



Biología

OCTAVA EDICIÓN

LA VIDA EN LA TIERRA



AUDESIRK

AUDESIRK

BYERS

Biología

LA VIDA EN LA TIERRA

OCTAVA EDICIÓN

Teresa Audesirk

University of Colorado at Denver and Health Science Center

Gerald Audesirk

University of Colorado at Denver and Health Science Center

Bruce E. Byers

University of Massachusetts, Amherst

TRADUCCIÓN

Augusta Victoria Flores Flores

Traductora profesional

REVISIÓN TÉCNICA

Vicente Gerardo
Hernández Hernández
*Preparatoria de la Universidad
La Salle*

Paula Cortés García
*Colegio Gimnasio del Norte
Bogotá, Colombia*

Víctor Hugo
Blanco Lozano
ITESM Campus Puebla



**AUDESIRK TERESA; AUDESIRK
GERALD; BYERS, BRUCE E.**
Biología: La vida en la Tierra

Pearson Educación de México, 2008

ISBN 978-970-26-1194-3

Área: Ciencias

Formato 21 × 27

Páginas: 1024

Authorized translation from the English Language edition, entitled *Biology: Life on earth with physiology*, 8th Edition by Teresa Audesirk, Gerald Audesirk and Bruce E. Byers, published by Pearson Education Inc., publishing as PRENTICE HALL INC., Copyright ©2008. All rights reserved.

Versión en español de la obra titulada *Biology: Life on earth with physiology*, 8^a edición, de Teresa Audesