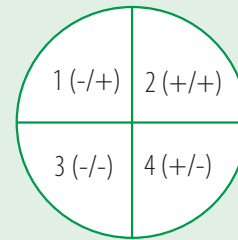
- A. Solo I. D. I y III.
- B. Solo II. E. I, II y III.
- C. I y II.

11 ¿Qué es la competencia intraespecífica?

- I. Es una interacción entre individuos de distintas especies.
- II. Es un mecanismo de selección natural.
- III. Es un mecanismo de control de la dinámica poblacional.

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

12 El esquema representa los tipos de interacciones que pueden ocurrir en una comunidad. Siguiendo el orden de los números, identifica a qué interacciones corresponden.



	1	2	3	4
A.	Competencia	Depredación	Parasitismo	Mutualismo
B.	Parasitismo	Mutualismo	Competencia	Depredación
C.	Depredación	Mutualismo	Parasitismo	Competencia
D.	Competencia	Depredación	Mutualismo	Parasitismo
E.	Mutualismo	Parasitismo	Depredación	Competencia

II. Responde las siguientes preguntas.

- 1** Si un organismo muere, ¿deja de interactuar con el ambiente? Explica.
- 2** ¿Qué niveles de organización se pueden reconocer dentro de un ecosistema?

Yo me evalúo

Marca con un los aprendizajes logrados hasta ahora y evalúa tu desempeño.

Pude reconocer los principales tipos de interacciones que se establecen entre los organismos y su medio ambiente.

Identifiqué los principales factores que influyen en la estructura de poblaciones, comunidades y ecosistemas.

Los seres humanos y la modificación de hábitat



22 de marzo de 1975



31 de marzo de 2000

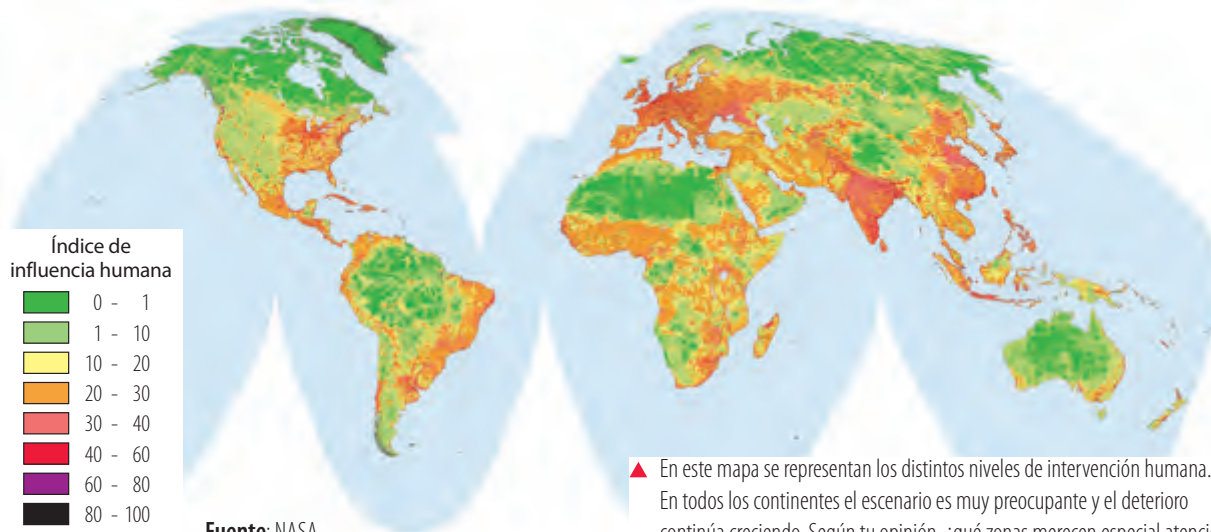
Fuente: Google Earth.

Los seres humanos somos una especie más en este planeta y, como tal, interactuamos entre nosotros, con otras especies y con el medio ambiente. Sin embargo, aun cuando somos una especie más, no somos una especie cualquiera. Al igual que otras especies, somos capaces de modificar el ambiente y, como producto de ello, obtenemos condiciones más favorables para nuestra vida. Pero nuestra capacidad de modificación no solo supera con creces la de la mayoría de las especies, sino que, además, se ha incrementado increíblemente durante la historia de la humanidad. Gracias a esto, hemos podido colonizar y habitar la mayoría de los ambientes de nuestro planeta. Sin embargo, como resultado de la modificación que hacemos de los ambientes naturales y de nuestra capacidad para colonizar ambientes diversos, hemos afectado una gran proporción de la superficie de la Tierra. La magnitud y naturaleza de los cambios es variada, pero lamentablemente muchos de los ambientes afectados no pueden ser recuperados por ningún medio, y la modificación de los distintos ambientes continúa.

La **huella ecológica** es un concepto reciente que involucra la utilización de los recursos (cantidad y forma en que los empleamos), y sobre esta base se calcula la cantidad de espacio ecológicamente productivo que se requiere para satisfacer las necesidades de una persona o grupo humano en cuanto a la generación de los recursos que usan y la descomposición de los residuos producidos. Esta medición se utiliza principalmente con fines comparativos de estilos de vida y para evaluar el impacto que estos tienen para el planeta.

◀ Entre 1975 y 2000 la ciudad de Santiago casi duplicó su población, lo que ha generado problemas urbanos y ambientales.

Distribución mundial de la influencia humana: nuestra huella



Fuente: NASA.

▲ En este mapa se representan los distintos niveles de intervención humana. En todos los continentes el escenario es muy preocupante y el deterioro continúa creciendo. Según tu opinión, ¿qué zonas merecen especial atención?

Efectos directos sobre el ambiente

A lo largo de la historia, los seres humanos hemos demostrado la capacidad que tenemos de alterar el medio ambiente para nuestro propio "beneficio". Muchas de estas alteraciones se han relacionado con proveernos mejores condiciones de vida. Es así como aprendimos a utilizar el fuego, nos asentamos, desarrollamos la agricultura, construimos ciudades y luego nos industrializamos. Pero este camino no ha sido fácil ni tampoco gratuito. Muchas de las modificaciones que hemos hecho han provocado cambios importantes sobre la faz de la Tierra, algunos de los cuales son irreversibles, y muchos otros tienen efectos de largo plazo, cuyas consecuencias finales no pueden ser previstas en la actualidad.

La utilización del fuego por parte de los humanos se relaciona no solo con la cocción de los alimentos, la iluminación y el abrigo, que fueron los primeros y principales usos durante milenios. El desarrollo industrial vino de la mano con el aumento de los gases invernadero, y con ello el calentamiento global, debido a que se ha llevado a cabo en gran medida a partir de la utilización de combustibles que al quemarse liberan CO₂ a la atmósfera. Además, gran parte de los combustibles utilizados son de naturaleza fósil y, por lo tanto, liberan el carbono que había estado secuestrado por muchos millones de años en forma de carbón, gas natural o petróleo, lo cual ha alterado el ciclo biogeoquímico de este elemento.

La agricultura ha jugado un rol importante en nuestro éxito como especie. Fue probablemente debido a ella que se realizaron las primeras modificaciones de gran escala sobre la Tierra. Actualmente se estima que casi el 24% de su superficie ha sido transformada por la agricultura y en algunos países como Brasil, Madagascar o Borneo el proceso continúa a un ritmo acelerado insostenible.

Para profundizar

Gran parte de los impactos que como especie hemos generado tiene que ver con la utilización del espacio. Como todos los organismos, necesitamos un lugar para vivir. Muchas especies construyen madrigueras donde protegerse, dormir y criar a sus familias. Los seres humanos construimos casas y edificios, y como tendemos a vivir agrupados, estas construcciones forman ciudades. Estas ocupan una parte importante de la superficie utilizable de la Tierra, concentran un gran número de personas y, por lo tanto, en ellas se emplea la mayor parte de la energía y los recursos que consumimos como especie.

Actividad

1. Reflexiona a partir de la **interpretación** del mapa y de la siguiente información.

Para la producción de alimentos de origen animal (carne, huevos, leche), se debe destinar una gran cantidad de terrenos para el cultivo de granos y otros recursos, con los que los animales serán alimentados, y reservar terrenos para su crianza y mantención.

- Si los países aumentan el consumo de carne, ¿qué implicancias tiene esto en términos del uso de tierra disponible?
- ¿Qué presión pone esta situación a la mantención de áreas protegidas?
- ¿Qué zonas del planeta son más afectadas por la agricultura?

Extensión de los sistemas cultivados



Fuente: Evaluación de los ecosistemas del milenio, 2005.

▲ Prácticamente el 24% de la tierra disponible en nuestro planeta ha sido alterada por la agricultura.

Efectos directos sobre otras especies

Para profundizar

Siendo ya ex-Presidente, Theodore Roosevelt, creador de las bases del sistema de parques y áreas protegidas de los Estados Unidos, organizó y participó del llamado "safari más grande del mundo", durante el cual recorrió África Oriental, el Congo belga, para terminar en Egipto. En este safari, él y su hijo, acompañados por unos 250 portadores y guías, mataron más de 500 animales mayores, incluidos 17 leones, 11 elefantes y 20 rinocerontes.

Como resultado de nuestras actividades, innumerables especies se han extinguido y probablemente otras seguirán el mismo camino. Varios de los grandes **problemas de conservación** con que nos enfrentamos hoy se relacionan con especies que los seres humanos hemos **explotado** en forma desmedida para la obtención de **alimentos u otros productos**. Entre las más emblemáticas y actualmente polémicas se encuentran varias especies de ballenas, que estuvieron a punto de extinguirse en el siglo XX, algunas de las cuales aun hoy en día siguen siendo cazadas por países como Japón, Noruega e Islandia, que no se han adherido y desconocen los tratados internacionales que se han establecido para protegerlas.

Muchas especies, sin embargo, han sido y siguen siendo cazadas con fines "deportivos" u ornamentales, sin que medie ningún beneficio directo sobre los seres humanos a partir de su muerte, sirviendo, en el mejor de los casos, como trofeos. Así, las grandes especies africanas fueron cazadas por miles durante la primera mitad del siglo XX simplemente por la emoción de la matanza. Además, por años un sinnúmero de especies han sido capturadas siguiendo supersticiones que atribuyen propiedades medicinales o mágicas a algún órgano o parte de su cuerpo. Ejemplos de esto son los rinocerontes, cazados por sus cuernos y para el uso del marfil; los tigres, por sus huesos, y los osos por sus vesículas. Actualmente, muchas especies están siendo amenazadas por el tráfico orientado a la venta como mascotas exóticas.

Imágenes del llamado "safari más grande del mundo"



▲ Resultado de una mañana de cacería en el río Miembo, Rhodesia (actualmente Zambia), África.



▲ En la fotografía se observan tres hipopótamos abatidos. Los palos son usados para abrirles la boca antes de que ocurra el *rigor mortis* y facilitar la preparación como trofeo.



◀ Una mañana de cacería en la que esta partida de cazadores abatió en quince minutos lo que parece ser una manada de leonas o leones jóvenes.

Fuente: Library of Congress, USA.

Efectos indirectos sobre otras especies

Muchas especies han desaparecido o actualmente presentan **problemas de conservación** debido a los efectos indirectos de nuestras actividades. La reducción y fragmentación de los hábitats naturales están probablemente entre las principales causas de la vulnerabilidad en la que se encuentra un sinnúmero de especies. La **deforestación** provocada por la agricultura y ganadería es sin duda una de las grandes responsables de esta pérdida. Actualmente se deforestan aceleradamente en zonas de hábitats tropicales, tanto para la **extracción de recursos forestales** como para la **introducción de especies cultivadas**. Un caso dramático lo constituyen las plantaciones de palma aceitera en lugares como Borneo, la cuarta isla más grande del mundo y hogar de especies únicas, como los orangutanes pigmeos (*Pongo pygmaeus*), los elefantes pigmeos (*Elephas maximus borneensis*), los monos narigudos (*Nasalis larvatus*) y otras muchas, cuyo hábitat se ha visto reducido en forma alarmante. Menos evidentes, pero también muy importantes, son los cambios que se han producido y seguirán produciéndose a nivel planetario a raíz del efecto invernadero y el consiguiente calentamiento global y cambio climático asociados a este. Las especies en los polos son probablemente las más sensibles a estos cambios. Es en estos ambientes donde se están produciendo las modificaciones más dramáticas, las que, además, pueden tener serias consecuencias para nuestro propio futuro. El derretimiento de los polos es un hecho incontrovertible y, de seguir este patrón, se puede anticipar una elevación significativa en el nivel del mar, lo que afectaría algunos de los sistemas biológicamente más diversos y habitados de nuestro planeta, como son las zonas bajas cercanas a las costas, donde se encuentran los mayores asentamientos humanos.



▲ Animales que habitan en los extremos del planeta, como los osos polares, están viviendo las dramáticas consecuencias del cambio climático.

▲ Fotografía de una zona deforestada para futuras plantaciones de palma aceitera.



▲ *Pongo pygmaeus*.



▲ *Nasalis larvatus*.



▲ *Elephas maximus borneensis*.

Para profundizar

Curiosamente, el aceite de palma ha sido promocionado como un biocombustible "verde" y renovable. Sin embargo, el daño que se ha causado con sus plantaciones es de grandes proporciones. Al considerar la pérdida de hábitat y la situación de riesgo en la que se encuentran muchas de las especies desplazadas o eliminadas por esta práctica, difícilmente se puede pensar en este aceite como un producto amigable con el medio ambiente.

Contaminación en Chile

Ayuda

La contaminación está definida legalmente como la acción y el efecto de introducir materias o formas de energía en un medio, de modo directo o indirecto, que impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con sus usos posteriores o los servicios que pudieran derivar de este.

La **contaminación** es un tema que afecta globalmente a toda la Tierra. Tiene efectos sobre la atmósfera, las tierras y las aguas, además de incidir sobre todas las especies que habitan nuestro planeta, incluidos nosotros. En Chile no estamos libres de ella, y los patrones generales se repiten. Sin embargo, tenemos problemas que nos son propios y que están dados por factores como nuestras costumbres, nivel de desarrollo, utilización y forma de generar la energía, la topografía de nuestro país y la presencia de abundantes recursos minerales, entre otros.

El desarrollo de la industria minera en nuestro país ha traído consigo un alto precio en términos ambientales y, si bien actualmente las regulaciones han contribuido a reducir los niveles de contaminación, en el pasado la falta de conocimientos y de conciencia ambiental llevaron a muchas empresas a impactar grandes extensiones con niveles de contaminantes que afectaron de forma importante el ambiente abiótico y a los seres vivos que habitaban en dichos lugares. Un ejemplo de esto ocurrió en la costa de Chañaral como producto de la actividad de la mina El Salvador. Por 37 años (1938-1975), los relaves, residuos líquidos del proceso minero, fueron vertidos, sin ningún tipo de tratamiento, directamente al mar en la bahía de Chañaral. Como resultado se acumuló en el sector costero una gran cantidad de residuos sólidos, transportados por los relaves, los que se fueron depositando progresivamente. Este almacenamiento finalmente hizo que el borde costero se desplazara casi un kilómetro por la formación de una “playa” artificial constituida por los desechos altamente tóxicos depositados sobre la playa original. La acumulación de estos residuos produjo un cambio drástico en la diversidad del lugar, con la desaparición de prácticamente toda la flora y fauna del ecosistema costero. Lo anterior probablemente fue causado por los altos niveles de metales pesados, especialmente cobre.



▲ Imágenes históricas de la zona costera de la bahía de Chañaral. El color de las rocas está dado por la contaminación, y las especies presentes son algas resistentes al cobre.



Fuente: Google Earth.

▲ Imagen satelital de la bahía de Chañaral, en la que se muestra el efecto de casi 40 años de acumulación de residuos mineros en la zona costera.

Chile y el reemplazo del bosque nativo

En estos tiempos en que la conservación de la biodiversidad adquiere cada vez más importancia en la opinión pública y las políticas relacionadas con este tema parecen estar bien encaminadas, vemos los esfuerzos realizados por organismos e instituciones públicas y privadas como algo esperable y necesario para preservar los sistemas naturales.

Actualmente, uno esperaría que los gobiernos alrededor del mundo se preocuparan de la conservación de los ecosistemas, muchos de los cuales son únicos y están representados por unos pocos lugares en los que los seres humanos no hemos intervenido. Sin embargo, hasta hace muy poco las políticas internacionales y locales parecían privilegiar la explotación de los recursos naturales y el reemplazo o inclusive la introducción de especies exóticas para aumentar la productividad.

Aún hoy en día parece haber conflicto en cuanto a decidir qué, cuánto y dónde conservar, especialmente en los países subdesarrollados o en vías de desarrollo. Un ejemplo en nuestro país se relaciona con las iniciativas que promueven reemplazar áreas de bosque nativo por especies altamente productivas, como el pino insigne (*Pinus radiata*), el eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y el álamo (*Populus nigra*), entre otras.

Existen iniciativas que apoyan la conveniencia de forestar con pinos para aumentar la cantidad de bosques en Chile. Sin embargo, las plantaciones no son bosques, ya que carecen de la complejidad y la biodiversidad asociada a los bosques reales y, por lo tanto, resultan de escaso valor ecológico.

En nuestro país los mayores esfuerzos e iniciativas de conservación, en términos de extensión de áreas protegidas, se encuentran en el extremo sur del país. En la Duodécima Región se localiza la mayor superficie de parques nacionales, con el 54,5% del total, seguida por la Undécima Región, con el 33,7% del total.

En las imágenes se puede observar la diferencia entre una plantación de árboles madereros (1) y un bosque natural (2). En el bosque, a diferencia de la plantación, la diversidad de la cubierta vegetal de los estratos bajos es alta.



▲ Plantación de pinos. En la fotografía se observa que bajo los árboles solo crece algo de pasto.



▲ Bosque nativo. En la fotografía se aprecia una gran cantidad de vegetación bajo los grandes árboles.

Actividad

1. Reflexionen en grupo y luego respondan.

- ¿Qué alternativa puede existir para reducir los impactos de la agricultura sobre la Tierra?
- ¿Qué medidas personales crees que puedes tomar para evitar el daño indirecto sobre otras especies de seres vivos? Nombra al menos cinco.
- Considerando que los seres humanos somos una especie más, ¿cómo ha sido nuestra relación con el ambiente y las especies con las que cohabitamos?

Chile y sus especies en peligro

Ejemplos de especies chilenas en peligro



▲ La ranita de Darwin (*Rhynoderma darwini*) es un anfibio endémico de nuestro país que se encuentra actualmente **en peligro de extinción**.



▲ El pájaro carpintero grande (*Campephilus magellanicus*) se encuentra **en peligro de extinción** desde la VI hasta la VIII Región, y más al sur en estado de **vulnerabilidad**.



▲ El ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) es una especie longeva que puede superar los 500 años de edad. Su estado de conservación es **vulnerable** y hoy se encuentran muy pocos ejemplares adultos.

En nuestro país, debido principalmente a su aislamiento del resto del continente, tenemos una gran cantidad de especies únicas o **endémicas**, esto es, que no se encuentran en ningún otro país. Además, gracias a la diversidad de ambientes que posee, es posible encontrar ecosistemas de la más variada índole: desérticos, mediterráneos, de sabana, matorral esclerófilo, bosque decíduo, bosque templado lluvioso, tundra, por nombrar los principales. Con esta gran diversidad de ecosistemas y el alto nivel de endemismo, no es de extrañar que tengamos muchas especies con problemas de conservación.

El problema de la **conservación de especies** y de los **ecosistemas** no es fácil de abordar. Incluso a pesar de que existe la voluntad y preocupación por atender este tema, no hay una única respuesta a las preguntas de qué conservar, cómo hacerlo y a qué costo. La experiencia hasta ahora ha mostrado que la mejor opción para la conservación de especies es la de conservar ecosistemas, que pueden actuar como unidades funcionales en las que las especies logran satisfacer sus necesidades y mantenerse por prolongados períodos de tiempo.

En nuestro país existen más de doscientas especies animales que actualmente presentan problemas de conservación, muchas de las cuales son endémicas. Entre las más emblemáticas se encuentran: el huemul, el cóndor, el pudú, el puma, la ranita de Darwin, el zorro chilote, el pequén y el monito del monte, en distintos estados de riesgo de conservación. Además de las especies animales, muchas especies vegetales están en serios problemas de conservación, entre ellas algunas de las más conocidas son el alerce, la araucaria, el avellano, el canelo, el copihue y el chagual.



▲ El belloto del sur (*Beilschmiedia berteroa*) es una especie endémica de Chile que se encuentra en estado crítico de conservación (es otra especie más **en peligro de extinción**).



▲ Este mamífero, la vizcacha (*Lagidium viscacia*), se distribuye por laderas y roqueros de la cordillera y precordillera de nuestro país. Actualmente se encuentra **en peligro de extinción**.

Actividad

1. **Busca** el significado de los siguientes criterios de conservación con los que se **clasifica** el estado de las distintas especies en el medio natural.

- Extintas en su distribución natural.
- Insuficientemente conocidas.
- Vulnerables.
- Raras.
- En peligro de extinción.
- Fuera de peligro.

La distribución de especies en Chile

En Chile existen cerca de 30 000 especies clasificadas como **nativas**, esto es, aquellas cuyo rango de distribución natural incluye nuestro territorio. De estas, la mayor parte corresponde a insectos, que con las 10 133 especies conocidas conforman cerca del 33% de todas las presentes en el país. Las plantas, con 6 900 especies descritas, constituyen cerca del 22% de las especies nativas. Los hongos y líquenes, con 4 347 especies, representan el 14% del total.

Debido principalmente al grado de aislamiento de nuestro país, rodeado por barreras naturales como el mar y la cordillera de los Andes, los procesos de especiación (mecanismos de formación y evolución de especies) han dado como resultado la existencia de un gran número de especies **endémicas**. Muchas de nuestras especies presentan algún riesgo de conservación y otras tantas están amenazadas o en peligro de extinción. Las siguientes tablas ilustran algunos de los problemas de conservación presentes en nuestro país.

Grupo	N° de especies endémicas	N° de especies introducidas	Total de especies en Chile	Porcentaje de endemismo (%)
Peces	Sin información.	19	1 027	Sin información.
Anfibios	33	1	40	76,7%
Reptiles	55	1	96	58,5%
Aves	10	5	462	2,2%
Mamíferos	18	15	141	12,2%
Total	135	41	1 767	-

▲ Tabla 1. Especies de vertebrados nativos y endémicos de Chile. Fuente: Simonetti *et al.* (2000). Para el grupo de los peces, se incluyen peces marinos y de agua dulce.

Grupo	Total de especies en Chile	N° de especies con problemas de conservación	Porcentaje de especies con problemas de conservación
Peces de agua dulce.	44	44	100%
Anfibios	40	31	78%
Reptiles	96	45	47%
Aves	462	73	16%
Mamíferos	141	52	37%
Total	783	245	31%

▲ Tabla 2. Especies de vertebrados con problemas de conservación en Chile. Fuente: CONAF.

Grupo	En peligro (EP)	Vulnerable (V)	Rara (R)	Insuficientemente conocida (IC)
Peces de agua dulce.	18	23	1	2
Anfibios	6	9	10	6
Reptiles	1	13	18	13
Aves	11	32	12	18
Mamíferos	16	15	12	9
Total	52	92	53	48

▲ Tabla 3. Especies con problemas de conservación en Chile. Fuente: CONAF.

Ayuda

El grupo de los peces de agua dulce es el que presenta la mayor proporción de especies con problemas de conservación. Una de las graves amenazas para estos animales fue la introducción de especies de salmónidos en los ríos de Chile con fines deportivos y recreacionales, ya que estos son depredadores de alto nivel trófico, muy voraces. Actualmente los salmónidos son una importante fuente de ingresos en nuestro país y son cultivados en forma intensiva principalmente en la X Región.

Para profundizar

La Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) tiene a su cargo, entre otros temas ambientales, los problemas de conservación de especies en Chile.

Flora y fauna en peligro

El siguiente listado constituye una muestra de algunas de nuestras especies con problemas de conservación. Actualmente, uno de los principales riesgos para la conservación de las especies radica en la modificación y pérdida de hábitat, causadas principalmente por la acción directa e indirecta de los seres humanos y la introducción de especies exóticas capaces de desplazarlas.



Alerce (*Fitzroya cupressoides*)

Estado de conservación: **en peligro de extinción**, a pesar de haber sido declarado Monumento Natural desde el año 1976. Su distribución abarca la XIV Región de Los Ríos y la X Región de Los Lagos, entre Valdivia y Chiloé.



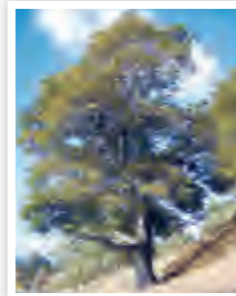
Araucaria (*Araucaria araucana*)

Estado de conservación: **vulnerable**, a pesar de haber sido declarada Monumento Natural desde el año 1976. Se extiende por la cordillera de los Andes, desde Ñuble hasta Villarrica. En la costa, solo está presente en la cordillera de Nahuelbuta.



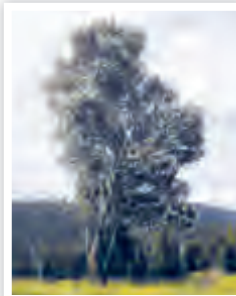
Copihue (*Lapageria rosea*)

Estado de conservación: **en peligro de extinción**. Se encuentra desde Valparaíso a Osorno (V a X Región), en ambas cordilleras, enredada sobre matorrales y árboles en zonas húmedas.



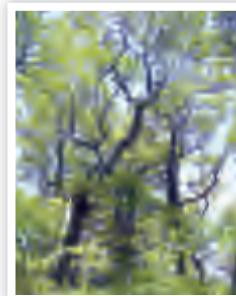
Coigüe (*Nothofagus dombeyi*)

Estado de conservación: **vulnerable**. Crece desde Colchagua hasta Aysén (desde la VI a la XI Región).



Ulmo (*Eucryphia cordifolia*)

Estado de conservación: **rara**. Se desarrolla entre la provincia de Arauco, en la VIII Región del Biobío, y las provincias de Chiloé y Palena, Región de Los Lagos.



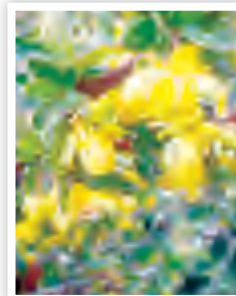
Roble (*Nothofagus obliqua*)

Estado de conservación: **en peligro de extinción**. Crece desde Valparaíso hasta Llanquihue (V a X Región), en ambas cordilleras y en el valle central.



Canelo (*Drimys winteri*)

Estado de conservación: **en peligro de extinción**. Se distribuye desde la IV Región de Coquimbo hasta la XII Región de Magallanes y la Antártica Chilena, en ambas cordilleras, ocupando una gran variedad de hábitats.



Calafate (*Berberis buxifolia*)

Estado de conservación: **en peligro de extinción**. Este arbusto generalmente crece en terrenos abiertos desde Curicó hasta Tierra del Fuego (VI a XII Región), desde el nivel del mar hasta los 2 500 metros de altura.



Huemul (*Hippocamelus bisulcus*)

Estado de conservación: **en peligro de extinción**. Su distribución está altamente fragmentada entre los nevados de Chillán (VIII Región) y los 50° de latitud, en el extremo austral de Chile. Su población total se estima en unos 1 000 ejemplares.



Cóndor andino (*Vultur gryphus*)

Estado de conservación: **vulnerable**. Su distribución abarcaba desde Venezuela hasta Tierra del Fuego. Se ha declarado extinto en Venezuela, y su población está disminuyendo principalmente por pérdida de hábitat. Se encuentra en la cordillera de los Andes de Chile y Argentina.



Zorro chilote (*Pseudalopex fulvipes*)

Estado de conservación: **en peligro de extinción**. Se distribuye en la isla grande de Chiloé y cordillera de Nahuelbuta en Chile continental. Se estima que su población actual no supera los 600 ejemplares.



Lobo fino de Juan Fernández (*Arctocephalus philippii*)

Estado de conservación: **vulnerable**. Se distribuye exclusivamente en el Archipiélago Juan Fernández (V Región) y en las islas San Félix y San Ambrosio, en la III Región. Se estima que su población total es de unos 40 000 ejemplares.



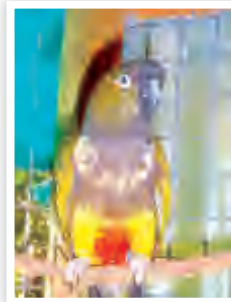
Guanaco (*Lama guanicoe*)

Estado de conservación: **vulnerable**. Se distribuye desde el norte de Perú hasta Tierra del Fuego. Se estima que su población total en el país es de unos 50 000 ejemplares y cerca de 500 000 en toda su zona de distribución.



Hullín o nutria de río (*Lontra provocax*)

Estado de conservación: **en peligro de extinción**. Su distribución original abarcaba el río Cachapoal (VI Región) hasta Tierra del Fuego. Actualmente, su límite norte está en el río Toltén (IX Región).



Loro trichahue (*Cyanoliseus patagonus bloxami*)

Estado de conservación: **vulnerable**. Su distribución original abarcaba desde Atacama hasta Valdivia. Actualmente, sus principales poblaciones se encuentran entre la VI y VII Región, con poblaciones dispersas en la IV Región.



Monito del monte (*Dromiciops gliroides*)

Estado de conservación: **insuficientemente conocida**. Se distribuye desde Talca hasta Chiloé (continental e insular). No existen estimaciones de su tamaño poblacional.



Puma (*Puma concolor*)

Estado de conservación: **insuficientemente conocida**. Se distribuye desde Canadá hasta el Estrecho de Magallanes. En nuestro país ha sido cazado casi hasta el exterminio en la mayor parte del territorio nacional.



Gato güiña (*Oncifelis guigna*)

Estado de conservación: **insuficientemente conocida y rara**. Se distribuye entre la IV y la XII Región. No existen estimaciones de su tamaño poblacional, pero se calcula que sus poblaciones están en declinación.

Chile y la introducción de especies



▲ Las codornices son originarias de California. Fueron introducidas en Chile durante el siglo XIX. Son abundantes en Chile central.



▲ Los mirlos son originarios de Argentina. Es una especie parásita que pone sus huevos en los nidos de aves nativas.



▲ El dedal de oro es una especie originaria de California. Fue introducida a fines del siglo XIX. En Chile se distribuye desde la IV a la IX Región.



▲ La zarzamora fue introducida desde Europa. Este arbusto se ha propagado ampliamente a lo largo de nuestro país.

El problema de la **introducción de especies** es un asunto complejo de analizar. Por una parte, desde los albores de la humanidad los seres humanos han transportado consigo diversas especies útiles y ornamentales y, por lo tanto, trazar el origen de muchas de las introducciones es prácticamente imposible. Por otra parte, muchas de ellas fueron introducidas hace tanto tiempo y están tan bien adaptadas a los ambientes que difícilmente nos podríamos imaginar el paisaje sin ellas.

En nuestro país la historia es larga y abunda en casos de introducciones exitosas de especies que además resultaron ser altamente invasoras y, por ende, han provocado y siguen provocando cambios importantes en los ecosistemas autóctonos. Entre los animales, por ejemplo, los conejos y las liebres, introducidos a propósito desde Europa, han causado alteraciones importantes en los patrones vegetacionales y en la calidad del suelo. Las palomas, los gorriones, la mayoría de los árboles ornamentales y muchas de las plantas con flores que habitualmente vemos en nuestros paisajes urbanos fueron introducidos por motivos estéticos y sentimentales, y actualmente son parte de nuestras ciudades y los vemos como propios.

En el área forestal, nuestra presencia internacional en el mercado de la madera y sus derivados se sustenta principalmente en especies exóticas traídas por su alta productividad.

En el área acuícola, varias especies de salmónidos fueron introducidas en los ríos y lagos chilenos para fomentar inicialmente la pesca deportiva y posteriormente con fines netamente comerciales. Actualmente, Chile es uno de los principales exportadores de salmónes en el mundo gracias a una especie exótica que ha causado reducciones importantes en la fauna local y posiblemente extinciones de muchas especies endémicas.

Pero ¿por qué se entienden estas introducciones como una invasión? Se habla de **invasión de especies** al referirse al proceso por el cual, luego de su aparición en un lugar, una especie es capaz de expandir su rango de distribución sin ayuda de los seres humanos, proceso con lo que desplaza a otras especies locales con las que interactúa.

Las invasiones de especies son parte de los procesos naturales de expansión de los rangos de distribución de las especies. Desde los inicios de la vida en nuestro planeta, los seres vivos se han abierto camino en todos los ambientes posibles, primero en el agua, luego en la tierra y finalmente en el aire. En cada uno de estos pasos, los organismos se han diversificado y ocupado la mayor parte de los espacios de nuestro planeta. Todos estos procesos han supuesto la colonización y posterior invasión por parte de especies, sin lo cual no existiría la diversidad que hoy podemos observar.

No toda introducción lleva necesariamente a un proceso invasivo. Para que esto ocurra, deben darse una serie de condiciones ambientales (bióticas y abióticas) que permitan la supervivencia y reproducción de la especie introducida.

Algunas especies invasoras en Chile

Los siguientes son ejemplos de animales que luego de introducidos se convirtieron en invasores, al ser capaces de colonizar exitosamente sin ayuda de los seres humanos.

Nombre	Fecha introducción	Distribución en Chile	Efectos en el ecosistema
1 Paloma doméstica (<i>Columba livia</i>).	Siglo XVI a América.	Desde la XV a la XII Región.	Vive en ambientes generalmente urbanos y los efectos se relacionan principalmente con las construcciones de la ciudad y los riesgos sanitarios para los seres humanos.
2 Conejo europeo (<i>Oryctolagus cuniculus</i>).	Siglo XVIII.	Chile central.	Herbívoro voraz que interfiere con el asentamiento de la flora nativa.
3 Liebre europea (<i>Lepus europaeus</i>).	Fines del siglo XIX.	Desde la XV a la XII Región.	Herbívoro voraz que interfiere con el asentamiento de la flora nativa.
4 Gorrión (<i>Passer domesticus</i>).	1904	Desde la XV a la XII Región.	Vive principalmente en ambientes urbanos. Es probable que compita con especies nativas de costumbres y tamaño semejantes, como el chincol (<i>Zonotrichia capensis chilensis</i>).
5 Castor canadiense (<i>Castor canadensis</i>).	1946	Tierra del Fuego e islas cercanas.	Produce daños a la flora nativa al inundar zonas cercanas a los cursos de agua. Se alimenta de árboles como la tepa, los que derriba en torno a sus madrigueras.
6 Jabalí (<i>Sus scrofa</i>).	Entre 1900 y 1920.	Desde la IX a la XI Región.	Suele alimentarse de raíces, por lo que produce daño a las especies arbustivas del sotobosque.
7 Ciervo rojo (<i>Cervus elaphus</i>).	1948	Desde la IX a la XI Región.	Se alimenta de los árboles juveniles del bosque nativo, por lo que interfiere en su regeneración.
8 Cotorra argentina (<i>Myiopsitta monachus</i>).	Hacia 1990.	Entre la II y la X Región.	Daña principalmente las cosechas de granos. También puede tener efectos sobre la flora nativa, pero no se han estudiado.



1



2



3



4



5



6



7



8

Actividad

1. Una vez terminada la lectura de esta doble página, responde.

- Antes de estudiar esta unidad, ¿eras consciente de la importancia de no introducir especies a nuestro territorio? Si ahora alguien te pregunta tu opinión, ¿qué **argumentos** darías para no hacerlo?

Modificación de hábitat y especies ingenieras

Para profundizar

Especies ingenieras pueden ser encontradas en la mayoría de los dominios y reinos. En el dominio Bacteria, algunas cianobacterias son capaces de generar estructuras tipo arrecife (estromatolitos), que sirven de hábitat a muchas especies. Entre los Protistas, un buen ejemplo son las macroalgas pardas tipo "huido". Muchos organismos de los reinos Plantae y Fungi generan una gran heterogeneidad ambiental y proveen nuevo hábitat para otras especies. En el reino Animalia son muchas las especies que generan nuevo hábitat, particularmente las especies marinas sésiles (que no se mueven), como los choritos y los piures.



▲ La destrucción causada por los castores en el bosque nativo de Tierra del Fuego.

Antecedentes sociohistóricos de un caso de introducción de especies

Todas las especies por el solo hecho de existir e interactuar con su medio lo modifican. Algunas, sin embargo, lo hacen en forma más o menos drástica, lo cual trae consecuencias no solo para ellas, sino también para otras especies. Estos cambios, en muchos casos, no solo modifican el ambiente, sino que además generan nuevo hábitat, el que puede ser utilizado por otras especies. Las especies capaces de generar tales cambios, con generación de nuevo hábitat, se denominan **especies ingenieras**.

En 1946, el castor canadiense (*Castor canadensis*) fue introducido en el sector argentino de Tierra del Fuego con el fin de generar recursos peleteros en una zona en la que se pretendía fomentar la colonización por parte de los seres humanos. Un total de 25 parejas de castores traídas de Canadá fueron liberadas cerca del lago Fagnano, desde donde los animales se dispersaron. Las condiciones del ambiente resultaron favorables para el castor, por lo que la población comenzó a aumentar. Puesto que el castor era una especie exótica, existía la posibilidad de que no se adaptara y los individuos murieran o no se reprodujeran. También, dado que para esta especie no había enemigos naturales en la forma de especies competidoras y depredadores, existía la posibilidad de que los castores se desarrollaran sin problemas. En ese tiempo ya existía suficiente evidencia de introducciones de especies en todo el mundo, con ejemplos favorables y no favorables. Además, la idea original era que la población de castores sería controlada por los cazadores. Sin embargo, los castores nunca despertaron suficiente interés por parte de los cazadores y la dificultad para atraparlos hizo que en la práctica no fueran controlados. Debido a esto, la población de castores creció sin control y amplió su rango de distribución. Poco tiempo bastó para que esta especie traspasara la frontera y entrara a territorio chileno.

En toda su zona de distribución, el castor ha causado cambios muy importantes en los ambientes donde se encuentra, debido principalmente a sus hábitos de vida acuática y su forma y tipo de alimentación. Los castores construyen sus viviendas con las entradas sumergidas en el agua. Para esto, generalmente necesitan hacer represas con el objetivo de aumentar la profundidad de los cursos de agua en los que habitan. Para la elaboración de sus represas y madrigueras, utilizan madera de los árboles que están en las inmediaciones de su hogar. Además, como se alimentan de madera, utilizan parte de los árboles para su propio consumo. El resultado de estas conductas es un aumento de las zonas inundadas en los cursos de agua, la muerte de las especies vegetales que no soportan vivir sumergidas y un cambio en los regímenes de circulación del agua y los nutrientes. Además, al talar los árboles en las cercanías de los cursos de agua, los castores producen aberturas en la cubierta arbórea que cambian los

regímenes de iluminación y, como las especies de árboles presentes en la zona son de lento crecimiento, una vez que los castores abandonan una zona, la recuperación demora y generalmente los árboles son reemplazados por pastos o arbustos. Se estima que más de 5 000 hectáreas de bosque han sido destruidas por los castores desde su introducción en Tierra del Fuego. Actualmente, CONAF (Corporación Nacional Forestal) tiene un programa de erradicación con el que se pretende frenar la destrucción de este hábitat.

El ejemplo anterior es parte de una lista innumerable de casos de invasión por especies exóticas introducidas en forma accidental o deliberada en distintos lugares del mundo. Sin ir más lejos, poco después de los castores, también se introdujeron 225 individuos de rata almizclera (*Ondatra zibethicus*) con los mismos fines. Con anterioridad a esto, en el sector chileno de Tierra del Fuego, en la década de los treinta, se introdujeron dos parejas de conejos con fines de crianza. Veinte años después, estas dos parejas se habían convertido en casi treinta millones que habitaban en toda la isla. Con posterioridad, se introdujeron zorros grises con el fin de controlar a los conejos. Pero esto finalmente se logró mediante la utilización del virus de la mixomatosis.

Muchas de las introducciones planificadas en el mundo han sido emprendidas por gobiernos, autoridades u organismos estatales y avaladas por connotados científicos, que en aquel entonces buscaban entender el funcionamiento de los sistemas naturales y veían en estas iniciativas una oportunidad única de experimentación a gran escala. Los motivos de estas introducciones fueron variados, pero por lo general eran de tipo económico. En la época en que ocurrieron la mayoría de estas introducciones, el conocimiento con respecto a las relaciones ecológicas y el funcionamiento de los ecosistemas era escaso, e incluso hoy en día sería difícil, si no imposible, anticipar el resultado de una introducción. Por mucho tiempo tales prácticas no solo no eran prohibidas, sino que eran alentadas tanto por la opinión pública como por los gobiernos y los científicos.

Hasta hace muy poco tiempo, cualquier persona que viajaba podía traer consigo animales, plantas o semillas que luego eran cultivadas en su lugar de destino. **Es más, aún en la actualidad, las aduanas tienen que controlar intentos de ingresar ocultos organismos vivos, principalmente plantas y semillas, lo que nos revela que mucha gente todavía no entiende la peligrosidad de tales prácticas.**

Lo importante es aprender de los errores y tratar de evitarlos en el futuro. El delicado entramado de los sistemas naturales se ve afectado por nuestras actividades en forma directa o indirecta. Los resultados no pueden ser anticipados, pero sí podemos evitar aquellas que sabemos que no forman parte de los procesos naturales, para de esta forma proteger el medio ambiente.

Actividad

1. Lee el contenido de ambas páginas y luego responde.

- ¿Por qué se puede considerar al castor como una especie ingeniera? **Explica.**
- Relaciona** las dramáticas imágenes de estas páginas con los antecedentes entregados en la página anterior. **Subraya** con un destacado la información que permite explicar lo observado.



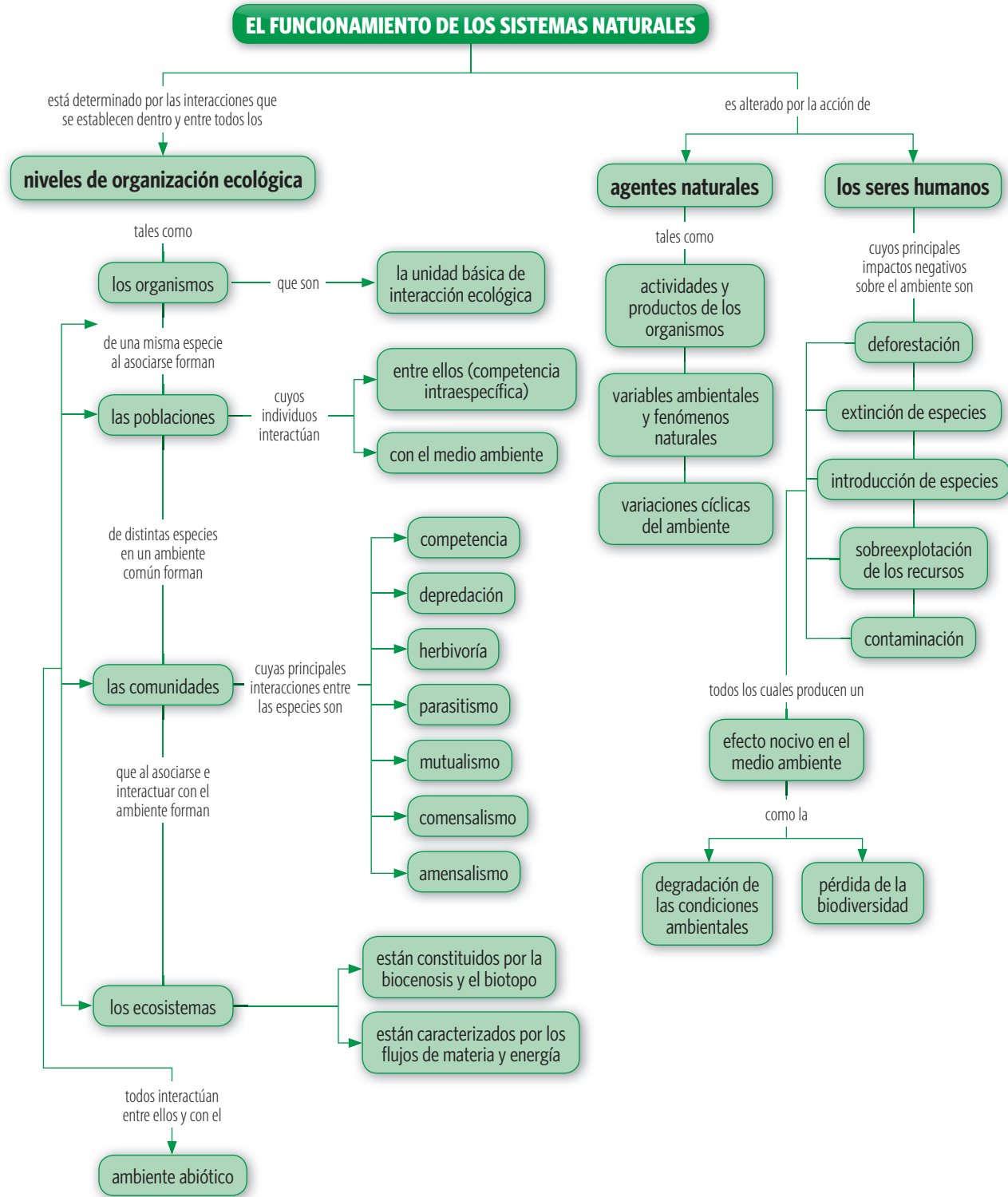
▲ La imagen, del año 2004, muestra el efecto de una colonia de castores sobre el bosque nativo en un curso de agua en la zona chilena de Tierra del Fuego. Se puede observar cómo han ido utilizando y despejando el bosque en sus inmediaciones (cerca de 1 km según la escala).

Fuente: Google Earth.

Recuerda

La actividad humana ha provocado efectos directos e indirectos sobre la biodiversidad y el equilibrio de los ecosistemas. Lamentablemente, Chile no está exento de ello, pero los cambios en nuestras políticas de país y conductas personales pueden hacer la diferencia.

El siguiente organizador gráfico resume las relaciones entre los principales contenidos abordados en la unidad. Léelo y luego construye un ensayo que incluya al menos quince de los conceptos que en este se mencionan.



I. Analiza la siguiente situación procedimental y luego responde.

Habiendo estudiado los efectos de la competencia, Gause se propuso investigar las dinámicas de depredadores y presas, otro de los aspectos importantes de la lucha por la existencia. Las formulaciones matemáticas predecían oscilaciones periódicas en los tamaños poblacionales de ambas especies. El problema de investigación de Gause se relacionaba con probar la existencia de dichas oscilaciones y, según lo anterior, formuló la siguiente hipótesis:

“En un sistema depredador-presa, ambas poblaciones mostrarán oscilaciones periódicas en su tamaño”.

Esta hipótesis fue puesta a prueba mediante una serie de experimentos diseñados para reproducir las condiciones capaces de generar las oscilaciones en el sistema. Para esto, Gause utilizó dos especies de protistas: *Paramecium caudatum* (presa) y *Didinium nasutum* (depredador) en un sistema experimental.

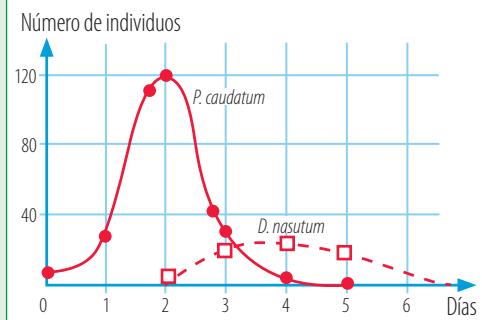
En el lateral se muestran los resultados que obtuvo en tres de estos experimentos, en los que fue cambiando algunas de las condiciones para ir asemejando progresivamente su sistema al sistema natural.

Interpretación de resultados y elaboración de conclusiones

Tomando como referencia el problema de investigación de Gause, los resultados que obtuvo y el contexto histórico en el cual se desarrolló, responde las siguientes preguntas.

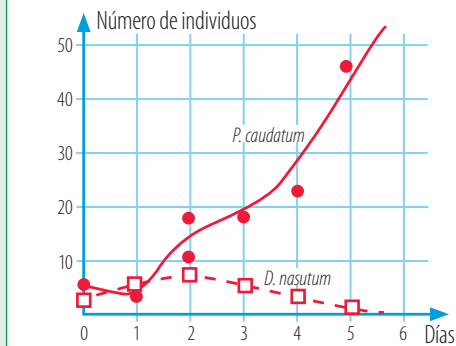
- 1 ¿Por qué crees que en el primer experimento no se obtuvieron los ciclos que él esperaba? Piensa en las diferencias entre este y el tercer experimento y lo que ocurre en condiciones naturales.
- 2 ¿Por qué crees tú que Gause, al no obtener los resultados que esperaba, no descartó los experimentos anteriores ni el diseño experimental ni las especies que estaba utilizando? En otras palabras, ¿por qué habrá decidido continuar investigando en esa misma línea? Ayúdate mirando los gráficos y observa las diferencias entre lo esperado y lo obtenido en los experimentos.
- 3 ¿Cuál es la característica de estos experimentos que resulta clave para esclarecer el rol de ciertos factores ambientales o fenómenos poblacionales en la generación de los ciclos depredador-presa?

A: primer experimento



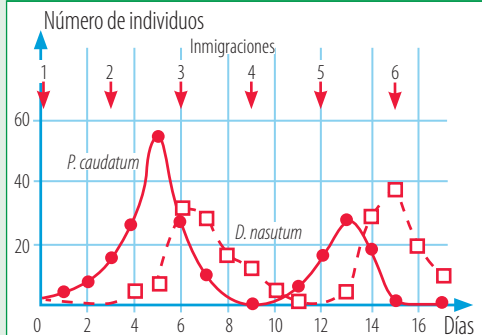
En su primer experimento, Gause cultivó ambas especies en un ambiente en el que no existían refugios para la presa. Las dos especies, luego de un período de auge y descenso, desaparecieron. Estas condiciones guardan poca relación con lo que sucede en la naturaleza.

B: segundo experimento



En su segundo experimento, agregó al medio sedimentos que funcionaron como refugios para la presa, lo que cambió su dinámica, pero el depredador luego de un ciclo desapareció como en la primera experiencia.

C: tercer experimento



En un tercer experimento, simuló inmigraciones periódicas de ambas especies y obtuvo ciclos semejantes a los predichos por los modelos y a ciclos observados en la naturaleza.

II. Marca la alternativa correcta.

- 1** Con respecto al nivel de organización de organismo, es correcto afirmar que:
- es el nivel de organización más alto de la organización ecológica.
 - es un nivel equivalente al de individuo.
 - son las subunidades que forman las comunidades.
- A.** Solo I. **D.** I y II.
B. Solo II. **E.** II y III.
C. Solo III.
- 2** Para un organismo de una especie cualquiera, los componentes bióticos del medio ambiente están compuestos por:
- todos los organismos de su especie.
 - organismos de otras especies con los que convive.
 - los componentes no vivos del ambiente en el que vive.
- A.** Solo I. **D.** II y III.
B. Solo III. **E.** I, II y III.
C. I y II.
- 3** Con respecto a la competencia intraespecífica, se puede decir que:
- aumenta si escasean los recursos que utiliza la especie.
 - se hace menor cuando la población alcanza la capacidad de carga del ambiente.
 - cuando aumenta, disminuye la supervivencia de los más débiles.
- A.** Solo I. **D.** I y III.
B. Solo II. **E.** II y III.
C. Solo III.
- 4** Con respecto a los factores que determinan la distribución y abundancia de los organismos, se puede decir que:
- son limitantes cuando existe un rango restringido de valores que permiten la existencia de una especie.
 - pueden ser recursos que la especie necesita utilizar.
 - son parte del nicho de la especie.
- A.** Solo I. **D.** I y III.
B. Solo II. **E.** I, II y III.
C. Solo III.
- 5** ¿Con cuál(es) de las siguientes afirmaciones se relaciona el concepto de huella ecológica?
- Con la cantidad de caminos que han construido los seres humanos.
 - Con las especies que se han extinguido por causa de los seres humanos.
 - Con la utilización de recursos por parte de los seres humanos.
- A.** Solo I. **D.** I y III.
B. Solo II. **E.** II y III.
C. Solo III.
- 6** Las principales razones para la introducción de especies, en el pasado, se relacionaron con:
- motivaciones ornamentales y sentimentales.
 - promover el desarrollo agrícola y forestal.
 - aumentar la diversidad de los ecosistemas.
- A.** Solo I. **D.** I y II.
B. Solo II. **E.** I, II y III.
C. Solo III.

- 7** ¿Cuál(es) de las siguientes opciones está(n) relacionada(s) con los efectos de la agricultura?
- Mejorar las condiciones de vida de los seres humanos.
 - Deforestar para cambiar el uso del suelo.
 - Introducir especies para el cultivo.
- A. Solo I. D. I y II.
B. Solo II. E. I, II y III.
C. Solo III.
- 8** ¿Cuál(es) de las siguientes características crees tú que diferencia(n) a los seres humanos de otras especies?
- Su nivel de intervención sobre el entorno.
 - Su necesidad de interactuar con el medio.
 - Su necesidad de alimentación.
- A. Solo I. D. I y II.
B. Solo II. E. I, II y III.
C. Solo III.
- 9** Los principales efectos de nuestra especie sobre la Tierra se relacionan con:
- el uso indiscriminado que hacemos de los recursos naturales.
 - nuestra necesidad de espacio para vivir.
 - la necesidad de producción de alimentos y bienes.
- A. Solo I. D. I y II.
B. Solo II. E. I, II y III.
C. Solo III.
- 10** ¿Cuál de los siguientes animales **no** es una especie introducida en Chile?
- A. Conejo.
B. Ciervo rojo.
C. Guanaco.
D. Gorrión.
E. Paloma.
- 11** ¿Cuál de las siguientes plantas corresponde a una especie introducida en Chile?
- A. Roble.
B. Álamo.
C. Canelo.
D. Alerce.
E. Ulmo.
- 12** Algunos de los principales problemas de conservación en Borneo se relacionan con:
- la deforestación para plantar palma aceitera.
 - la supervivencia de animales, como los monos narigudos.
 - el efecto invernadero.
- A. Solo I. D. I y II.
B. Solo II. E. II y III.
C. Solo III.
- 13** Algunos efectos directos de la actividad humana sobre las especies son causados por:
- el efecto invernadero.
 - la explotación de especies.
 - la introducción de especies.
- A. Solo I. D. I y III.
B. Solo II. E. II y III.
C. Solo III.

Yo me evalúo

Marca el nivel de logro de tus aprendizajes dentro de la unidad. Usa para ello la escala que se presenta después de la tabla.

Evaluación sección	
Actividad de inicio.	
Evaluación de proceso.	
Evaluación final.	

1. Por lograr; 2. Medianamente logrado; 3. Bien logrado.

Habilidad

Aplicar

Es poner en contacto una situación conocida con otra nueva y encontrar relaciones entre ambas.

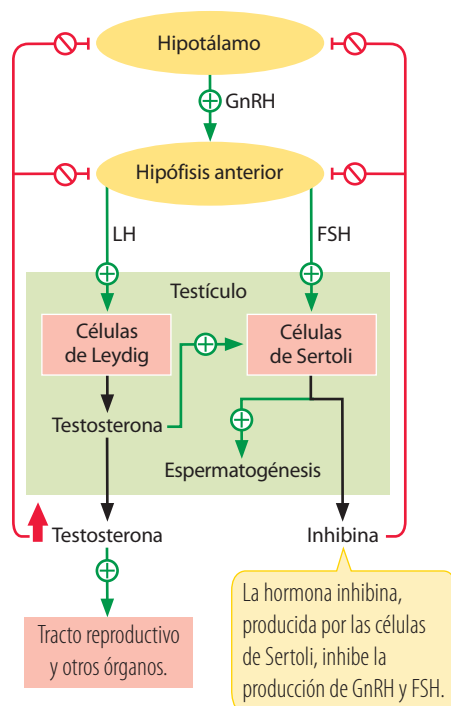
Pasos para aplicar

Paso 1: selecciona los contenidos y conceptos importantes conocidos del tema.

Paso 2: indaga sobre los puntos comunes entre dos situaciones.

Paso 3: determina de qué manera se relacionan sus partes.

Paso 4: interpreta las relaciones que existen entre ellas y desarrolla una explicación para la nueva situación.



Preguntas de desarrollo

I. Responde de acuerdo a las situaciones que se presentan a continuación.

1. En el hombre, al igual que en la mujer, la función reproductiva también está regulada por hormonas que operan de acuerdo a mecanismos de retroalimentación negativa. Así, cuando los niveles de una hormona circulante en la sangre aumentan sobre lo normal, se inhiben los mecanismos de producción de dicha hormona. Por el contrario, cuando los niveles disminuyen bajo lo normal, se desencadenan mecanismos que estimulan la producción de dicha hormona (ver esquema).

a. **Selecciona** en el esquema, delineando con un lápiz rojo, el mecanismo responsable de la producción de testosterona en el hombre. Luego, escríbelo con tus palabras de manera breve y precisa. Recuerda que debes mencionar todas las estructuras involucradas y los procesos en el orden adecuado.

b. **Indaga** sobre la ubicación y función de cada una de las estructuras y células involucradas en la regulación y producción de testosterona en el hombre.

c. **Determina** de qué manera se relacionan las estructuras que mencionaste con la producción y regulación de la testosterona.

d. **Interpreta** cómo se relaciona el correcto funcionamiento de la hipófisis anterior con los niveles adecuados de testosterona.

2. Los esteroides anabólicos son un grupo de sustancias sintéticas, similares a la testosterona, usadas originalmente para tratar las alteraciones testiculares que ocasionaban una disminución de la testosterona normal en los hombres. Dado que aumentan la masa muscular, los esteroides han sido usados ampliamente por malos deportistas que abusan de estas sustancias. Esto puede causar, entre otros efectos, una disminución del número de espermatozoides.

a. **Selecciona** en el esquema, delineando con un lápiz azul, el mecanismo responsable de la producción de espermatozoides en el hombre. Luego, escríbelo con tus palabras de manera breve y precisa. Recuerda que debes mencionar todas las estructuras involucradas y los procesos en el orden adecuado.

b. **Indaga** sobre la función de cada estructura y célula involucrada en los mecanismos de regulación y producción de espermatozoides en el hombre.

c. **Determina** la relación que existe entre el aumento de los niveles de testosterona y la disminución en el número de espermatozoides en los deportistas que usan esteroides regularmente.

d. **Interpreta** la relación que existe entre hipófisis anterior, FSH e inhibina en la producción de espermatozoides en el hombre.

Habilidad

Analizar

Es descomponer una situación determinada y distinguir las partes que la constituyen para establecer cómo se relacionan unas con otras.

Pasos para analizar

Paso 1: describe todos los aspectos que conforman el todo.

Paso 2: selecciona los aspectos principales.

Paso 3: determina de qué manera se diferencian o se asemejan sus componentes.

Paso 4: relaciona los aspectos involucrados que intervienen en la situación como un todo.



Preguntas de desarrollo

I. Responde de acuerdo a las situaciones que se presentan a continuación.

1. Como ya vimos, una célula germinal humana de 46 cromosomas dobles, ubicada en una gónada femenina o masculina, forma cuatro células de 23 cromosomas simples cada una. Ahora bien, estas células no solo tienen la mitad de los cromosomas de la especie, sino también son distintas unas de otras debido a procesos de variabilidad propios de la meiosis.

a. Teniendo en consideración lo anterior, **describe** los dos procesos principales involucrados en la meiosis que tienen relación con la variabilidad en la información de los gametos.

b. **Selecciona** la etapa de la meiosis (I o II) en la que las dos copias de cada gen (uno en cada homólogo) se segregan en dos células.

c. **Determina:**

- ¿Cuántos cromosomas posee cada gameto humano?, ¿cuántos se restablecen en la fecundación?
- ¿Cuántas copias posee un gameto para cada gen?, ¿cuántas se restablecen en la fecundación?

d. Considerando que la fecundación es un proceso aleatorio en el que se genera variabilidad, ¿cómo se **relaciona** la información genética aportada por ambos progenitores en el genotipo y la expresión fenotípica del descendiente? Para responder, considera el caso de un gen para el que existen dos alelos, uno recesivo y otro dominante.

2. En el conejo silvestre se dan dos posibilidades de color de pelaje: café y blanco. Este carácter está determinado por un gen para el que existen dos alelos: uno dominante, que determina el color café (C), y uno recesivo, que determina el color blanco o ausencia de pigmentación (c). Una especie de ave rapaz (águila) se alimenta de este tipo de conejo.

a. **Describe:**

- La interacción entre estas especies, indicando el nombre y los signos para cada una de las especies involucradas.
- Los genotipos y fenotipos que presenta el conejo silvestre.

b. ¿Qué color de pelaje debiera ser más abundante en el ambiente natural? Para responder esta pregunta, **selecciona** aquella información que resulta relevante a partir de la descripción y las imágenes.

c. **Determina** qué sucedería con esta especie si todos los individuos fuesen blancos (homocigotos recesivos). Explica.

d. ¿Qué crees tú que ocurriría con el color del pelaje predominante en una población de conejos silvestres si vivieran en un ambiente como el ártico? **Relaciona** los conceptos de selección natural, variabilidad genética y evolución.

Preguntas de alternativas

I. Encierra en un círculo la alternativa correcta.

1 ¿A cuál de las siguientes estrategias recurre una célula para garantizar la distribución equitativa del material genético durante la mitosis?

- A. A la diversidad en la posición del centrómero.
- B. Al almacenamiento de la cromatina en el núcleo.
- C. A la estructuración del ADN como una doble hebra.
- D. A la complementariedad de las bases nitrogenadas.
- E. A la condensación del ADN en forma de cromosomas.

2 Si un espermatozoide humano con una dotación cromosómica $n = 24$ fecunda a un ovocito con una dotación normal, se puede asegurar que el cigoto formado:

- A. detendrá su desarrollo.
- B. será de sexo masculino.
- C. poseerá menos genes que lo normal.
- D. presentará una aberración cromosómica.
- E. dará origen a una persona con síndrome de Down.

3 ¿Cuál(es) es(son) la(s) **diferencia(s)** entre una célula producida por meiosis y una célula producida por mitosis en un mismo organismo?

- I. El nivel de ploidía.
- II. La cantidad de ADN.
- III. La dotación de cromosomas.

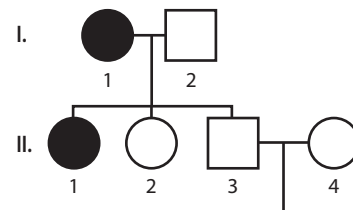
- A. Solo I.
- B. I y II.
- C. I y III.
- D. II y III.
- E. I, II y III.

4 La herencia del pelaje de los conejos es un caso de alelos múltiples, lo que significa que:

- A. cada conejo tiene cuatro alelos para el color de pelo.
- B. no puede haber dos individuos con los mismos alelos.
- C. en una pareja de conejos, cada progenitor posee dos alelos.
- D. en un cruzamiento de cuatro descendientes, cada uno tiene un alelo.
- E. en una población existen cuatro alelos posibles, pero un individuo tiene solo dos.

5 Si la pareja formada por los individuos 3 y 4 decide tener un hijo, siendo la madre heterocigota, ¿cuál es la probabilidad de que este tenga la enfermedad (herencia autosómica recesiva)?

- A. 0.
- B. $\frac{1}{4}$.
- C. $\frac{1}{2}$.
- D. $\frac{3}{4}$.
- E. 1.



6 Cierta enfermedad de los vacunos es producida por un alelo anormal que presenta codominancia con el alelo normal. Si se cruza un toro normal homocigoto con una vaca heterocigota, ¿cuál es la descendencia más probable?

- A. Todos los terneros presentarán la enfermedad en forma leve.
- B. Todos los terneros presentarán la enfermedad en forma grave.
- C. Ningún ternero presentará la enfermedad ni grave ni levemente.
- D. La mitad de los terneros presentará la enfermedad en forma leve.
- E. La mitad de los terneros presentará la enfermedad en forma grave.

- 7** ¿Qué enunciado(s) es(son) **correcto(s)** para los sistemas de retroalimentación negativa?
- Permiten mantener los niveles hormonales dentro de ciertos rangos.
 - El aumento de una hormona determina mayor secreción de dicha hormona.
 - El aumento de una hormona determina una inhibición de la glándula que la produce.
- A. Solo I. D. I y III.
 B. Solo II. E. I, II y III.
 C. I y II.
- 8** Las personas que padecen diabetes tipo I deben regular su glicemia con medicamentos, pero ante situaciones de estrés, igual aumentan sus niveles. ¿Cuál es la razón de este efecto?
- Las situaciones de estrés estimulan la liberación de ACTH.
 - Las situaciones de estrés aumentan la secreción de cortisol.
 - El aumento de cortisol favorece la síntesis de glucosa.
- A. Solo II. D. II y III.
 B. I y II. E. I, II y III.
 C. I y III.
- 9** Un extracto de células de los túbulos seminíferos reveló que su dotación genética es n/c . ¿A qué tipo de células corresponden?
- Espermátidas.
 - Espermatozoides.
 - Espermatogonios.
 - Espermatocitos I.
 - Espermatocitos II.
- 10** Una población se define no solo como un conjunto de organismos de la misma especie; además debe cumplirse que estos:
- coexistan con otras especies.
 - interactúen con el medio abiótico.
 - formen parte de una cadena trófica.
 - convivan en un mismo tiempo y lugar.
 - presenten propiedades emergentes.
- 11** La ovogénesis presenta diferencias con la espermatogénesis, entre las que se cuenta(n):
- el tiempo que toma en completar la meiosis.
 - la tasa de producción mensual de gametos.
 - la cantidad de gametos que surgen de una célula germinal.
- A. Solo II. D. II y III.
 B. I y II. E. I, II y III.
 C. I y III.
- 12** El bloqueo de la zona pelúcida después de que un espermatozoide ha fusionado su membrana con la del ovocito tiene por objetivo:
- proteger mecánicamente al cigoto.
 - evitar la formación de un cigoto poliploide inviable.
 - que ocurra la determinación cromosómica del sexo del individuo.
 - potenciar la reacción acrosómica de otros espermios.
 - aumentar la variabilidad genética de la descendencia.
- 13** En un ecosistema se puede encontrar la siguiente cadena trófica:
- langosta → ave pequeña → ave de rapiña
- Si el ecosistema es intervenido por el ser humano y se extermina a la población de aves pequeñas, ¿qué sería factible esperar en el corto plazo para ambas poblaciones?
- Las dos poblaciones migrarán.
 - Ambas poblaciones crecerán.
 - Ambas poblaciones disminuirán y entrarán en competencia.
 - Las langostas disminuirán y las aves de rapiña aumentarán.
 - Las langostas aumentarán y las aves de rapiña disminuirán.

Unidad 1

Pág. 9. Evaluación inicial

- La división celular corresponde al proceso mediante el cual una célula inicial origina dos células hijas. Cada célula hija tendrá su propio material genético, el cual puede ser igual o distinto a la célula que la originó. Esto dependerá del tipo de división celular que se lleve a cabo.
- Porque los organismos unicelulares tienen la capacidad de dividirse en dos células hijas genéticamente idénticas entre sí e idénticas a la original, y así reproducirse.
- Uno de los procesos en los que interviene el mecanismo de división celular es el crecimiento de los tejidos y órganos de nuestro cuerpo, el cual se logra gracias a sucesivas divisiones celulares. Otro ejemplo es el permanente recambio de las células de la piel que se han dañado por la exposición a ciertos agentes ambientales.

Págs. 10 y 11. Actividad procedimental de inicio

Planteamiento del problema

- La observación del proceso de regeneración celular permitió identificar las variables. Posteriormente, al observar los resultados del experimento, fue posible relacionar el efecto de la variable independiente (presencia de núcleo) sobre la variable dependiente (regeneración de la umbela).
- El experimento consistió en modificar la presencia de núcleo de la acetabularia y observar el efecto que tenía sobre la regeneración de la umbela. De esta manera, el experimento da cuenta de las variables que se relacionan en el problema de investigación.
- Los pasos para plantear un problema de investigación son los siguientes:
 - Paso 1:** observar el fenómeno que se desea estudiar.
 - Paso 2:** identificar las variables involucradas.
 - Paso 3:** relacionar las variables en una pregunta.

Obtención e interpretación de resultados

- La observación que le permitió plantear este problema fue que las acetabularias regeneraron la umbela correspondiente al pedúnculo y no a las del nuevo pie.

Formulación de hipótesis y elaboración de conclusiones

- Si las umbelas se regeneraban según el pedúnculo que tenían, era porque habría una "sustancia" contenida en ellos, producida en el núcleo original, que viajaría y regeneraría a la umbela, pero que en algún momento se agotaría.

Hipótesis: "Si la sustancia contenida en el pedúnculo se agota, al cortar nuevamente la umbela, esta se regenerará según el nuevo pie, ya que viajará una nueva sustancia desde el núcleo".
- La conclusión del experimento es que el núcleo de la acetabularia produce una sustancia que recorre el pedúnculo y hace posible regenerar la umbela, lo que permite aceptar la hipótesis.

Pág. 12. Actividad

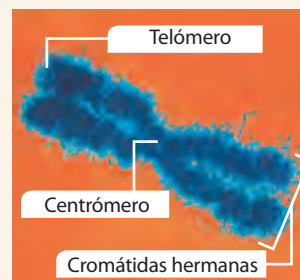
- Si el núcleo de la célula contiene toda la información necesaria para generar a un individuo, Gurdon debió plantear el siguiente problema de investigación: ¿Qué sucede al fertilizar un ovocito de *Xenopus laevis* del linaje silvestre con el núcleo de una célula intestinal del linaje albino?
 - Variable independiente:** cambio del núcleo del ovocito por el de una célula somática.
 - Variable dependiente:** linaje del renacuajo resultante.
 - Considerando que los resultados fueron células embrionarias, se puede llegar a la conclusión de que es posible rechazar la hipótesis y es necesario formular una nueva.
 - Para confirmar la idea de que las células especializadas pierden sus genes, al transferir el núcleo de la célula intestinal al ovocito se debieron originar solo células intestinales.
 - El resultado que confirma que el material genético se encuentra en el núcleo es la formación de una rana adulta albina, debido a que la información genética proviene del núcleo de las células intestinales de *Xenopus laevis* albino.
 - Sí, ya que la rana adulta que se originó después del experimento tiene la misma información genética que el renacuajo de línea albina del cual se obtuvieron los núcleos de las células intestinales; por lo tanto, Gurdon aplicó la técnica de clonación antes de que se conociera como tal.

Pág. 14. Actividad

- El grupo fosfato se une al carbono 5' de la desoxirribosa. La base nitrogenada se une al carbono 1' de la desoxirribosa.
 - El grupo fosfato de un nucleótido se une al carbono 3' del nucleótido siguiente.
 - Sí, siempre se unen las bases adenina con timina y citocina con guanina. La diferencia entre la unión C-G y A-T es el número de interacciones (puentes de hidrógeno) que se forman entre las bases nitrogenadas. En la unión C-G se generan tres interacciones, mientras que en la unión A-T se forman solo dos.

Pág. 16. Actividad

- Se obtendría ADN descondensado como cromatina.
-



Pág. 19. Actividad

- Posee un total de 46 cromosomas.
 - Presenta 23 pares de cromosomas homólogos.
 - Presenta 1 par de cromosomas sexuales.
 - Un par de cromosomas X (XX).
 - Están ordenados según tamaño y forma.

- f. Las **similitudes** que tienen son: el número de cromosomas (46), ya que es el número propio de la especie humana, y la forma de los primeros 22 pares de cromosomas, denominados cromosomas autosómicos. Las **diferencias** entre los cariotipos de una mujer y un hombre radican principalmente en el par de cromosomas sexuales.
- g. Se representaría como 46, XY.
- h. El cariotipo humano presenta 46 cromosomas en sus células diploides (somáticas), organizados en 22 pares de cromosomas autosómicos y 1 par sexual. El cariotipo de un hombre es 46, XY y el de una mujer es 46, XX.

2.

	Células diploides	Células haploides
Mosca de la fruta.	8 cromosomas.	4 cromosomas.
Gato	38 cromosomas.	19 cromosomas.
Trigo	42 cromosomas.	21 cromosomas.
Carpa dorada.	94 cromosomas.	47 cromosomas.
Humano	46 cromosomas.	23 cromosomas.

3. En el hombre no es posible decir que los 23 pares de cromosomas tienen forma y tamaño similares, ya que en el caso del par de cromosomas sexuales, la forma y el tamaño son distintos. De todos modos, se consideran como homólogos.

Pág. 20. Actividad

1.

Características	Clase de fenotipo	Justificación
Color del cabello.	Morfológico visible.	Corresponde a una característica visible del ser humano.
Problemas con la digestión de la lactosa.	Funcional	Corresponde a la ausencia de una enzima capaz de digerir el azúcar de la leche (lactosa).
Intereses profesionales.	Conductual	Corresponde a una característica de nuestra conducta, en este caso interés o motivación.
Orificios de la nariz: aletas anchas o angostas.	Morfológico visible.	Corresponde a una característica visible del ser humano.

Pág. 21. Actividad

1. a. Existe una relación directa, ya que para que se presente la enfermedad "anemia falciforme", el individuo debe presentar un genotipo particular, sintetizando una hemoglobina funcionalmente defectuosa que incluso llega a deformar a los glóbulos rojos.
- b. No existe relación entre el genotipo de una persona y la anemia ferropénica, ya que esta última se debe al bajo consumo de alimentos ricos en hierro, por lo cual se producen glóbulos rojos con déficit en hemoglobina.
- c. La anemia falciforme es una enfermedad de origen genético, mientras que la anemia ferropénica se produce por una dieta baja en hierro.
- d. La expresión de un fenotipo puede estar determinada tanto por la información genética (genotipo) como por el efecto del ambiente sobre el individuo.

Págs. 22 y 23. Evaluación de proceso

I.

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Alternativa	C	C	A	B	C	B	D	E	B	D	E

- II. 1. De generarse un individuo sería una vaca, ya que el único material genético aportado es el de este animal, a partir del que se obtuvo el núcleo. La oveja no aporta material genético, ya que a esta se le extrajo el núcleo, y la cabra solo aporta el útero que anidará al nuevo ser.
2. El par sexual del hombre está formado por los cromosomas X e Y. Al compararlos en cuanto a forma, vemos que son distintos, pues mientras el cromosoma X es de tipo submetacéntrico, el cromosoma Y es acrocéntrico. Al compararlos en cuanto al tamaño también difieren, pues el cromosoma X es más grande que el cromosoma Y. Lo mismo sucede respecto a los genes, ya que no comparten total homología; solo algunos de sus genes son homólogos. Finalmente, respecto de su origen, el cromosoma X puede provenir de cualquiera de los padres, mientras que el cromosoma Y solo puede ser aportado por el padre.

3.

Cariotipo 46, XY		
a.	Cantidad total de cromosomas.	46
b.	Cantidad de pares de cromosomas homólogos.	23
c.	Cantidad de cromosomas autosómicos.	44
d.	Cantidad de cromosomas sexuales.	2
e.	Sexo del individuo.	Masculino

Pág. 27. Actividad

1.



- **Profase:** la cromatina comienza a condensarse.
 - **Anafase:** los cromosomas migran hacia los polos de la célula.
 - **Telofase:** alrededor de los cromosomas comienza a formarse la membrana nuclear y se descondensa el material genético.
 - **Metafase:** los cromosomas se alinean en el ecuador de la célula.
 - **Interfase:** el material genético está descondensado dentro del núcleo como cromatina.
- Orden secuencial de las etapas del ciclo celular:** interfase, profase, metafase, anafase, telofase, interfase.

Pág. 28. Actividad

1.

Criterios de comparación	Célula animal	Célula vegetal
Ubicación en la zona central de microtúbulos.	Sí	Sí
Constricción de la parte media de la célula.	Sí	No
Aparición de surcos en la parte media de la célula.	Sí	No
Formación del fragmoplasto en la línea media.	No	Sí
Formación de la placa celular.	No	Sí
Participación activa del aparato de Golgi.	No	Sí

2. Si una célula vegetal careciera del organelo aparato de Golgi, no se podría formar el fragmoplasto, estructura fundamental para la división citoplasmática de la célula. Por lo tanto, resultaría una célula con dos núcleos.

Pág. 29. Actividad

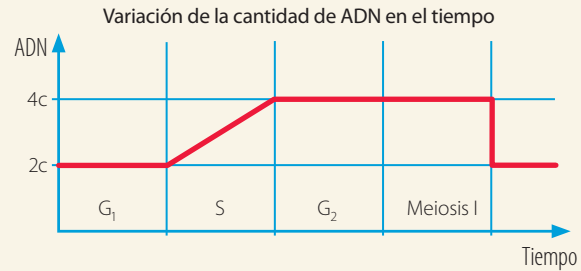
Estado del ciclo celular	N° de fibras de cromatina	Cantidad de ADN	N° de cromosomas	N° de cromátidas	Diploidía o Haploidía
G ₁	46	2c	46	46	2n
S	92	2c → 4c	46	92	2n
G ₂	92	4c	46	92	2n
Profase	92	4c	46	92	2n
Metafase	92	4c	46	92	2n
Anafase	92	4c	46	92	2n
Telofase	46 (x2)	2c (x2)	46 (x2)	46 (x2)	2n (x2)
Células resultantes.	46	2c	46	46	2n

Pág. 33. Actividad

- El error de replicar para el cáncer el modelo utilizado para el tratamiento de enfermedades infectocontagiosas fue que solo el 15% de los cánceres humanos eran causados por agentes patógenos virales, mientras que para el 85% restante se desconocía cómo eran causados.
 - La consecuencia que puede traer la aplicación generalizada de un modelo es que no sea preciso o que la predicción sea errónea, lo que provocaría un mal diagnóstico y con ello un mal tratamiento.
- Una de las limitaciones al aplicar el modelo utilizado para comprender el origen de enfermedades cancerígenas es que no explican por completo la patología de la cual están dando cuenta. Este hecho implica que la predicción bajo estos modelos puede tener errores importantes que no permitan enfrentar apropiadamente el problema. La otra limitación es que la precisión de un modelo se encuentra sujeta al avance tecnológico disponible. Es por esto que los modelos están en constante cambio, son dinámicos y no siempre son aplicables en todas las situaciones. A pesar de lo anterior, los modelos son fundamentales para entender los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor, para predecir los sucesos asociados a estos y, en caso de ser pertinente, poder aplicarlos.

3. La respuesta a esta pregunta es abierta, pero el objetivo es subrayar aquellas ideas de la página 33 que den cuenta de la evolución del modelo explicativo para el cáncer.

Pág. 35. Actividad



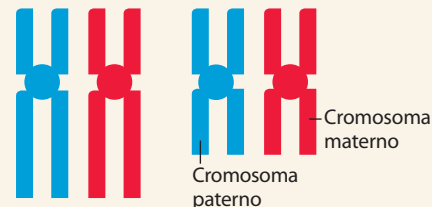
Pág. 37. Actividad

Estado del ciclo celular	Cantidad de ADN	N° de cromosomas	N° de cromátidas	Diploidía o Haploidía
G ₁	2c	23	46	n
S	2c	23	46	n
G ₂	2c	23	46	n
Profase II	2c	23	46	n
Metafase II	2c	23	46	n
Anafase II	2c	46	46	2n
Telofase II	c (x2)	23 (x2)	23 (x2)	n (x2)
Células resultantes.	c	23	23	n

Pág. 38. Actividad

1. y 2.

- Cromosomas homólogos



	Entrecruzamiento cromosómico	Resultado meiosis I	Resultado meiosis II
3.			
4.			

5. **Comparación:** en la meiosis ocurren dos fenómenos que son fuente de variabilidad genética: la permutación cromosómica y el entrecruzamiento (intercambio de material genético entre cromosomas). En el primer caso se producen cuatro células con menor variabilidad genética que en el segundo caso.

Conclusión: el entrecruzamiento entre los cromosomas homólogos y su permutación afectan la variabilidad genética de las células resultantes de la división meiótica. Mientras mayor es la cantidad de entrecruzamientos y permutaciones, mayor es la variabilidad de los gametos.

Pág. 39. Actividad

1.

Etapa	Criterio de comparación	Mitosis	Meiosis I
Interfase	Duplicación del material genético.	Hay replicación del material genético.	Hay replicación del material genético.
Profase	Migración de los centriolos a los polos.	Se organizan y migran hacia los polos.	Se organizan y migran hacia los polos.
	Apareamiento de los cromosomas homólogos.	No hay apareamiento de los cromosomas homólogos.	Se aparean los cromosomas homólogos.
Metafase	Alineamiento en el ecuador de la célula.	Los cromosomas se alinean en el ecuador.	Los pares homólogos se alinean en el ecuador.
	Presencia de membrana nuclear.	Se desorganiza la carioteca.	Se desorganiza la carioteca.
Anafase	Migración de cromosomas a los polos.	Los cromosomas migran hacia los polos.	Los cromosomas migran hacia los polos.
	Disyunción de los cromosomas.	Se separan los cromosomas simples.	Se separan los cromosomas homólogos.
	Separación de cromátidas hermanas.	Se separan las cromátidas hermanas.	No hay separación de las cromátidas hermanas.
Telofase	Reconstitución de la membrana nuclear.	Se reconstituye la carioteca.	Se reconstituye la carioteca.
	Reconstitución del nucléolo.	Se reconstituye el nucléolo.	Se reconstituye el nucléolo.
	Cantidad de cromosomas.	Igual que la célula original.	La mitad de la célula original.

Págs. 40 y 41. Actividad procedimental avanzada

Obtención de resultados

- a. Es importante tanto en la fase gametofítica como en la fase esporofítica, ya que, para llegar a los estadios de gametofito adulto y esporofito adulto, es necesario que haya un período de crecimiento.
- b. Fase gametofítica.
- c. Fase gametofítica.

- d. La reproducción por estolones es un tipo de reproducción asexual en que el nuevo individuo se origina a partir de sucesivas divisiones mitóticas desde una estructura foliar inicial (estolón), es decir, la planta resultante es un clon; por lo tanto, la modalidad reproductiva por estolones produce menor variabilidad genética que la modalidad sexual, en la que además de divisiones mitóticas ocurren divisiones meióticas.

Planteamiento del problema

- El problema 1, ya que es el que relaciona las dos variables que dan cuenta del experimento; estas son: modalidad de reproducción y generación de nuevos individuos.

Formulación de hipótesis e interpretación de resultados

- a. **Hipótesis:** "La cantidad de plantas originadas en un cultivo varía según la modalidad reproductiva empleada, de manera que la reproducción asexual aumentará la probabilidad de generar individuos por sobre la reproducción sexual.
- b. Para que la hipótesis sea correcta, se debería obtener un mayor número de esporofitos a partir de estolones que de esporas.
- c. Los procesos de mitosis y meiosis tienen directa relación con la modalidad reproductiva de los helechos, ya que la germinación a través de estolones involucra solo divisiones mitóticas para obtener un esporofito adulto, mientras que la germinación a través de esporas obliga al helecho a pasar por una etapa de gametofito adulto, para producir gametos (por meiosis) y, producto de la fecundación, generar un esporofito.
- d. Según los resultados mostrados en la tabla, se produjo un mayor número de esporofitos a partir de la reproducción por germinación de estolones. Esto se puede deber a que la reproducción por la germinación de estolones solo lleva a cabo divisiones por mitosis, mientras que en la germinación de las esporas, el helecho tiene que pasar por una fase gametofítica antes de la fase esporofítica.

Elaboración de conclusiones

- a. Al finalizar el período experimental, se observa que hay mayor producción de esporofitos en aquellos cultivos iniciados con estolones respecto de aquellos cultivos iniciados con esporas. Para ambos tipos de cultivo se construyeron 5 bandejas con 20 esporas y otras 5 bandejas con 20 estolones, y se mantuvieron bajo condiciones ambientales iguales. Para el caso de las bandejas con esporas, solo en una de ellas se sobrepasó el 50% de helechos obtenidos. En el caso de las bandejas con estolones, en cambio, todas ellas alcanzaron el 70% y más de esporofitos, es decir, los cultivos donde se aplicó la modalidad reproductiva asexual resultó ser mejor para la producción de helechos bajo las condiciones de cultivo aplicadas. Por lo tanto, se acepta la hipótesis planteada en la que se anticipaba que: "La cantidad de plantas originadas en un cultivo variará según la modalidad reproductiva empleada, de manera que la modalidad asexual aumentará la probabilidad de generar individuos por sobre la modalidad sexual".
Bajo las condiciones de cultivo aplicadas, la modalidad reproductiva asexual resultó ser más eficiente para la obtención de una mayor cantidad de helechos. Cabe destacar que los esporofitos obtenidos por estolones son todos clones entre ellos.

Pág. 43. Evaluación final

- I. 1. • La división celular está controlada por genes.
 - El cáncer se debe a un descontrol del ciclo celular.
2. • **Variable independiente o manipulada:** activación e inhibición de los genes 1 y 2.
 - **Variable dependiente o respuesta:** la división celular.
3. **Posible problema:** ¿Cómo afecta la activación e inhibición de los genes 1 y 2 a la división celular?

Págs. 44 y 45. Evaluación final

II.

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

Unidad 2

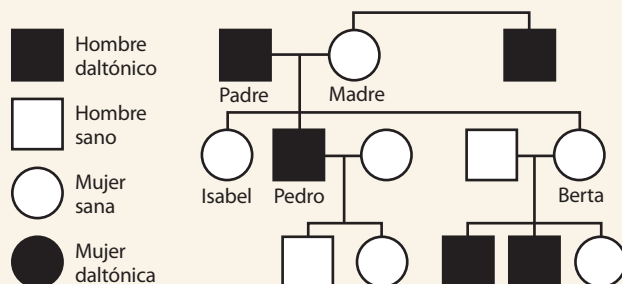
Pág. 47. Evaluación inicial

1. El objetivo de la evaluación inicial es que los y las estudiantes reconozcan distintas características físicas que comparten con el resto de su grupo familiar. Algunas de ellas pueden ser estatura, color de ojos, color de piel, textura (talla), tamaño y forma de la nariz.
2. Es esperable que la mayoría de las similitudes las compartan principalmente con los familiares más cercanos, como padres y hermanos, pero también pueden existir casos en que estas características físicas sean compartidas también por primos, tíos y/o abuelos.
3. Si la respuesta es afirmativa, puede que no logren dar una explicación certera, pero pueden proponer hipótesis al respecto. La explicación de este fenómeno es que existen características que son dominantes y que se expresan en la mayoría de las generaciones, y otras que son recesivas, y que se expresan en algunos casos producto de la combinación al azar de la información genética de los gametos (espermatozoide y ovocito). Es importante aclarar que este tipo de herencia será estudiada a lo largo de la unidad, aplicando los conocimientos aprendidos en la unidad 1. Esta explicación da respuesta a la pregunta asociada a la fotografía de la misma página.

Págs. 48 y 49. Actividad procedimental de inicio

Planteamiento del problema y obtención de resultados

- a. A continuación se presenta la simbología correcta, pero los y las estudiantes podrían haber sugerido otros códigos, ya que es una respuesta preliminar e introductoria al tema.



- b. Se puede inferir que la enfermedad afecta principalmente a hombres, lo que podría tener alguna relación con la información contenida en los cromosomas sexuales.
- c. Porque la información que determina el daltonismo puede ser aportada tanto por la madre como por el padre. De esta manera, los descendientes pueden expresar o no la alteración, según la constitución genética que tengan. El hecho de que la característica parece desaparecer y después reaparecer en los individuos de la generación siguiente hace pensar que las mujeres puedan ser portadoras de la información sin expresar la condición.
- d. El objetivo de esta pregunta es que los y las estudiantes analicen cómo se comporta una característica como la estatura entre los miembros de su familia.

Interpretación de resultados

- a. En el ejemplo, todos los individuos daltónicos son hombres. Es probable que los y las estudiantes respondan que este tipo de herencia se encuentra asociada a la información genética presente en uno de los cromosomas sexuales de los individuos. Respecto a los antecedentes que se dan al inicio, podemos observar que la alteración afecta preferentemente a hombres, pero para corroborar los porcentajes de incidencia de esta enfermedad, es necesario hacer un estudio de la población.
- b. Si la información que posee cada cromosoma homólogo para una característica es distinta, en la mayoría de los casos se expresa una información sobre la otra, lo que se conoce con el nombre de gen dominante, mientras que el que se ve opacado se llama gen recesivo. Si un individuo posee el gen dominante para una determinada característica, este predominará sobre el gen recesivo y se expresará esa información genética. Pero existen casos en que la expresión de una determinada característica está dada por la presencia de ambos genes recesivos.
- c. En la formación de gametos, los cromosomas homólogos se separan aleatoriamente, de manera que cada gameto queda con un gen para cada carácter: uno proveniente de la madre y el otro proveniente del padre. En el caso de la familia de Pedro, la información que determina el daltonismo está presente en uno de los cromosomas sexuales, los que en la anafase I se separan aleatoriamente del mismo modo que los demás cromosomas homólogos.

Formulación de la hipótesis

- a. Como el daltonismo es una alteración que se expresa preferentemente en hombres y en una menor proporción en mujeres, es posible suponer que el gen en cuestión se encuentre asociado al cromosoma sexual "X", ya que si estuviese asociado al cromosoma Y, las mujeres no presentarían esta condición. Es importante destacar que no corresponde a una alteración asociada a ningún cromosoma autosómico, ya que de ese modo, la enfermedad afectaría indistintamente a hombres y a mujeres.

Elaboración de conclusiones

- a. El objetivo es que los y las estudiantes puedan sintetizar en un informe la actividad realizada y expliquen su propuesta de hipótesis, para luego contrastarla con lo estudiado al interior de la unidad.

Pág. 54. Actividad

1. a. Habría que cruzar plantas y seleccionar aquellas con el rasgo deseado y, tras reiterados cruzamientos, se podrá obtener una variedad pura.
- b. El 100% de las flores que se obtienen al cruzar las plantas de variedades puras es de color púrpura.

Pág. 55. Actividad

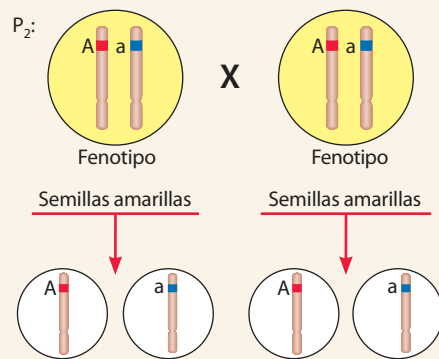
1.

Caracteres	Resultados de la generación F ₂		Valor de la razón
Color de la semilla.	6 022 amarillas.	2 001 verdes.	3,01
Color de la flor.	705 púrpura.	224 blancas.	3,14
Forma de la semilla.	5 474 lisas.	1 850 rugosas.	2,96
Color de la vaina.	428 verdes.	152 amarillas.	2,82
Aspecto de la vaina.	882 lisas.	299 rugosas.	2,95
Posición de la flor.	651 axiales.	207 terminales.	3,14
Largo del tallo.	757 de tallo largo.	277 de tallo corto.	2,73

Se puede concluir que, al realizar el cruzamiento de los individuos provenientes de la F₁, se obtiene una relación fenotípica de 3 : 1 entre los descendientes.

Pág. 57. Actividad

1.



Pág. 58. Actividad

1. Será homocigoto recesivo para los caracteres relacionados con los genes c y d, y homocigoto dominante para el gen F. Para los genes A, B y E el individuo será heterocigoto.
2. (LL) homocigoto dominante (semilla lisa). (Ll) heterocigoto (semilla lisa). (ll) homocigoto recesivo (semilla rugosa).
3. (PP) 100% púrpura (homocigoto dominante), (Pp) 100% púrpura (heterocigoto dominante) y (pp) 100% blancas (homocigoto recesivo).

Pág. 59. Actividad

1. a.

	Plumas normales	Plumas rizadas
Parentales 1	pp	PP
Gametos	p p	P P

F ₁	P	P	
p	Pp	Pp	0/4 de los individuos de la F ₁ tendrá las plumas normalmente rizadas, lo que también se puede representar como el 0%.
p	Pp	Pp	

- b. 4/4 individuos de la F₁ tendrán las plumas medianamente rizadas, lo que también se puede representar como el 100%.

c.

	Plumas medianamente rizadas	Plumas medianamente rizadas
Parentales 2	Pp	Pp
Gametos	P p	P p

F ₁	P	p	
P	PP	Pp	2/4 de los individuos de la F ₂ tendrán las plumas medianamente rizadas, lo que también se puede representar como el 50%.
p	Pp	pp	

- d. Sí, 1/4 de los individuos de la F₂ es homocigoto dominante (PP), lo que también se puede representar como el 25%.

Págs. 60 y 61. Evaluación de proceso

I.

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Alternativa	B	C	A	D	E	C	B	A	A	C	E

II.

1. a. P: flores en posición axial.
p: flores en posición terminal.
- b. El alelo "flores en posición axial" es dominante, ya que al cruzar plantas de líneas puras para cada carácter en la F₁, el 100% de las plantas tiene sus flores en posición axial.
- c. Parentales: PP x pp PP (homocigoto dominante).
Gametos: P P p p pp (homocigoto recesivo).

F ₁	P	P	
p	Pp	Pp	Pp: el 100% de las plantas tiene sus flores en posición axial.
p	Pp	Pp	

F ₂	P	p	
P	PP	Pp	1/3 de las plantas tiene sus flores en posición axial.
p	Pp	pp	

2. a. Parentales: AA x aa
Gametos: A A a a

F ₁	A	A
a	Aa	Aa
a	Aa	Aa

AA: homocigoto dominante (pelaje negro).

aa: homocigoto recesivo (pelaje blanco).

Aa: heterocigoto (pelaje negro).

F ₂	A	a
A	AA	Aa
a	Aa	aa

3/4 de los individuos tiene pelaje negro y 1/4 tiene pelaje blanco.

- b. Cuando el cobayo produce sus gametos, los alelos para el carácter "color de pelo" se separan aleatoriamente, de manera que cada gameto obtiene un miembro del par de alelos.
- c. Como los cobayos blancos formados en la F₂ son homocigotos recesivos (aa), los descendientes serán iguales a los padres.

Pág. 65. Actividad

1. a. Parentales: Rrnn x rrNn
Gametos: Rn rn rN rn

F ₁	Rn	rn
rN	RrNn	rrNn
rn	Rrnn	rrnn

Las proporciones fenotípicas fueron las siguientes:

1 de ojos rojos - alas vestigiales 1 de ojos rojos - alas normales
1 de ojos sepia - alas vestigiales 1 de ojos sepia - alas normales

- b. El genotipo de ambos progenitores es PPAa o PpAa, ya que de esa manera se obtienen las proporciones fenotípicas mencionadas en el enunciado.

Pág. 67. Actividad procedimental avanzada

Formulación de hipótesis

- a. Lo más probable sería encontrar la proporción 9 : 3 : 3 : 1 como resultado de una F₂ que proviene de una F₁ de líneas puras.
- b. **Hipótesis:** "Si el genotipo de un individuo es homocigoto dominante, al realizar un cruzamiento con un individuo homocigoto recesivo, los descendientes serán en el 100% heterocigotos. Si el genotipo del individuo es heterocigoto, al realizar el mismo cruce reaparece el fenotipo homocigoto recesivo".

Obtención e interpretación de resultados

- a. PpAA x ppaa
- b. Parentales: PpAA x ppaa
Gametos: PA pA pa pa
Cuando se hace un cruzamiento de prueba con un individuo heterocigoto para un determinado carácter y homocigoto para el otro carácter, los descendientes son el 50% PpAa y el 50% ppAa. De esta manera, es posible concluir que el genotipo desconocido es PpAA.
- c. Los otros resultados posibles para el genotipo desconocido (con otras proporciones en la F₁) serían: PPAA, PPAa y PpAa.

d.

F ₁	pa	pa
PA	PpAa	PpAa
pA	pPaa	pPaa

Los resultados de la F₁ son: el 50% de flores púrpura (heterocigota) y en posición axial (heterocigota) y el 50% de flores blancas (homocigota) y en posición axial (heterocigota).

Pág. 68. Actividad

1. **Problema de investigación:** ¿Cómo se relaciona el sexo del individuo con la herencia de caracteres como el color de ojos?

Hipótesis: "Si se cruzan dos individuos de líneas puras, uno dominante y uno recesivo para cada fenotipo, los descendientes deben presentar en el 100% el fenotipo dominante".

2. Si el alelo "ojos rojos" es dominante sobre el alelo "color de ojos blancos", al hacer los cruzamientos que hizo Morgan se tendría que haber originado el 100% de individuos de ojos rojos en la F₁, independientemente de cuál fuese su sexo.

Pág. 70. Actividad

1. a. RR (flor roja) x RR' (flor rosada)

F ₁	R	R'
R	RR	RR'
R	RR	RR'

Los resultados de los fenotipos son el 50% flores rojas y el 50% flores rosadas.

- b. En las arvejas el fenotipo de las plantas heterocigotas refleja la expresión del alelo dominante, mientras que en estas flores los individuos heterocigotos presentan un fenotipo intermedio de los progenitores.

Pág. 71. Actividad

1. a. Parentales: C^BC^C x C^CC^C

F ₁	C ^C	C ^C
C ^C	C ^C C ^C	C ^C C ^C
C ^B	C ^C C ^B	C ^C C ^B

Resultados de la F₁: el 50% de los caballos son de color rojizo y el otro 50% de los caballos son manchados. Proporción fenotípica 1 : 1.

- b. Sí, pero la única forma es que cada progenitor tenga un alelo C^a en su genotipo. De esta manera, existe el 25% de probabilidad de obtener individuos albinos.

Ejemplo: parentales C⁺c^a (agutí) x c^hc^a (chinchilla)

F ₁	C ⁺	c ^a
c ^h	C ⁺ c ^h	c ^a c ^h
c ^a	C ⁺ c ^a	c ^a c ^a

Pág. 73. Actividad

1. a. No, ya que son homocigotos **recesivos**; por lo tanto, no pueden generar descendientes con alelos dominantes.

b.

F ₁	i	i
I ^A	I ^A i	I ^A i
i	ii	ii

Si el padre tiene el grupo 0 (homocigoto para el grupo 0) y los hijos tienen el grupo A y 0, la única opción es que la madre tenga genotipo I^Ai.

- c. Para que el niño sea hemofílico, la madre debe ser portadora y heredar el gen recesivo a su descendencia. Si el padre es hemofílico o no, realmente no afecta, ya que este aporta el cromosoma Y, y la enfermedad al estar asociada al cromosoma X, se encuentra determinada por el genotipo de la madre.

Parentales: $X^H X^h \times X^H Y$

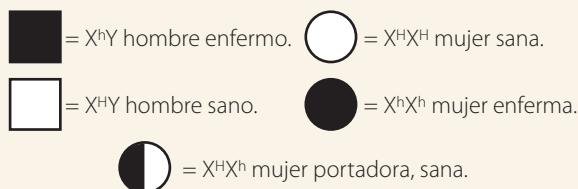
F_1	X^H	X^h
X^H	$X^H X^H$	$X^H X^h$
Y	$X^H Y$	$X^h Y$

Pág. 74. Actividad

- Presenta cuatro generaciones.
- Tres mujeres. Dos que presentan el rasgo en estudio y una que no lo presenta.
- Porque el rasgo estudiado es autosómico dominante; por lo tanto, aunque los individuos sean heterocigotos para dicho rasgo, presentarán el fenotipo dominante.

Pág. 75. Actividad

1. a.



- Todos los hombres que tienen en su genotipo el alelo recesivo presentarán la enfermedad, mientras que las mujeres pueden ser portadoras sanas.
 - La enfermedad dejaría de afectar preferentemente a hombres y afectaría en igual medida a hombres y mujeres.
- b. El árbol genealógico presenta una herencia autosómica recesiva, en la que los individuos de la primera generación son heterocigotos y los individuos de la segunda y tercera generación que presentan el rasgo en estudio son homocigotos recesivos. El trastorno afecta en igual proporción a individuos de ambos sexos.

Pág. 79. Evaluación final

I. Formulación de hipótesis

- Hipótesis 1:** "Si en la F_1 aparece el fenotipo semillas verdes, significa que la planta de genotipo desconocido es Aa".
Hipótesis 2: "Si en la F_1 no aparece el fenotipo recesivo, significa que la planta de genotipo desconocido es AA".

Elaboración de conclusiones

- Como se obtuvo el 50% de plantas con semillas amarillas y el 50% de plantas con semillas verdes, entonces el genotipo de la planta desconocida es Aa. Por lo tanto, se valida la hipótesis 1.

Págs. 80 y 81. Evaluación final

- II.

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Alternativa	D	C	B	E	D	A	D	D	E	E	D	A	D

Unidad 3

Pág. 83. Evaluación inicial

- El concepto "hormona" hace referencia a una sustancia química que es sintetizada por células especializadas y que puede afectar la función de las mismas u otras células.
- En el cuerpo humano es posible encontrar diferentes tipos de hormonas, como las hormonas que regulan el crecimiento de un individuo, las hormonas sexuales, las hormonas que controlan la temperatura corporal y el consumo de oxígeno, entre otras.
- Lo más fácil es tomar una muestra de sangre de una persona. En ese caso, encontraremos más de una hormona.
- Si una de estas hormonas falla, es probable que se produzca un desequilibrio en el metabolismo del individuo, ya que muchas funciones corporales dependen de un tipo de hormona.
- Una de las formas en que fue posible descubrir la existencia de sustancias químicas como las hormonas se fue dando a partir de la observación de individuos que presentaban alguna anomalía o enfermedad y el intento por explicar su origen.

Secuencia de preguntas asociadas a las imágenes:

- Esta actividad tiene como objetivo hacer reflexionar a los y las estudiantes sobre aquellos procesos que pueden estar regulados por hormonas. De esta manera, se espera que estimen que pueden existir tantos tipos de hormonas como procesos se desarrollan en el cuerpo.
- Los procesos que pueden ser activados por hormonas son: aumento o disminución del metabolismo celular, crecimiento de tejidos por divisiones mitóticas, desarrollo y maduración de las células sexuales, estimulación de la secreción de otras hormonas en un órgano específico, entre otras.
- Es probable que los y las estudiantes piensen que cada célula tiene solo un tipo de receptor, pero eso no es así. Las células realizan muchos procesos celulares que son regulados por hormonas, tales como crecimiento, metabolismo o secreción de sustancias. Por lo tanto, se espera que la mayoría de las células tengan más de un tipo de receptor.
- La hipófisis es una de las glándulas más importantes de nuestro cuerpo, ya que controla la función y secreción de otras glándulas del sistema endocrino. En otras palabras, controla procesos tan importantes como la temperatura corporal, la sed, el hambre y las características sexuales secundarias, entre otras.

Pág. 85. Actividad procedimental de inicio

Procedimiento experimental

- El grupo control se utiliza para descartar el efecto de la manipulación en los animales con los que se está experimentando, de manera que se pueda comparar solo el efecto del tratamiento.
- La medición de la glicemia antes de realizar el estrés por movilización se hace para tener un valor de la concentración de glucosa sanguínea cuando el animal está en estado normal. Luego se compararán los datos del experimento con respecto a esa primera medición.

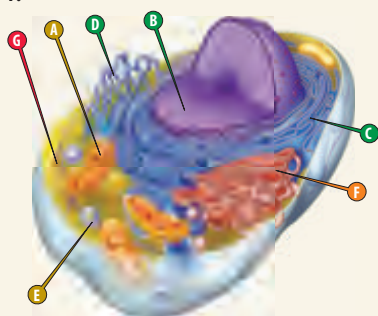
- c. La utilización de más de una rata a lo largo del experimento sirve para descartar la probabilidad de que los resultados obtenidos se deban al azar.
- d. **Variable independiente o manipulada:** nivel de estrés.
Variable dependiente o respuesta: nivel de glicemia.

Interpretación de resultados y elaboración de conclusiones

- a. Según la hipótesis planteada anteriormente, los resultados obtenidos en el experimento son esperables, ya que las ratas del grupo 2 no fueron capaces de aumentar sus niveles de glicemia en condiciones de estrés. Estos resultados permiten aceptar la hipótesis.
- b. Los resultados podrían ser aplicables al ser humano si se realizan mediciones de glicemia en personas normales y personas con algún trastorno de las glándulas suprarrenales (adrenales) que no les permita subir sus niveles de glicemia en condiciones de estrés.

Pág. 86. Actividad

1.



A	Mitocondrias.
B	Núcleo / ADN.
C	Retículo endoplasmático rugoso.
D	Retículo endoplasmático liso.
E	Lisosomas.
F	Aparato de Golgi.
G	Citoesqueleto.

2. Al interior de la célula existen diversos organelos que realizan intercambios de moléculas. Algunos ejemplos de estos son aquellos que tienen que ver con la digestión celular y la síntesis y secreción de macromoléculas, como los lisosomas, el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi.

Pág. 93. Actividad

- a. Sí, es posible. Un ejemplo de ello es la testosterona, hormona que es producida en los testículos y que ejerce principalmente dos efectos: estimula la formación de espermios y participa en el desarrollo de las características sexuales secundarias. Esto quiere decir que por una parte actúa específicamente en los testículos, pero también estimula en los hombres el crecimiento de la masa muscular y el desarrollo de vellos, entre otros cambios.
- b. La forma en que una hormona ejerce su acción depende tanto de su origen químico como del tipo de receptores específicos de la célula. Una de las formas en que una hormona puede activar la síntesis de proteínas es activando la expresión de los genes que regulan dicho proceso.
- c. Desde el punto de vista del receptor, este puede estar vinculado a distintas vías metabólicas según el tipo de célula diana. Si la diferencia no ocurre a este nivel, puede tener que ver con el tipo de enzima citoplasmática que es activada por el segundo mensajero o bien con la proteína reguladora encargada de modificar la expresión génica de la célula. De ser esto último, la expresión diferencial de un solo gen puede acarrear una enorme cantidad de diferencias, al activarse la síntesis de proteínas específicas, relacionadas con todo tipo de procesos celulares.

Págs. 94 y 95. Evaluación de proceso

I.

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Alternativa	B	D	A	C	E	A	E	C	D	E	D

- II. 1. Por su naturaleza lipídica, los tratamientos con hormonas esteroidales se pueden consumir por vía oral, ya que pueden atravesar la membrana plasmática de las células intestinales y así pasar directamente a la sangre, mientras que los tratamientos con hormonas peptídicas deben realizarse mediante inyecciones, ya que por la vía oral las enzimas del estómago degradarán a la hormona en los aminoácidos que la constituyen.
2. Conviene la secreción paracrina en aquellos casos en que se requiera una respuesta rápida en las células contiguas, dado que el estímulo estará afectando a las células cercanas. Un ejemplo son las moléculas de respuesta inmunológica.

Pág. 97. Actividad

1. a. Sustancia química sintetizada por células especializadas (glandulares), que regula la función de las mismas u otras células.
- b. Las características de los gallos que dependen de la acción de la testosterona son las relacionadas con el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios.
- c. El primer grupo es el control del experimento, ya que se sabía que al castrarlos, se modificaría el tamaño de sus crestas y colas. En ese caso, hablamos de un control positivo.
- d. Subrayar: "como los testículos trasplantados en la cavidad abdominal no tenían conexiones nerviosas con el gallo, se podía pensar que existía alguna sustancia producida en los testículos trasplantados en el abdomen, que pasaba a la sangre del gallo castrado y se transportaba hasta la cresta y la cola para regular su tamaño".
2. a. En este caso, el tamaño de la cresta que se trasplantó debió disminuir, ya que el gallo al que se hizo el trasplante estaba castrado y, por lo tanto, no era capaz de producir la sustancia que hacía que los tamaños de la cresta y de la cola correspondieran a los de un gallo normal.

Pág. 98. Actividad

- a. Los argumentos adecuados para fundamentar la existencia del sistema endocrino son los siguientes:
- Hay mecanismos que no requieren rapidez, sino mantenimiento en el tiempo.
 - Existen respuestas que no se necesitan que sean inmediatas.

Pág. 99. Actividad

1. a. El efecto de GnRH sobre la secreción de las hormonas hipofisiarias es estimular a la hipófisis anterior para la liberación de LH y FSH. Después de que GnRH ejerce su efecto, los niveles de LH y FSH llegan a un valor máximo y después se mantienen elevados por un tiempo.
- b. Sería correcto, ya que según los resultados mostrados en el gráfico, las concentraciones de LH y FSH aumentaron considerablemente, por lo que es posible deducir que en las células de la hipófisis existen receptores de GnRH.

Pág. 101. Actividad

1. Hormonas tróficas: tirotrófina (TSH), adrenocorticotrofina (ACTH), hormona estimulante de los folículos (FSH), hormona luteinizante (LH).

Hormonas que afectan a otros tipos de órganos: prolactina (PRL), oxitocina, antidiurética (ADH), hormona del crecimiento (GH).

Pág. 102. Actividad

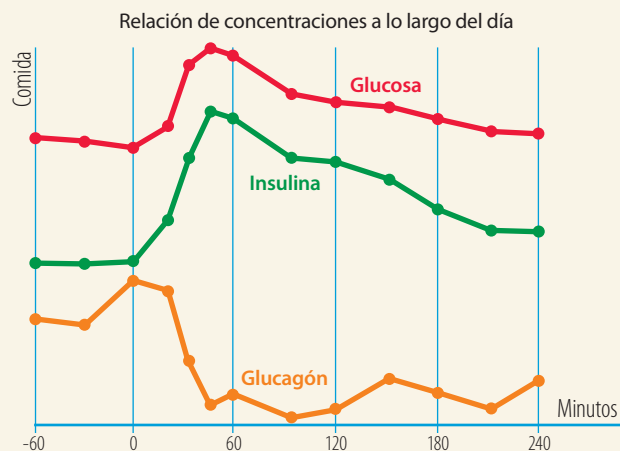
1. La tirotrófina producida en la hipófisis estimula a la tiroides para que sintetice T3 y T4, y con ello aumente la actividad metabólica de las células. Estas hormonas son liberadas a la sangre y llegan a las células de todo el cuerpo. Una vez que activan a los receptores de membrana, provocan que la célula aumente el consumo de carbohidratos y síntesis de proteínas, procesos que producen calor y contrarrestan la sensación de frío.
2. Como consecuencia del consumo de alimentos ricos en calcio, debería aumentar la concentración sanguínea de calcitonina.

Pág. 103. Actividad

1. a. En el gráfico se puede ver que, inmediatamente después de cada comida, se produce un descenso de los glucocorticoides. Los casos más evidentes se producen con el *snack* de la tarde, la cena y sobre todo el desayuno. Por otro lado, los mayores aumentos se producen durante el sueño y en las horas previas al almuerzo, vale decir, durante el ayuno. En síntesis, se puede concluir una relación directamente proporcional entre ayuno y liberación de glucocorticoides.
- b. Parece ser más bien al revés. Cada vez que se produce un aumento significativo de cortisol (2 PM, 6 AM, 9 AM), la ACTH tiende a disminuir. A la inversa, cuando el cortisol desciende (5 PM, 3 AM, 8 AM), enseguida se produce un incremento progresivo de ACTH. Esta relación apoya el mecanismo de retroalimentación negativa que se produce entre el cortisol y la hipófisis anterior, secretora de ACTH.

Pág. 104. Actividad

1. a. El estímulo que activa la secreción de insulina en las células β es el aumento de la glicemia (el exceso de glucosa).
- b.



- c. Este mecanismo corresponde a una forma de inhibir la secreción de insulina y glucagón. La secreción paracrina de esta hormona produce la rápida inhibición en las células α y β , manteniendo ambas secreciones dentro de un nivel controlado lo que evita el exceso innecesario de las dos hormonas.

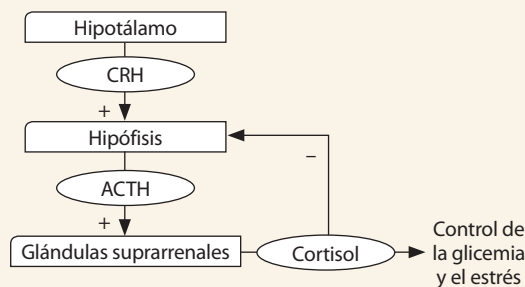
Pág. 105. Actividad

1.
 - Disminución excesiva de la calcemia: parathormona.
 - Exceso de sodio en el plasma: factor natriurético auricular.
 - Hiperglicemia: insulina.
 - Manifestaciones de frío, como tiritones: tiroxina (T4) y triyodotironina (T3).
 - Excesiva pérdida de agua a través de la orina: hormona antidiurética (ADH).

Pág. 107. Actividad procedimental avanzada

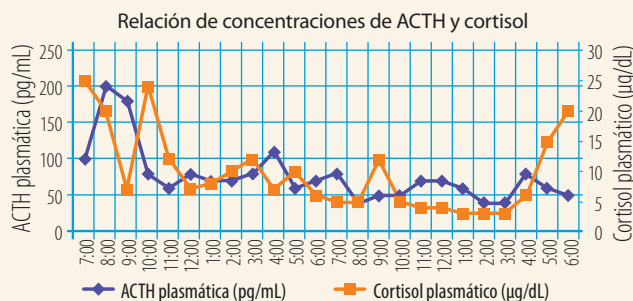
Elaboración de conclusiones

- Porque a través del grupo control es posible comparar las diferencias con aquellos grupos a los que se les aplica el tratamiento. A partir del control, se puede conocer el tamaño habitual de las glándulas suprarrenales.
- Variable independiente o manipulada:** presencia/ausencia de la glándula que produce ACTH, administración o no de hormonas suprarrenales exógenas y administración o no de ACTH exógena.
- Variable dependiente o respuesta:** masa total de las glándulas suprarrenales.
- La hipótesis 1 se valida con los resultados obtenidos para el grupo N° 3, ya que inyectar un extracto de la glándula suprarrenal produce los mismos efectos que extirpar la hipófisis.



Pág. 109. Actividad

1. a. El gráfico debe cumplir con al menos dos criterios:
 - La ACTH se incrementa tras descensos de cortisol.
 - Al aumentar la ACTH, se produce un aumento de cortisol en el corto plazo.
 El siguiente gráfico puede servir de modelo:



- b. La variabilidad individual sin duda puede afectar la capacidad para regular la función hormonal, ya que si un individuo produce más o menos receptores celulares para una determinada hormona, puede aumentar o disminuir su sensibilidad a la misma.

Pág. 110. Actividad

1. a.

Día	Hora	Tratamiento	Efecto
3 de agosto.	13:00	Extirpación del páncreas.	Incremento progresivo de la glicemia.
4 de agosto.	13:00	Inyección de 5 cm ³ de extracto pancreático.	Descenso de la glicemia, casi hasta el valor basal.
	21:00	Inyección de 5 cm ³ de extracto pancreático.	Descenso de la glicemia.
5 de agosto.	10:00	X: inyección de 5 cm ³ de extracto de hígado.	Leve alza de la glicemia.
	12:00	Y: inyección de 5 cm ³ de extracto de bazo.	Sin efecto significativo.
	14:00	Z: inyección de 5 cm ³ de extracto pancreático.	Descenso progresivo de la glicemia, pero más lento que con inyecciones previas.

b. **Objetivo:** comprobar que existe una sustancia en el páncreas que es capaz de regular los niveles de glucosa en la sangre.

Hipótesis: "Si el páncreas produce una sustancia hipoglicemiante, entonces un animal que sufre hiperglicemia tras la extracción del páncreas, debería mostrar una reversión de los síntomas con la inyección de un extracto pancreático".

- c. La enfermedad que se asemeja a los síntomas mostrados por el perro es la diabetes mellitus tipo I, ya que al extirpar el páncreas, el animal perdió la capacidad de regular los niveles de glicemia.
- d. Los tratamientos X e Y pueden ser considerados como "controles", ya que permiten demostrar que la baja de glicemia conseguida con el extracto pancreático no es producto de la adición inespecífica de una sustancia extraña al organismo.
- e. Variables que se mantuvieron constantes:
- El volumen de cada inyección fue siempre de 5 cm³.
 - El tiempo de medición de la glicemia (cada dos horas).
 - El nivel de estrés.
 - La alimentación y actividad física del perro.
- f. La conclusión es que existe una sustancia producida por el páncreas que posee una función hipoglicemiante.

Pág. 113. Actividad

1. a. Las siguientes recomendaciones son apropiadas para resolver este desacuerdo médico:
- Continuar con la medición de glicemia, por varias horas más, hasta descartar hiperglicemia crónica.
 - Medir los niveles de iones sanguíneos (electrolitos) para ver si son anormales.
 - Restringir el consumo de agua para averiguar si aumentan los síntomas. Con estas tres medidas sería posible hacer un diagnóstico más certero, ya que en el primer caso, con solo tres mediciones de glicemia, no es posible determinar si se trata de diabetes mellitus o no. Con las dos últimas medidas ya sería posible diagnosticar una de las dos enfermedades: diabetes mellitus o diabetes insípida.

Pág. 115. Evaluación final

I. Procedimiento experimental

1. Algunas variables relevantes que se deberían haber mantenido constantes entre los participantes son:
 - Las condiciones fisiológicas básicas, como edad, sexo y estado físico general.
 - La actividad física inmediatamente previa.
 - La alimentación e hidratación previas.
 - Las condiciones físicas del recinto en que se realizó el ejercicio: nivel de ventilación, temperatura y humedad.
 - El tipo de ejercicio, para garantizar que, aun utilizando cicloergómetros distintos, el nivel de esfuerzo requerido fuera el mismo.

Obtención de resultados

1. Los resultados muestran una gran diversidad de índices de cambio de cortisol. Vale decir, mientras algunos voluntarios mostraron valores bastante constantes (9 al 13), otro grupo mostró un incremento significativo, especialmente tras la primera media hora de ejercicio. En este grupo se pueden verificar, a su vez, dos situaciones: algunos no lograron mostrar recuperación ni siquiera tras el período de recuperación (1al 3) y en otros su índice de cambio tiende a reducirse durante la recuperación (4 al 8).
2. Después de la primera media hora se pueden constatar diferencias notables entre los participantes. En tal sentido, la mantención del ejercicio por otros treinta minutos más permite de sobra evidenciar la heterogeneidad de las respuestas.

Elaboración de conclusiones

1. No es posible que en las pruebas de resistencia física se exijan los mismos rendimientos, ni siquiera entre los y las estudiantes de un grupo aparentemente homogéneo.

Págs. 116 y 117. Evaluación final

II.

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Alternativa	A	C	D	C	C	A	A	A	B	A	C	B	D

Unidad 4

Pág. 119. Evaluación inicial

1. No. Los seres vivos tienen distintas formas de reproducirse; algunos lo hacen en forma sexual, y otros de forma asexual.
2. Los individuos que se reproducen en forma asexual aseguran la mantención del número de cromosomas de su especie a través de la mitosis. Los seres vivos que se reproducen de manera sexual producen células haploides especializadas llamadas gametos. Estas células haploides se obtienen por meiosis y son las responsables de generar a un nuevo individuo en un proceso llamado fecundación. En este último se restablece el número de cromosomas propio de la especie.

3. El objetivo de esta pregunta es reflexionar sobre la importancia y el valor de la vida. En otras palabras, más allá de la capacidad biológica reproductiva que todos adquirimos a lo largo de la pubertad, la decisión de traer una nueva vida al mundo implica un grado de responsabilidad y respeto por lo que esto significa, que asegure proveerle a este nuevo ser humano un contexto de seguridad y protección dentro de una familia.
4. El objetivo de esta pregunta es reflexionar sobre el momento en que comienza una vida humana. Tal como veremos en la unidad, la vida es un continuo. Los gametos son células vivas y, al unirse en la fecundación, dan comienzo al desarrollo de un nuevo ser.

Págs. 120 y 121. Actividad procedimental de inicio

Procedimiento experimental

- a. Se utilizaron veinte hámsteres machos, diez en cada grupo.
- b. El grupo experimental es aquel al que se le administra el tratamiento con testosterona, es decir, el grupo 2. El grupo 1 corresponde al grupo control, ya que está bajo las mismas condiciones que el grupo 2, pero sin el tratamiento.
- c. Porque en ese momento ya han desarrollado las características sexuales secundarias y han alcanzado la madurez sexual.
- d. **Variable independiente:** el suministro o no de testosterona.
Variable dependiente: el número de eventos copulatorios.

Interpretación de resultados

- a. El eje "X" representa la variable manipulada, es decir, el suministro o no de testosterona exógena a los grupos.
El eje "Y" representa el número de eventos copulatorios de cada grupo experimental.
- b. El grupo que presentó un mayor número de eventos copulatorios fue el N° 2.
- c. Parece haber una directa relación entre la concentración de testosterona y el número de eventos copulatorios, de manera que al aumentar los niveles de testosterona plasmática, también aumentó dicha conducta sexual en los hámsteres.
- d. Respuesta abierta, varía según las modificaciones que los o las estudiantes sugieran hacer en el experimento.

Elaboración de conclusiones

- a. A partir de los resultados, es posible concluir que el número de eventos copulatorios aumenta al administrar testosterona en forma exógena, lo que permite validar la hipótesis.
- b. Al suministrar testosterona en forma exógena, se recupera la función de aquellos individuos que fueron castrados. Al medir el número de eventos copulatorios, es posible concluir que la testosterona es una hormona que estimula la conducta reproductiva.

Pág. 123. Actividad

1.

Criterios de comparación	Reproducción asexual	Reproducción sexual
Cantidad de progenitores.	Un progenitor.	Dos progenitores.
Características de los descendientes respecto del o los progenitores.	Iguales	Distintos
Ejemplo de organismo que la presenta.	<i>Escherichia coli</i> (bacteria).	Pingüino emperador.

2. a. Es muy probable que la trasmite a su descendencia, ya que los organismos que tienen este tipo de reproducción lo hacen por mitosis, lo que da como resultado una descendencia idéntica al progenitor.
- b. Si un organismo que se reproduce de manera sexual experimenta una mutación en las células de la línea germinal, es probable que la trasmite a su descendencia, ya que se modificaría la información genética de las células que formarán los gametos, pero si la mutación se encuentra en las células somáticas, no la transmitirá a la descendencia.

Pág. 124. Actividad

1. Los espermatozoides son producidos en los testículos y almacenados en el epidídimo, lugar donde completan su maduración. Luego son transportados por los conductos deferentes desde el epidídimo hasta el conducto eyaculador, el cual se conecta con la uretra. En su recorrido los espermatozoides reciben secreciones provenientes de las vesículas seminales, de la próstata y de las glándulas de Cowper, fluidos que además de otorgarles una mayor movilidad, les proporcionan nutrición. Por último, la uretra desemboca en el meato urinario, desde donde son expulsados por el pene.
- 2.

Estructura	Vesículas seminales	Próstata	Glándulas de Cowper
Función	Contienen fructosa y otros nutrientes que brindan energía a los espermatozoides.	Neutralizar la acidez de la vagina, proteger a los espermatozoides y ayudar a su movilidad.	Producen una sustancia con un líquido alcalino y un moco que sirve para lubricar la uretra.
Volumen secretado.	Secretan entre el 40% y el 60% del líquido seminal.	Sus secreciones constituyen cerca del 30% del semen.	Secretan alrededor del 5% del volumen del líquido seminal.

Pág. 125. Actividad

1. a. El estímulo que activa la regulación del mecanismo es la disminución inicial de testosterona en la sangre.
- b. La estructura encargada de la captación del estímulo es el hipotálamo. Este último sintetiza la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH), la que estimula a la hipófisis anterior para que secrete LH.
- c. Permite aumentar la concentración de testosterona en la sangre, ya que la LH estimula la producción y secreción de testosterona en los testículos.

Pág. 127. Actividad

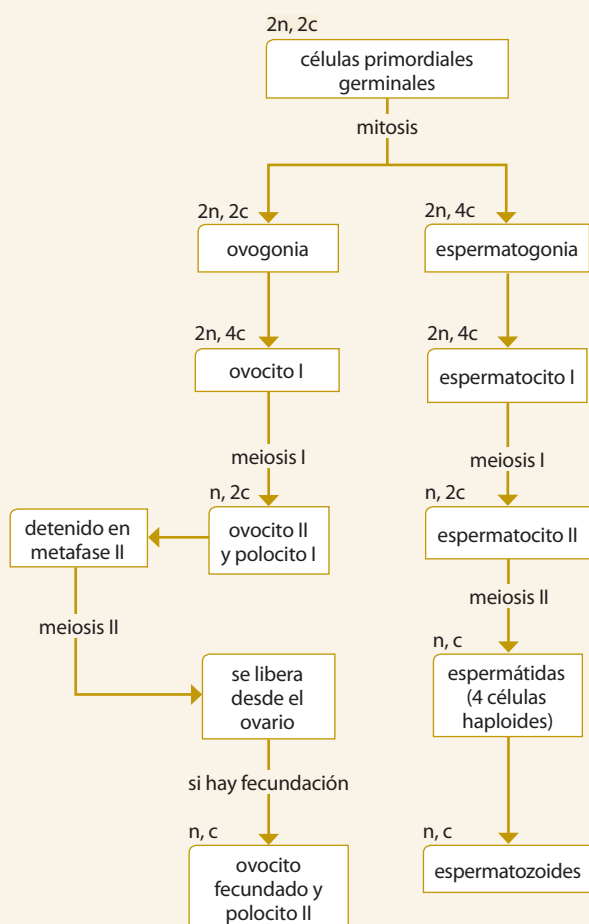
1. a. Espermatogonia: $2n$ y $2c$.
Espermatocito primario: $2n$ y $4c$.
Espermatocito secundario: n y $2c$.
Espermátidas: n y c .
Espermatozoides: n y c .
- b. La importancia del proceso de maduración es que en esta etapa se produce el entrecruzamiento de los cromosomas homólogos, lo que origina células haploides (n), cada una con distinta información genética. La espermatogénesis permite transformar las espermátidas en espermatozoides, gracias a la formación del flagelo, la condensación de la cromatina nuclear, la disminución del volumen citoplasmático y la formación del acrosoma.
- c. Cuatro espermatozoides.

Pág. 130. Actividad

1.

	Espermatogénesis	Ovogénesis
Inicio de la meiosis.	En la pubertad.	Antes del nacimiento.
Resultado de la meiosis I.	Dos espermátocitos secundarios.	Un ovocito secundario y el primer cuerpo polar.
Resultado de la meiosis II.	Cuatro espermátidas.	Un ovocito maduro y el segundo cuerpo polar.
Continuidad de la meiosis.	Prácticamente toda la vida.	Hasta la menopausia.
Número de células resultantes.	Cuatro	Una

2.



Pág. 131. Actividad

1.

Característica	Ovocito	Espermatozoide
Cantidad liberada.	1 por mes.	200 a 300 millones en una eyaculación.
Movilidad	Baja movilidad.	Alta movilidad.
Ploidía	Haploide	Haploide
Nutrientes	Vitelo	Semen
Lugar de formación.	Ovarios	Testículos
Viabilidad	De 12 a 24 horas, aproximadamente.	72 horas en promedio, si bien se han reportado tiempos superiores.
Forma	Esférica	Poseen cabeza y cola.

Pág. 133. Actividad

- Es la ovulación, ya que desde ese momento el ovocito se encuentra listo para ser fecundado.
- Las fases del ciclo menstrual son las siguientes: fase preovulatoria o folicular y fase posovulatoria o lútea.
- Durante la fase lútea, el endometrio va engrosando sus paredes como preparación para anidar a un posible embrión. Si esto no ocurre, se produce el desprendimiento del endometrio, proceso que se conoce como menstruación, lo que da inicio a otro nuevo ciclo.

Págs. 134 y 135. Evaluación de proceso

I.

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Alternativa	B	A	D	D	E	B	B	C	D	D	C

- No. La liberación de espermatozoides en el hombre se produce desde la pubertad de manera continua durante prácticamente toda la vida, mientras que en la mujer los ovocitos se forman durante el período embrionario y se van liberando en cada ovulación.
- Si no se libera una cantidad apropiada de FSH, es posible esperar que no se produzca la correcta selección y desarrollo de una cohorte folicular. Si ocurre algo similar con la cantidad de LH, no se podrá regular correctamente la maduración de estos folículos.
- Formación de ovocitos: ovarios.
Conducción del ovocito al útero: trompa de Falopio.
Recepción e implantación del embrión: útero.
Expulsión del flujo menstrual: vagina.

Pág. 136. Actividad

1. a. Porque proviene de la fusión de dos células que están vivas.
- b. En la fecundación.
- c. Porque otorga el medio adecuado para la selección y transporte de los espermatozoides en el tracto reproductor de la mujer.
- d. Porque en el proceso de capacitación espermática, el espermatozoide adquiere una serie de características necesarias para la interacción y unión con el ovocito.

Pág. 139. Actividad procedimental avanzada

Interpretación de resultados

- a. Al utilizar un tratamiento control, es posible comprobar que los resultados observados se deben a la variable de interés, y no a la manipulación o al efecto de otras variables.
- b. Tiene la capacidad de inducir la reacción del acrosoma.
- c. El estradiol inhibe la reacción de acrosoma, ya que los resultados se sitúan por debajo de los del grupo control.
- d. Al incubar con ambas hormonas es posible observar que el efecto de la progesterona es mayor que el efecto del estradiol, por lo que el porcentaje de espermatozoides reaccionados es mayor que el control. Esta incubación se realizó para ver el efecto que tiene el estradiol sobre la progesterona.

Elaboración de conclusiones

- a. Según los resultados del experimento, se puede concluir que la progesterona y el estradiol tienen un efecto antagónico y, por lo tanto, se valida la hipótesis.
- b. Un nuevo problema podría ser investigar la relación entre los niveles de estas hormonas y casos de infertilidad.

Pág. 140. Actividad

1. a. La mórula está constituida por unos 16 a 18 blastómeros y viaja por la trompa de Falopio camino al útero. Una semana después de la fecundación, aproximadamente, el blastocisto ya se implanta en el endometrio.
- b. Cuando el trofoblasto se une al endometrio libera enzimas que degradan a las células presentes en la cavidad uterina y le permiten invadir y adherirse al endometrio.
- c. Algunos de los tejidos que originarán cada capa germinal de la gástrula son los siguientes:

Endodermo	Mesodermo	Ectodermo
Tubo digestivo.	Esqueleto	Cerebro
Hígado	Gónadas	Médula espinal.
Pulmones	Músculos	Nervios

Pág. 142. Actividad

1. a. Los anexos embrionarios son:
 - **Placenta:** permite el intercambio de nutrientes, sustancias de desecho y gases entre el feto y la madre.
 - **Corion:** estructura membranosa especializada en el intercambio de gases como el oxígeno, de nutrientes y de diversas sustancias.
 - **Amnios:** membrana que contiene al líquido amniótico, que permite proteger al feto de golpes.
- b. Los desechos de la sangre fetal (dióxido de carbono y otros) pasan a la sangre de la madre. Sustancias como los nutrientes, oxígeno, hormonas y anticuerpos son aportados desde la madre al feto.
- c. La ruta de las sustancias que van desde la madre hasta el feto es: vasos sanguíneos maternos – espacios intervellosos – capilares fetales – cordón umbilical.
La ruta de las sustancias que van desde el feto a la madre es: cordón umbilical – capilares fetales – espacios intervellosos – venas uterinas.

Pág. 143. Actividad

1.

Criterios	Período embrionario	Período fetal
Tiempo de gestación.	Abarca los dos primeros meses de desarrollo (ocho semanas).	Abarca desde el inicio del tercer mes hasta el momento del parto.
Características.	En esta etapa comienza la formación de la mayoría de los órganos y estructuras del cuerpo.	En esta etapa el feto y sus órganos previamente formados comienzan a crecer.

2.

Tiempo (semanas)	Tamaño (centímetros)	Masa (gramos)
4	0,6	0
8	3	1
12	7,5	30
16	18	100
20	25 - 30	200 - 450
24	27 - 35	550 - 800
28	32 - 42	1 110 - 1 350
32	41 - 45	2 000 - 2 300
36	50	3 200 - 3 400

Pág. 145. Actividad

- 1. a. Etapa de dilatación:** aparecen contracciones que se originan en las paredes del útero. Estas son espontáneas y permiten que el feto comience a descender paulatinamente.
- Etapa de expulsión:** hay un aumento en la intensidad de las contracciones uterinas. Participan, además, las contracciones abdominales.
- Etapa de alumbramiento:** una vez que ha nacido el bebé, comienzan nuevamente las contracciones espontáneas y rítmicas del útero. Estas provocarán que la placenta se desprenda del tejido uterino y salga al exterior junto a otras envolturas fetales.
- b.** La capa del útero que se contrae durante el parto corresponde al tejido muscular de las paredes del útero, el que se conoce como miometrio.
- c.** Las consecuencias de estas contracciones en cada una de las etapas permiten la dilatación del cérvix, y con esto el comienzo de la salida del feto a través del canal del parto. En una última instancia, las contracciones uterinas provocan el desprendimiento de la placenta.
- d.** La dilatación del cérvix permite la salida del feto. Si esto no sucediera, sería imposible la salida del feto a través del canal del parto.

Pág. 147. Actividad

- 1. a.** Las contracciones de las paredes del útero fuerzan el paso de la cabeza del feto por el cuello uterino. Los receptores de estiramiento del cuello uterino envían impulsos a las células neurosecretoras del hipotálamo y hacen que estas liberen oxitocina hacia la hipófisis posterior. Luego dicha hormona viaja por la sangre al útero, donde estimula contracciones más fuertes. Al intensificarse estas últimas, el cuerpo del feto dilata más el cuello uterino y los impulsos resultantes hacen que se libere todavía más oxitocina. Al ocurrir el nacimiento, se rompe el ciclo de retroalimentación positiva, con la disminución repentina de la distensión cervical.
- b.** Porque el estímulo que mantiene la secreción de prolactina durante el período de lactancia es la succión, lo que ocasiona el envío de impulsos nerviosos desde los receptores del pezón hacia el hipotálamo. Este estimula neuronas productoras de oxitocina, lo que provoca su secreción desde la hipófisis posterior. Esta hormona llegará por la sangre a la glándula mamaria, y estimulará así la eyección de leche.
- Subraya:
- “La principal hormona que promueve la síntesis y secreción de leche es la prolactina, elaborada en la hipófisis anterior”.
- “El estímulo que mantiene la secreción de prolactina durante el período de lactancia es la succión”.
- “El estímulo de succión debe conducirse desde el pezón al hipotálamo, glándula que originará impulsos nerviosos que provocarán la secreción de oxitocina desde la hipófisis posterior”.

Pág. 149. Actividad

- 1. a.** No son lo mismo. El sexo es una condición que está determinada genéticamente y se relaciona con ser hombre o ser mujer. El género, en tanto, hace referencia a la manera de pensar, sentir, comportarse y comunicarse con los demás según el sexo que poseamos.

- b.** Porque la sexualidad es un componente que nos constituye y nos infunde una manera distintiva de ser, de comunicarse con los demás, de sentir, de expresar sentimientos y de experimentar el amor.
- c.** Es un componente natural y fundamental de nuestra sociedad, la que siempre debe ser protegida, pues en ella se adquieren los valores fundamentales que guiarán a nuestros hijos durante su vida.
- d.** El objetivo de esta actividad es incorporar todos los nuevos conceptos que ahora conocen y construir una definición integral de lo que entienden por sexualidad.

Pág. 151. Actividad

1. a.

	Masculino	Femenino
Billings o de ovulación.		X
Ogino-Knaus o del ritmo.		X
Temperatura basal.		X
Anticonceptivos orales.		X
Anticonceptivos inyectables.		X
Espumas espermicidas.	X	X
Preservativo o condón.	X	X
Diafragma		X
Dispositivos intrauterinos (DIU).		X
Vasectomía	X	
Ligadura de las trompas de Falopio.		X

- b.** Los métodos naturales no presentan efectos secundarios y no son invasivos. Los métodos artificiales, en cambio, sí presentan efectos secundarios e interfieren de distintas maneras para impedir el encuentro de los gametos.

Pág. 153. Actividad

- 1. a.** Las ETS (enfermedades de transmisión sexual) corresponden a diversas patologías infecciosas cuyo contagio ocurre por lo general a través del contacto directo con el cuerpo de alguien que está infectado o con fluidos de este, especialmente mediante relaciones sexuales. También se puede producir el contagio por transfusiones de sangre infectada y desde la madre a su hijo o hija durante el parto o la lactancia.

b.

Tipo de tratamiento	Agentes causales	Sintomatología
Bacterias	<i>Treponema pallidum</i> (sífilis).	La aparición de una lesión denominada chancro.
	<i>Neisseria gonorrhoeae</i> (gonorrea).	Secreciones amarillentas y dolor al orinar.
	<i>Chlamydia trachomatis</i> (clamidiasis).	Secreción anormal de los genitales externos y ardor al orinar.
Protozoos	<i>Trichomonas vaginalis</i> (tricomoniasis).	Incluye molestias para orinar, secreciones, ardor y comezón.
Hongos	<i>Candida albicans</i> (candidiasis vulvovaginal).	Enrojecimiento, inflamación, escozor y dolor.
Virus	Virus de la inmunodeficiencia humana (VIH SIDA).	Fallas frecuentes del sistema inmune.
	Virus herpes simplex (herpes genital).	Llagas en la región genital.
	Virus papiloma humano (verrugas genitales).	Lesiones en forma de verrugas a nivel de los órganos sexuales.

c. Porque el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) ataca a un tipo de células específico del sistema de defensa: los linfocitos T, de manera que el cuerpo no es capaz de ofrecer una respuesta inmune adecuada contra las infecciones o agentes patógenos.

Pág. 155. Evaluación final

I. Interpretación de resultados

- La mayor incidencia de la enfermedad se produce cuando ambos progenitores (hombre y mujer) están infectados. De las parejas en estudio que han tenido pérdidas espon-táneas, el 68% de ellas estaba infectada por la bacteria.

Elaboración de conclusiones

- La hipótesis formulada es válida, ya que existe una mayor prevalencia de pérdidas en aquellas parejas que están infectadas.

Págs. 156 y 157. Evaluación final

II.

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

Unidad 5

Pág. 159. Evaluación inicial

- La zona más afectada por la deforestación en América del Sur corresponde a la selva amazónica (Brasil).
- Para calcular en cuánto tiempo desaparecerían los bosques nativos, hay que dividir el número total de hectáreas por el número de hectáreas que se deforestan al año. El resultado es de 240 años.
- Alrededor de siete a nueve generaciones.

Pág. 161. Actividad procedimental de inicio

Interpretación de resultados

- Los peces no crecieron tanto como predice el modelo, ya que además del alimento ilimitado, existen otros factores que determinan el crecimiento poblacional, como por ejemplo, el volumen del acuario.
- Sí, uno de los factores puede ser el tamaño del acuario, ya que limita el aumento de la población.

Elaboración de conclusiones

- No siempre es posible afirmar eso, ya que como vimos anteriormente, el crecimiento poblacional depende de otros factores, como por ejemplo, el espacio físico.
- Entre las variables a controlar para asegurar que los resultados se relacionen con el tamaño del acuario, y no con otras variables, encontramos la temperatura y el alimento.

Pág. 163. Actividad

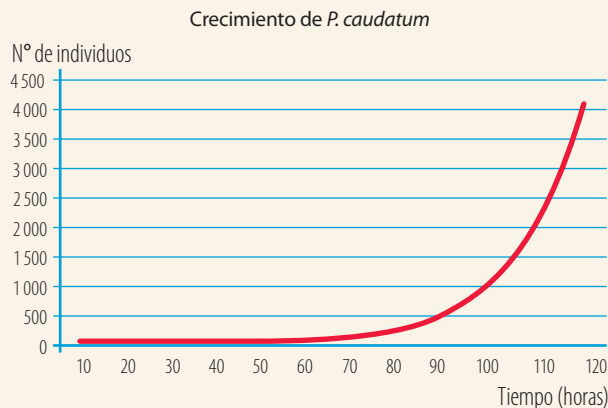
- Zorro ártico:** en un ambiente frío, su pelaje es blanco y aumenta su densidad y largo. En un ambiente cálido, su pelaje presenta un color oscuro y disminuye su densidad y largo.
Roble: en un ambiente frío, hay reabsorción de nutrientes desde las hojas y existe una reducida absorción de agua desde las raíces. En un ambiente cálido, hay mayor absorción de agua y nutrientes y existe una movilización de estos hacia las hojas.
- La gran densidad de su pelaje les confiere resistencia al frío, mientras que el color blanco les sirve de camuflaje para cazar en la nieve. Su piel es negra, y esto es mejor para atraer la radiación solar y aumentar así la temperatura corporal.
- Un ejemplo son los cactus, los cuales presentan una alta resistencia a las altas temperaturas, además de una gran adaptación para vivir en ambientes muy áridos.

Pág. 164. Actividad

- Es posible distinguir dos especies de animales: los perros africanos y las suricatas. Los perros africanos son de un tamaño mayor y siempre son cuadrúpedos, mientras que las suricatas son más pequeñas y pueden pararse en dos patas. Las semejanzas que se pueden apreciar entre estas dos especies es que son mamíferos y conviven en grupos.
- Las interacciones que se pueden reconocer son: (1) perros africanos jugando, (2) perros africanos bebiendo agua y acechando, (3) suricatas acicalándose, (4) suricatas peleando, (5) suricata cuidando crías, (6) suricata vigilando mientras otras descansan. Además, cada uno de estos individuos interactúa con su medio abiótico: respira, consume agua, intercambia gases, entre otros.

Pág. 165. Actividad

- Sugerencia de gráfico:



- El tamaño poblacional al haber transcurrido 150 horas sería de 32 768 individuos.
El tamaño poblacional al haber transcurrido 240 horas sería de 16 777 216 individuos.

Pág. 166. Actividad

- Considerando el promedio de granos capturados por unidad de tiempo (diez segundos), lo esperable es que en caso de no existir un competidor, el o la estudiante pueda recolectar un número mayor de granos, ya que contará con un mayor número de períodos para agotar los granos del plato.
Si bien uno de los o las estudiantes resultará ser "ganador" o "ganadora" de esta actividad, ambos se verán perjudicados por la presencia de su competidor, ya que en caso de no haber tenido competidores, habrían conseguido un número mayor de granos.

Pág. 169. Actividad procedimental avanzada

Interpretación de resultados

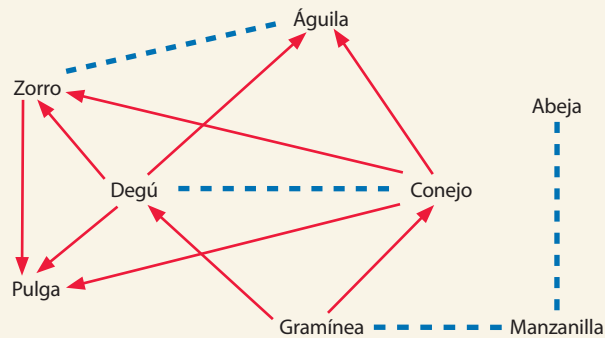
- El resultado esperado por Darwin según el principio de la lucha por la existencia sería que, si estas dos especies compiten por un recurso limitado, crecerían juntas hasta que una de ellas prevalecería y excluiría a la otra.
- Cuando cada especie crece por separado, es posible observar que cada una aprovecha óptimamente los recursos, siguiendo un crecimiento exponencial, hasta alcanzar el máximo crecimiento en esas condiciones. Cuando las especies crecen juntas, es posible observar que se ven perjudicadas, hasta que una de ellas prevalece (*P. aurelia*) y desplaza a la otra (*P. caudatum*).
- Porque es un tipo de competencia entre dos poblaciones de especies distintas.

Elaboración de conclusiones

- Según los resultados presentados en el gráfico, es posible concluir que cuando dos especies comparten el uso de un recurso, una especie prevalecerá y excluirá a la otra. En este caso, *P. aurelia* desplazó a la especie *P. caudatum*.
- Los resultados evidencian lo que plantea este principio, ya que ante un recurso limitado que es compartido por varios organismos, estos competirán por su utilización, y el mejor dotado excluirá a los otros de su uso.

Pág. 170. Actividad

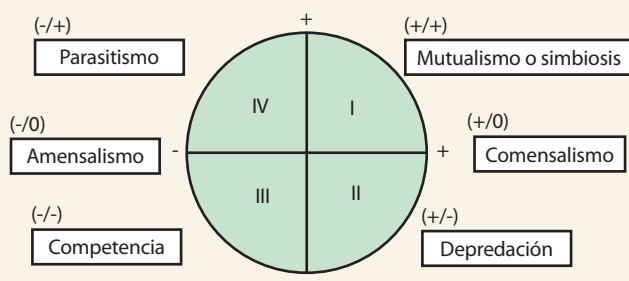
-



- En la ilustración se pueden reconocer tanto interacciones tróficas como no tróficas. Ejemplos de estas son:
 - Interacción trófica:** entre el león y la cebra.
 - Interacción no trófica:** entre el león, el leopardo y el águila.

Pág. 171. Actividad

-



Pág. 175. Actividad

-

- Ejemplo 1** – pájaro carpintero.
Interacción biótica: el pájaro carpintero se alimenta de larvas de coleóptero.
Interacción abiótica: elimina desechos metabólicos.
- Ejemplo 2** – zorro.
Interacción biótica: el zorro depreda al conejo.
Interacción abiótica: libera dióxido de carbono al medio.
- Ejemplo 3** – fitoplancton.
Interacción biótica: el fitoplancton es consumido por el zooplancton.
Interacción abiótica: capta el dióxido de carbono del ambiente para realizar fotosíntesis.
- Ejemplo 4** – zorzal.
Interacción biótica: el zorzal compete con el queltehue por los invertebrados terrestres.
Interacción abiótica: capta oxígeno del ambiente.
- Ejemplo 5** – huemul.
Interacción biótica: compete con el conejo por alimento (hierbas, pastos).
Interacción abiótica: ingiere agua.

Págs. 176 y 177. Evaluación de proceso

I.

Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Alternativa	E	D	E	A	E	B	D	D	D	B	E	B

- II. 1. No, ya que seguirá interactuando con otras especies, como los carroñeros y los descomponedores. En otras palabras, pasa a formar parte del medio abiótico.
2. Dentro de un ecosistema son reconocibles los niveles de organismo, población y comunidad.

Pág. 179. Actividad

1. a. Si los países aumentan el consumo de carne, necesitarán destinar más terrenos para el cultivo de granos y recursos para la alimentación de los animales, así como también reservar terrenos para su crianza y mantención.
- b. Si las zonas agrícolas y ganaderas necesitan aumentar sus terrenos, es posible que se intente utilizar la tierra que forma parte de áreas protegidas para estas labores, lo que aumentaría la presión sobre estos territorios.
- c. Gran parte de Europa, Asia y América.

Pág. 183. Actividad

1. a. Para reducir los impactos de la agricultura en nuestro planeta, es importante tomar conciencia de los daños que se provocan al aumentar, a nivel global, la destinación de terrenos solo para la ganadería. Una alternativa para contrarrestar este efecto es el aumento del consumo de granos y disminuir el de carnes, con el fin de reducir el uso de grandes cantidades de terrenos solo para la crianza y mantención de los animales.
- b. Una de las medidas que se pueden tomar para evitar el daño indirecto sobre otras especies son:
- Disminuir las tasas de deforestación provocadas por la agricultura y ganadería.
 - Reducir la producción de contaminantes.
 - Evitar la introducción de especies foráneas.
 - Reducir la emisión de gases que contribuyen al aumento del calentamiento global.
 - Incentivar la conservación de los ecosistemas.
- c. A pesar de que somos una especie más, no somos una especie cualquiera. Nuestra capacidad para modificar el medio ambiente supera con creces la de la mayoría de las especies. Producto de esto, hemos afectado una gran proporción de la superficie de la Tierra y muchas especies se han visto perjudicadas por la actividad humana.

Pág. 184. Actividad

1. • **Extintas en su distribución natural:** una especie está extinta en su distribución natural cuando, después de hacer rastreos exhaustivos en su área de distribución histórica, no se ha detectado ningún individuo.
- **En peligro de extinción:** es aquella especie cuyas áreas de distribución o tamaño de sus poblaciones han disminuido drásticamente, lo que pone en riesgo su viabilidad biológica en todo su hábitat natural y compromete su existencia a nivel global.

- **Vulnerables:** especies que enfrentan un alto riesgo de extinción en su distribución natural.
- **Raras:** son especies que, por su pequeño número de individuos, poseen una distribución geográfica muy estrecha y se consideran amenazadas por su inhabilidad para adaptarse a los cambios bruscos del medio ambiente.
- **Insuficientemente conocidas:** especies en que no hay estimaciones del tamaño de su población ni indicios de si se encuentra estable o disminuyendo. No está claro cuán estrecha es la relación con el hábitat o si puede utilizar parches de otro tipo de vegetación. Tampoco se tiene información de competencia con otras especies o si se ve afectada por especies introducidas.
- **Fuera de peligro:** son aquellas especies cuyas áreas de distribución y tamaños poblacionales se han mantenido.

Pág. 189. Actividad

1. a. Algunos de los argumentos que los y las estudiantes podrían nombrar para dar cuenta de lo importante de no introducir especies a nuestro territorio son los siguientes:
- Porque pueden provocar cambios importantes en los ecosistemas endémicos.
 - Porque pueden expandir su rango de distribución, desplazando a otras especies nativas o extinguiéndolas.
 - Porque no necesitan de la ayuda del ser humano para colonizar otros territorios, lo que puede provocar severos cambios en el medio ambiente.

Pág. 191. Actividad

1. a. Porque además de modificar el ambiente por su interacción con el medio abiótico, son capaces de generar nuevos hábitats, los que pueden ser utilizados por otras especies.
- b. La respuesta a esta pregunta es abierta, pero el objetivo es relacionar las imágenes con la descripción del caso y subrayar aquellas ideas que expliquen por qué se llegó a esto.

Pág. 193. Evaluación final

- I. 1. Al comparar las condiciones de ambos experimentos, se puede observar que la diferencia entre el primer y el tercer experimento es que este último recrea mejor las condiciones naturales en que las poblaciones pueden intercambiar organismos y recolonizar un determinado ambiente.
2. Gause en el primer experimento observó parcialmente lo que él esperaba, una relación entre el depredador y la presa semejante a un ciclo, pero en la cual ambos desaparecían. Luego, continuó haciendo variantes que simularan mejor las condiciones naturales y obtuvo los resultados del tercer experimento, en el que sí se observan oscilaciones (gráfico C).
3. Es el análisis de los resultados por separado lo que permite evidenciar la influencia de cada factor sobre la dinámica depredador-presa. En este caso, el efecto de los refugios e inmigraciones en la generación de oscilaciones.

Págs. 194 y 195. Evaluación final

II.

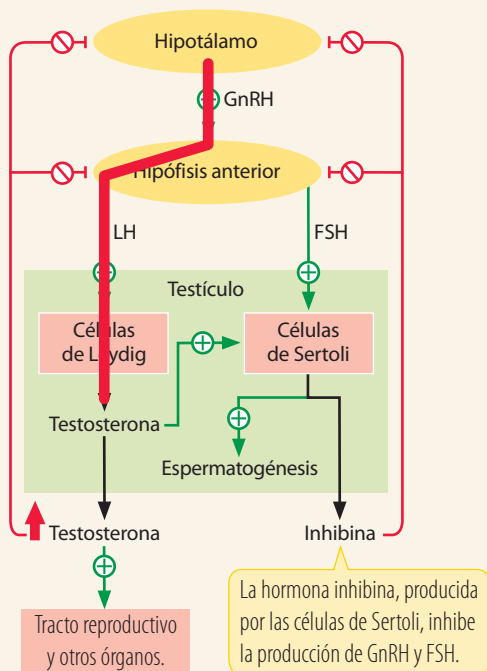
Pregunta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Alternativa	B	C	D	E	C	D	E	A	E	C	B	D	E

Evaluación de síntesis 1

Unidades 3 y 4

Pág. 196

1. a.



El hipotálamo libera GnRH y esta actúa sobre la hipófisis anterior para que esta libere, a su vez, LH a la sangre, la cual va a estimular a las células de Leydig para que produzcan testosterona en los testículos.

- b. Hipotálamo:** anatómicamente se ubica en la base del cerebro, más o menos a la altura de los ojos, y es del tamaño de una almendra.

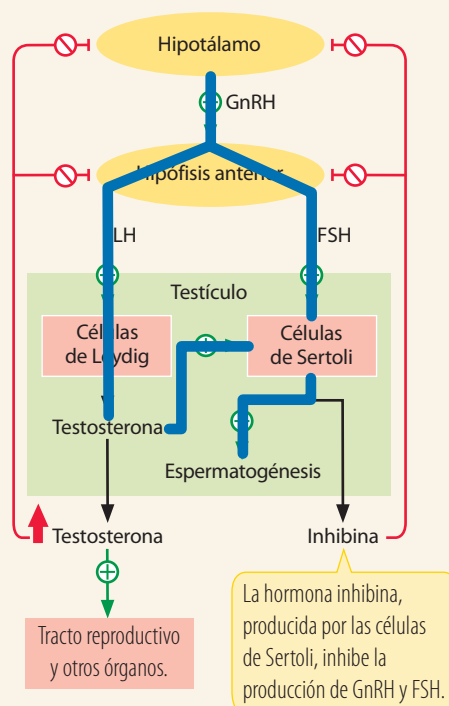
Hipófisis: está unida al hipotálamo mediante una angosta estructura, el tallo hipofisario, por donde pasan vasos sanguíneos y prolongaciones neuronales.

Testículos: se ubican por debajo de la cavidad abdominal, tras la base del pene, y están almacenados en una bolsa de piel llamada escroto.

Células de Leydig: células ubicadas al interior de los testículos y que producen testosterona.

- c.** El hipotálamo estimula a la hipófisis anterior y esta, a su vez, estimula a las células de Leydig para que produzcan testosterona en los testículos y esta llegue posteriormente al tracto reproductivo y a otros órganos. Cuando los niveles de esta hormona son altos, su concentración inhibe tanto al hipotálamo como a la hipófisis anterior, y así se regulan los niveles de testosterona sanguínea.
- d.** Tiene una directa incidencia en los niveles adecuados de testosterona en el hombre, ya que un mal funcionamiento de la hipófisis anterior incide directamente sobre su correcta regulación hormonal.

2. a.



El hipotálamo libera GnRH y esta actúa sobre la hipófisis anterior para que esta libere, a su vez, FSH a la sangre, la cual va a estimular la espermatogénesis por parte de las células de Sertoli.

Por su parte, la acción de la LH produce un aumento de los niveles de testosterona, lo que también es un estímulo para la espermatogénesis.

- b. Células de Sertoli:** células ubicadas al interior de los testículos, específicamente en los túbulos seminíferos, que son estimuladas por la hormona FSH para proporcionarles apoyo mecánico, protección y diversos metabolitos a los espermatozoides en formación. Estas células además producen inhibina, hormona que puede inhibir la producción de GnRH y FSH, y con ello regular la espermatogénesis. Las demás estructuras involucradas ya fueron mencionadas en el punto 1.b.
- c.** El aumento de los niveles de testosterona en aquellos deportistas que utilizan esteroides mantiene elevada su concentración en la sangre, lo que hace innecesaria su producción por parte de las células de Leydig. Esto altera los mecanismos de retroalimentación y finalmente se traduce en una disminución de la espermatogénesis.
- d.** Como fue mencionado anteriormente, el hipotálamo actúa sobre la hipófisis anterior para que esta libere FSH directamente a la sangre. Dicha hormona es transportada hasta las células de Sertoli y estimula la espermatogénesis en los túbulos seminíferos. Por su parte, las células de Sertoli en presencia de FSH secretan una hormona llamada inhibina, la cual viaja a través del torrente sanguíneo hasta el hipotálamo y la hipófisis anterior, regulando negativamente la secreción de FSH. De esta manera, las hormonas se regulan por retroalimentación negativa y controlan la producción de espermatozoides en los testículos.

Evaluación de síntesis 2

Unidades 1, 2 y 5

Pág. 197

1.
 - a. Los dos procesos de la meiosis que tienen relación con la variabilidad genética en la formación de los gametos son el *crossing-over* o entrecruzamiento de los cromosomas homólogos en la profase I y la permutación cromosómica en la metafase I, la cual da cuenta de un reordenamiento aleatorio de los cromosomas en el ecuador celular.
 - b. Anafase I → Telofase I
 - c. Determina:
 - Cada gameto tiene 23 cromosomas, pero en la fecundación se restablece la diploidía ($2n = 46$).
 - Cada gameto posee una copia de cada gen. En la fecundación, como mencionamos anteriormente, se restablece la diploidía, lo que en otras palabras significa que el individuo tendrá dos copias de cada gen: uno proveniente del padre y el otro de la madre.
 - d. Al producirse la fecundación, el fenotipo del individuo resultante dará cuenta de la expresión de su genotipo. A nivel de genes, se expresará la información de los alelos dominantes.
2.
 - a. Describe:
 - Águila ← (+/-) Conejo silvestre (depredación)
 - CC y Cc: fenotipo dominante (café).
cc: fenotipo recesivo (blanco).
 - b. Deberían ser más abundantes los conejos de color café, ya que presentan una ventaja por sobre los de color blanco al poder confundirse más fácilmente con el paisaje.
 - c. Aumentaría el riesgo de ser depredados, lo que podría conducirlos a su extinción como especie.
 - d. En un ambiente como el ártico, el color del pelaje predominante en una población de conejos silvestres debería ser el blanco. Esto se explicaría porque los individuos de pelaje blanco podrían camuflarse fácilmente con el entorno y, por ende, tendrían más posibilidades de sobrevivir que los de pelaje café, ya que estos últimos podrían ser más fácilmente detectados por los depredadores. Por lo tanto, aquellos individuos de pelaje blanco, al estar mejor adaptados al ambiente que los de pelaje café, serían seleccionados naturalmente, pues aumentarían sus probabilidades de reproducción y descendencia.

Evaluación de síntesis 3

Unidades 1, 2, 3, 4 y 5

Págs. 198 y 199

Pregunta	Alternativa
1	E
2	D
3	E
4	E
5	B
6	D
7	D
8	E
9	B
10	D
11	E
12	B
13	E

Unidad 1

- 1. ADN (pág. 14):** molécula portadora de la información genética, compuesta por dos cadenas complementarias de nucleótidos, enrolladas en una doble hélice, capaz de autoduplicarse y de dirigir la síntesis de ARN.
- 2. Apoptosis (pág. 31):** serie de eventos que constituyen la muerte programada genéticamente de una célula.
- 3. Bases nitrogenadas (pág. 14):** moléculas cíclicas que forman parte fundamental de los nucleótidos. Existen cinco bases nitrogenadas, divididas en dos tipos: purinas y pirimidinas. Adenina (A) y guanina (G) son purinas, mientras que timina (T), citocina (C) y uracilo (U) son pirimidinas. En el ARN la timina es reemplazada por uracilo.
- 4. Carioteca (pág. 13):** es una membrana lipídica porosa que delimita al núcleo y es propia de las células eucariontes.
- 5. Cariotipo (pág. 18):** conjunto de cromosomas de una especie en que se especifica número, tamaño y tipo (forma) de los cromosomas.
- 6. Cigoto (pág. 30):** célula diploide que resulta de la fusión de los gametos masculino y femenino (fecundación).
- 7. Cinetocoro (págs. 16, 24):** estructura proteica en forma de disco asociada con el centrómero, a la que se unen las fibras del huso durante la mitosis o la meiosis.
- 8. Citodiéresis o citocinesis (págs. 28, 35, 37):** corresponde a la división del citoplasma de una célula después de ocurrida la división celular.
- 9. Cromatina (pág. 13):** es el complejo de ADN y proteínas que componen a los cromosomas eucariontes; se encuentra como eucromatina cuando está menos condensada y como heterocromatina cuando su grado de condensación es mayor.
- 10. Cromosomas (págs. 15, 16, 17):** filamentos de cromatina que se forman durante las divisiones celulares (mitosis y meiosis).
- 11. Crossing-over (págs. 34, 38):** se llama así al intercambio de material genético que se produce entre las cromátidas de cromosomas homólogos apareados durante la meiosis.
- 12. Diploide (págs. 17, 18, 129):** doble dotación cromosómica ($2n$) en la que los cromosomas se hallan de a pares.
- 13. Fenotipo (págs. 20, 21):** características observables de un organismo que resultan de las interacciones entre el genotipo y el ambiente.
- 14. Gameto (pág. 38):** célula reproductora haploide cuyo núcleo se fusiona con el de otro gameto del sexo opuesto. La célula resultante puede desarrollar un nuevo individuo diploide.
- 15. Genotipo (pág. 21):** la constitución genética de una sola célula o de un organismo con referencia a una sola característica o a un conjunto de características; la suma total de todos los genes presentes en un organismo.
- 16. Gónada (pág. 38):** órgano productor de gametos de los animales multicelulares. Las gónadas femeninas se llaman ovarios, mientras que las masculinas se llaman testículos.
- 17. Haploide (págs. 17, 18, 37, 40):** que tiene solo una dotación cromosómica; característica de los gametos, los gametofitos vegetales, algunos protistas y hongos.
- 18. Huso (pág. 24):** conjunto de microtúbulos que conducen a los cromosomas de una célula eucarionte en división, ya sea en mitosis o en meiosis, desde sus cinetocoros hacia los centriolos en los polos.

- 19. Meiosis (págs. 34, 35, 36, 37, 38, 39):** corresponde a las dos divisiones celulares sucesivas durante las cuales una sola célula diploide ($2n$) forma cuatro células haploides (n). En la meiosis ocurre la recombinación genética debida al entrecruzamiento y la segregación al azar de los cromosomas. Como resultado de la meiosis pueden producirse gametos o esporas.
- 20. Mitosis (págs. 26, 27, 29, 30, 31, 39):** división nuclear caracterizada por la duplicación de los cromosomas y la formación de dos núcleos hijos idénticos.
- 21. Núcleo (págs. 10, 11, 12, 13, 14):** estructura rodeada por membrana, característica de las células eucariontes, que contiene la información genética en forma de ADN.
- 22. Tétrada (pág. 34):** par de cromosomas homólogos que se han duplicado y se han apareado en la profase I de la meiosis; está formada por cuatro cromátidas.

Unidad 2

- 1. Alelo dominante (págs. 56, 58):** alelo que se expresa dando el mismo fenotipo tanto cuando se encuentra en condición heterocigota como homocigota.
- 2. Alelos múltiples (pág. 71):** corresponde a la herencia en la que existen tres o más alelos como posibilidad de ocupar el gen en los cromosomas (*locus*).
- 3. Alelo recesivo (págs. 56, 58):** alelo cuyo efecto fenotípico está enmascarado en el heterocigoto por el efecto de otro alelo dominante.
- 4. Autopolinización (pág. 53):** transferencia de polen del estambre al pistilo de la misma flor o a otra flor de la misma planta, produciéndose así la autofecundación.
- 5. Caracteres (pág. 51, 52, 54):** característica o atributo fácilmente observable que forma parte del fenotipo de un individuo.
- 6. Codominancia (págs. 71, 72, 73):** fenómeno por el cual los efectos de ambos alelos en un *locus* particular se reflejan en el fenotipo del heterocigoto.
- 7. Cromosomas sexuales (págs. 69, 77):** par de cromosomas que son diferentes en los dos sexos; los hombres tienen un cromosoma X y un cromosoma Y (XY), mientras que las mujeres tienen dos cromosomas X (XX).
- 8. Cruzamiento de prueba (pág. 67):** cruzamiento de un individuo de fenotipo dominante con uno homocigoto recesivo; es utilizado para determinar si el individuo de fenotipo dominante es homocigoto o heterocigoto.
- 9. Cuadro de Punnett (págs. 56, 64):** cuadrícula utilizada para representar las combinaciones alélicas de los gametos y predecir las proporciones genotípicas y fenotípicas de la descendencia.
- 10. Dominancia incompleta (pág. 70):** fenómeno por el cual los efectos de ambos alelos de un *locus* particular producen un fenotipo intermedio en el heterocigoto.
- 11. Hemofilia (págs. 73, 77):** enfermedad genética recesiva relacionada con el cromosoma X que consiste en la dificultad de la sangre para coagularse adecuadamente.
- 12. Herencia holándrica (pág. 75):** corresponde a la herencia que se caracteriza porque solo aparece en los descendientes varones, ya que el rasgo está presente en el cromosoma Y. Por lo tanto, no hay posibilidad de que una mujer lo exprese.

13. **Heterocigoto (págs. 56, 58):** organismo diploide que posee alelos diferentes en uno o más genes de la pareja de cromosomas homólogos.
14. **Híbrido (págs. 54, 58):** hijo de dos progenitores que difieren en una o más características heredables; se dice de los descendientes de dos variedades o especies diferentes.
15. **Homocigoto (págs. 56, 58):** organismo diploide que posee alelos idénticos en uno o más genes de la pareja de cromosomas homólogos.
16. **Monohibridismo (pág. 58):** son los cruzamientos de dos individuos homocigotos de la misma especie que se diferencian en un solo rasgo (uno dominante y otro recesivo) para la obtención de heterocigotos (híbridos).
17. **Polinización cruzada (pág. 53):** corresponde a la transferencia de polen del estambre de una flor al pistilo de otra, produciéndose así la fecundación.
18. **Rasgo (págs. 54, 58):** corresponde a las posibilidades de expresión de un determinado carácter en estudio.

Unidad 3

1. **Adenohipófisis (pág. 99):** glándula endocrina regulada por secreciones del hipotálamo. Es fuente de hormonas tróficas, de la hormona de crecimiento y de la prolactina.
2. **Diabetes mellitus (págs. 112, 113):** es una enfermedad que se caracteriza por un aumento de los niveles de glucosa en la sangre. La causan varios trastornos, de los cuales el principal es la baja producción de la hormona insulina, secretada por las células beta del páncreas, o su inadecuado uso por parte del cuerpo.
3. **Glándula (págs. 87, 99, 100, 105):** estructura compuesta por células especializadas, que producen una o más secreciones.
4. **Glándula endocrina (págs. 87, 98):** glándula cuyas secreciones (hormonas) son liberadas a los espacios extracelulares desde los cuales difunden al sistema circulatorio.
5. **Glándula exocrina (pág. 87):** glándula que secreta sus productos a través de conductos a un lugar determinado para realizar una función completa.
6. **Glicemia (págs. 85, 110, 111):** corresponde a la concentración de glucosa en la sangre.
7. **Glucagón (págs. 104, 111):** hormona producida en el páncreas que eleva la concentración de azúcar en la sangre.
8. **Glucógeno (págs. 104, 111):** este polisacárido es el principal carbohidrato de reserva de las células animales.
9. **Gluconeogénesis (pág. 111):** es una ruta metabólica que permite sintetizar glucosa a partir de precursores no glucídicos, como los aminoácidos y ácidos grasos, entre otros. Tiene lugar principalmente en el hígado.
10. **Glucosa (págs. 85, 90, 104, 110, 111):** fuente principal de energía para el metabolismo celular. Se obtiene fundamentalmente a través de la alimentación y se almacena principalmente en el hígado.
11. **Gonadotrofinas (págs. 100, 109):** hormonas (FSH y LH) producidas por la hipófisis anterior que estimulan el crecimiento y mantenimiento de los testículos y los ovarios.
12. **Hiperglicemia (págs. 111, 112):** se refiere a una concentración de glucosa en la sangre anormalmente alta.

13. **Hipoglicemia (págs. 111, 113):** corresponde a una concentración de glucosa en la sangre anormalmente baja.
14. **Hipotálamo (págs. 98, 99, 100):** es la región del cerebro de los vertebrados que se ubica justo por debajo del tálamo. Es responsable de la integración de la mayoría de las funciones nerviosas y endocrinas.
15. **Hormonas (págs. 87, 88, 91, 101):** moléculas orgánicas, habitualmente secretadas en cantidades pequeñas, que regulan la función de otros tejidos u órganos.
16. **Hormonas esteroidales (pág. 93):** son hormonas derivadas del colesterol que por su naturaleza apolar pueden atravesar la membrana celular sin mediación de otras moléculas. El receptor de estas hormonas se encuentra en el citoplasma de las células diana.
17. **Hormonas peptídicas (pág. 92):** para ingresar a las células se unen a receptores ubicados en la membrana celular, lo que activa una cadena de reacciones metabólicas.
18. **Insulina (págs. 90, 104, 111, 112, 113):** hormona producida en el páncreas que disminuye la concentración de azúcar en la sangre.
19. **Neurohipófisis (pág. 99):** glándula que almacena y libera oxitocina y ADH, hormonas producidas por el hipotálamo.
20. **Retroalimentación (págs. 107, 108, 109):** es un mecanismo de regulación de un sistema, de tal manera que el resultado final de un proceso estimula (retroalimentación positiva) o inhibe (retroalimentación negativa) la actividad del mismo.
21. **Testosterona (págs. 93, 97):** hormona esteroide secretada por el testículo, que estimula el desarrollo y el mantenimiento de las características sexuales masculinas y la producción de espermatozoides.
22. **Tiroides (pág. 102):** glándula endocrina localizada en el cuello; fuente de una hormona que contiene yodo (tiroxina), la que incrementa la tasa metabólica y afecta el crecimiento.

Unidad 4

1. **Adolescencia (pág. 149):** se caracteriza por el crecimiento físico y desarrollo psicológico, y es la fase del desarrollo humano situada entre la infancia y la edad adulta.
2. **Blastocele (pág. 137):** cavidad llena de líquido en el interior de la blástula.
3. **Blastocisto (págs. 137, 140):** estadio del embrión en desarrollo que se implanta en la pared uterina.
4. **Blastómeros (pág. 137):** células indiferenciadas resultantes de la división del cigoto.
5. **Células de Leydig (pág. 125):** células localizadas en el testículo; producen testosterona por un estímulo procedente desde la hipófisis vía sanguínea (secreción de LH).
6. **Células de Sertoli (pág. 125):** células que proporcionan apoyo mecánico, protección y nutrición a las células germinales que originarán a los espermatozoides.
7. **Ciclo menstrual (págs. 132, 133):** cambios cíclicos regulados por hormonas que ocurren en las células del ovario (células foliculares) y en el revestimiento uterino (endometrio).
8. **Ectodermo (pág. 140):** capa de tejido embrionario que origina la cubierta externa del cuerpo, los receptores sensoriales y el sistema nervioso.

- 9. Endodermo (pág. 140):** capa de tejido embrionario que origina el epitelio que reviste a ciertas estructuras internas, como la mayor parte del tubo digestivo, del tracto respiratorio, la vejiga urinaria, el hígado, el páncreas y algunas glándulas endocrinas.
- 10. Espermatogénesis (págs. 125, 126, 127):** proceso de formación de espermatozoides que se lleva a cabo en los túbulos seminíferos de los testículos. Las células primordiales se dividen continuamente desde la pubertad y durante toda la vida adulta del hombre.
- 11. Espermatozoide (págs. 125, 126, 131):** célula sexual masculina madura o gameto habitualmente móvil y de menor tamaño que el gameto femenino.
- 12. Estrógenos (págs. 128, 132, 133):** hormonas esteroidales asociadas al desarrollo de los órganos reproductores y la aparición (durante la pubertad) y mantenimiento (durante toda la vida adulta) de los caracteres sexuales secundarios en las mujeres.
- 13. Fecundación (págs. 136, 137):** proceso en el cual se fusionan los gametos femenino y masculino, para dar origen a una nueva célula, el cigoto, organismo que iniciará un desarrollo continuo, gradual y altamente regulado.
- 14. Gástrula (pág. 140):** etapa del desarrollo de un embrión durante la cual la blástula, con su capa única de células, se transforma en un embrión de tres capas, constituido por ectodermo, mesodermo y endodermo.
- 15. Implantación (págs. 140, 143):** es la adhesión a la pared del útero del blastocisto.
- 16. Menstruación (págs. 132, 133):** corresponde al desprendimiento del endometrio por efecto de la brusca disminución de estrógenos y progesterona. Ocurre en promedio cada 28 días y marca el inicio de un nuevo ciclo menstrual.
- 17. Mesodermo (pág. 140):** capa embrionaria que da origen al músculo esquelético, sistema circulatorio, la mayor parte del sistema excretor y reproductor, y la cubierta externa de los órganos internos.
- 18. Mórula (pág. 137):** estadio previo al blastocisto que consta aproximadamente de 16 a 64 blastómeros.
- 19. Ovarios (págs. 128, 129):** órganos adyacentes a las trompas de Falopio y que son productores de ovocitos; también son considerados glándulas endocrinas que secretan hormonas esteroidales, como los estrógenos y la progesterona.
- 20. Ovocito (págs. 128, 129, 130, 131):** célula germinal femenina. Puede ser fecundada por un espermatozoide, dando origen a un cigoto.
- 21. Ovulación (págs. 132, 133):** corresponde al evento más importante del ciclo menstrual, en el cual el folículo maduro libera al ovocito, tras lo cual es transportado a la trompa de Falopio.
- 22. Progesterona (págs. 128, 132, 133, 140):** hormona esteroidea producida por el cuerpo lúteo y que prepara al útero para la implantación del embrión; también es producida por la placenta en el período embrionario.
- 23. Reproducción asexual (pág. 122):** cualquier proceso reproductor, como la gemación o la división de una célula o de un organismo en dos o más partes aproximadamente iguales, en el que no interviene la unión de gametos.
- 24. Reproducción sexual (pág. 122):** reproducción en la que intervienen la meiosis y la fecundación.

Unidad 5

- 1. Amensalismo (pág. 171):** interacción biológica en la que uno de los organismos se ve perjudicado, mientras que para el otro tiene un efecto neutro, es decir, no se ve ni perjudicado ni beneficiado (interacción -/0).
- 2. Biomasa (pág. 174):** peso seco total de todos los organismos (o de algún grupo de organismos) que viven en un área o hábitat determinado.
- 3. Cadenas tróficas (pág. 172):** son relaciones de consumo entre organismos de distintas especies a través de las cuales fluye la materia y la energía en los ecosistemas.
- 4. Capacidad de carga (pág. 166):** número promedio de individuos de una población determinada que el ambiente puede soportar en un conjunto de condiciones particulares.
- 5. Comensalismo (pág. 171):** interacción biológica en la que uno de los organismos obtiene un beneficio mientras que el otro no se ve ni perjudicado ni beneficiado (interacción +/0).
- 6. Competencia (págs. 166, 171):** interacción entre individuos de la misma población o de dos o más poblaciones que usan el mismo recurso, que frecuentemente existe en cantidades limitadas (interacción -/-).
- 7. Competencia intraespecífica (págs. 166, 168):** corresponde al tipo de competencia que ocurre al interior de una población de organismos de la misma especie.
- 8. Comunidad (págs. 162, 170, 171, 172, 173, 174, 175):** todas las poblaciones de organismos que habitan en un ambiente común y se encuentran en interacción unas con otras.
- 9. Depredación (pág. 171):** interacción trófica en la cual una especie se ve beneficiada (depredador) y la otra se ve perjudicada (presa). La herbivoría y el parasitismo son considerados como casos particulares de depredación, en los que generalmente "la presa" no es consumida en su totalidad (interacción +/-).
- 10. Ecosistema (págs. 162, 175):** corresponde a los individuos de una comunidad y los factores abióticos asociados con los que están en interacción.
- 11. Especie biológica (págs. 162, 164):** grupo de organismos que, en realidad (o potencialmente), se cruzan entre sí en la naturaleza y están aislados reproductivamente de otros grupos similares.
- 12. Huella ecológica (pág. 178):** es una medida indicadora del área biológicamente productiva necesaria para obtener los recursos que una persona o grupo humano consume y absorber los desechos que genera.
- 13. Mutualismo (pág. 171):** interacción biológica entre dos o más organismos. Su asociación les brinda ventajas mutuas (interacción +/+).
- 14. Organismo (págs. 162, 163, 164, 165):** conjunto de seres vivos de un ambiente y unidad básica de interacción ecológica.
- 15. Parasitismo (pág. 171):** interacción biológica entre un organismo (parásito), generalmente más pequeño, que utiliza a otro (hospedero) como fuente de alimento.
- 16. Población (págs. 164, 165, 166, 167, 170):** organismos de una misma especie que viven en un área y tiempo determinados y que comparten ciertas propiedades biológicas.
- 17. Simbiosis (pág. 171):** interacción íntima y prolongada entre dos o más organismos de diferentes especies.
- 18. Trama trófica (pág. 172):** red de interacciones alimentarias que conecta las distintas cadenas tróficas de un ecosistema.

Pauta para el diseño de una investigación

Componentes de un informe

Portada

En la parte superior izquierda debe escribirse el nombre del establecimiento; en el centro de la hoja, el título de la investigación; en el extremo inferior derecho se escriben los datos correspondientes a la asignatura, el nombre del profesor o profesora, los integrantes del equipo, el curso y la fecha.

Introducción

En esta sección se elabora un resumen del trabajo realizado, mencionando el problema de investigación trabajado y la hipótesis que lo conduce.

Desarrollo

Esta es la sección más extensa del informe (y de la actividad), en la que se expone claramente la investigación realizada. En ella se detallan los materiales utilizados y los pasos del procedimiento realizado. Además se incluyen los resultados obtenidos (registrados en tablas o gráficos) y su respectiva interpretación.

Conclusión

En esta sección se relacionan los resultados obtenidos y su interpretación con la hipótesis formulada inicialmente. Estas conclusiones permiten plantear nuevos problemas de investigación o proponer actividades de profundización.

Bibliografía

Corresponde a la lista de textos, páginas webs y/o revistas utilizados para la elaboración del informe. Generalmente, la lista de libros se ordena alfabéticamente, incluyendo: autor, título, capítulo y/o páginas consultadas (tomo y volumen, si es pertinente), editorial, país o ciudad y año de edición.

A continuación te presentamos una pauta referencial para que puedas diseñar las etapas que te permitan resolver las actividades propuestas en las unidades.

Tabla de autocorrección			
Criterio / Indicador	Sí	No	Puntaje
Identificación de un problema u objetivo a resolver: <ul style="list-style-type: none"> - ¿Lo formulé como pregunta? (1) - ¿Mencioné el problema o actividad a resolver? (1) 			2
Definición del problema: <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuáles son las variables del problema seleccionado? (1) - ¿Presenté el contexto del problema? (1) - ¿Busqué otras referencias bibliográficas para apoyar mi trabajo? (1) 			3
Formulación de la hipótesis: <ul style="list-style-type: none"> - ¿Presenté una posible respuesta al problema? (3) - ¿Es verificable? Si es así, ¿cómo? (2) 			5
Comunicación de los resultados: <ul style="list-style-type: none"> - ¿La información está organizada? (1) - Si es pertinente, ¿la información fue presentada en tablas y gráficos que faciliten su interpretación y lectura? (1) - ¿Explicué el significado de los datos obtenidos? (1) - ¿Di respuesta a todas las preguntas? (2) 			5
Elaboración de las conclusiones: <ul style="list-style-type: none"> - ¿Se resuelve el problema planteado? (2) - ¿Se acepta o rechaza la hipótesis? (2) - Si es pertinente, ¿se proponen nuevas interrogantes? (1) 			5
Bibliografía: <ul style="list-style-type: none"> - ¿Entregué la referencia de otras páginas webs? (1) - ¿Corroboré que la información que presentan estas páginas u otros recursos fue la adecuada para obtener los resultados de mi trabajo? (1) 			2

Una vez que cumplas con los indicadores de la pauta anterior, comunica tus resultados en un informe de investigación. ¿Cómo hacerlo? En las actividades de ciencias, nuestro desafío como estudiantes es explorar, hacernos preguntas, experimentar, registrar los resultados obtenidos y elaborar conclusiones a partir de estos, de manera clara y ordenada, en un informe de laboratorio.

¿Qué incluir? Todo trabajo experimental debe incluir como mínimo las siguientes secciones: portada, introducción, desarrollo, conclusiones y bibliografía. La extensión del informe y de cada una de sus secciones varía de acuerdo a cada caso, pero lo ideal es no extenderse más allá de cinco páginas.

Archiva tus informes de laboratorio en una carpeta, ordenándolos secuencialmente. Usa colores para resaltar diferentes conceptos o vocabulario que vayas a usar permanentemente. A final de año podrás ver todos los experimentos que has realizado y evaluar cuánto has avanzado durante el desarrollo de la asignatura.

UNIDAD 1

1. Johnson, G. y Raven, P. (2004). *Biología*. Capítulo 6 (págs. 125-132) y capítulo 7 (págs. 143-154). Estados Unidos: Harcourt Education Company.
2. Purves, W., Sadava, D., Orians, G. y Heller, H. C. (2004). *Vida, la ciencia de la Biología* (6ª ed.). Capítulo 9 (págs. 153-173). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
3. Tortora, G. J. y Derrickson, B. (2006). *Principios de Anatomía y Fisiología*. Capítulo 3 (págs. 93-101). México, D. F.: Editorial Médica Panamericana.

UNIDAD 2

4. Purves, W., Sadava, D., Orians, G. y Heller, H. C. (2004). *Vida, la ciencia de la Biología* (6ª ed.). Capítulo 10 (págs. 174-196). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
5. Sherman, I. y Sherman V. (1987). *Biología. Perspectiva humana*. Capítulo 22 (págs. 439-457). México, D. F.: McGraw-Hill.

UNIDAD 3

6. Alberts, B., Bray, D., Lewis, J., Roberts, K. y Watson, J. (1996). *Biología Molecular de la Célula* (3ª ed.). Capítulo 15 (págs. 771-777). Barcelona: Ediciones Omega.
7. Despopoulos, A. y Silvernagl, S. (2003). *Color Atlas of Physiology* (5ª ed.). Capítulo 11 (págs. 266-273). New York: Thieme.
8. Ganong, W. (2002). *Fisiología médica* (18ª ed.). Capítulos 17 al 24 (págs. 307-510). México: El Manual Moderno.
9. Guyton, A. y Hall, J. (2006). *Textbook of Medical Physiology* (11ª ed.). Capítulos 74 al 80 (págs. 903-1026). Philadelphia: Elsevier.
10. Purves, W., Sadava, D., Orians, G. y Heller, H. C. (2004). *Vida, la ciencia de la biología* (6ª ed.). Capítulos 41 y 42 (págs. 712-749). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
11. Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. (2001). *Biología* (5ª ed.). Capítulo 48 (págs. 1022-1048). México: McGraw-Hill.

UNIDAD 4

12. Boron, W. F. y Boulpaep, E. L. (2005). *Medical Physiology, Updated Edition*. Capítulos 52 a 56 (págs. 1102-1189). Estados Unidos: Elsevier Saunders.
13. Domes, K., Norton, R. A., Maraun, M. y Scheu, S. (2007). Revolution of sexuality breaks Dollo's law. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(17), 7139-7144.
14. Guyton, A. y Hall, J. (2006). *Textbook of Medical Physiology* (11ª ed.). Capítulos 81 y 82 (págs. 1027-1041). Philadelphia: Elsevier.
15. Schulz, K. M. y Sisk, C. L. (2006). Pubertal hormones, the adolescent brain, and the maturation of social behaviors: Lessons from the Syrian hamster. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 254-255, 120-126.
16. Serón-Ferré, M. y Las Heras, J. (1992). *Placenta y anexos embrionarios*. En Pérez, A. y Donoso, E. *Obstetricia*. Capítulo 5 (págs. 83-96). Santiago: Publicaciones Técnicas Mediterráneo.
17. Vigil, P. (2004). *La fertilidad de la pareja humana*. (págs. 63-81). Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
18. Vigil, P., Ceric, F., Cortés, M. E. y Klaus, H. (2006). Usefulness of monitoring fertility from menarche. *Journal of Pediatric and Adolescent Gynecology*, 19(3), 173-179.
19. Vigil, P., Herrera, F., del Río, P., Cortés, M. E. y Fernández, E. (2009). *Para amar y ser amado. Fundamentos para una auténtica educación en el amor*. (págs. 1-90). Santiago: Conferencia Episcopal de Chile & RR Donelley.
20. Vigil, P., Tapia, A., Zacharias, S., Riquelme, R., Salgado, A. M. y Varleta, J. (2002). First-trimester pregnancy loss and active *Chlamydia trachomatis* infection: correlation and ultrastructural evidence. *Andrologia*, 34, 373-378.
21. Vigil, P., Toro, A. y Godoy, A. (2008). Physiological action of oestradiol on the acrosome reaction in human spermatozoa. *Andrologia*, 40(3), 146-151.

UNIDAD 5

22. Audesirk, T. y Audesirk, G. (1997). *Biología, la vida en la Tierra*. Capítulo 17 (págs. 339-341), capítulo 43 (págs. 848-867), capítulo 44 (págs. 870-887) y capítulo 45 (págs. 890-911). México, D. F.: Prentice-Hall.
23. Campbell, N., Mitchell, G. y Reece, B. (2001). *Biología: conceptos y relaciones*. Capítulo 35 (págs. 698-706), capítulo 36 (págs. 714-730) y capítulo 38 (págs. 762-780). México, D. F.: Pearson Educación.
24. Curtis, H. y Barnes, N. S. (2004). *Biología*. Capítulo 52 (págs. 1383-1402), capítulo 53 (págs. 1401-1429), capítulo 54 (págs. 1434-1458) y capítulo 55 (págs. 1460-1482). Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
25. Millenium Ecosystem assessment. (2005). *Ecosystem and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, D. C.: Island Press.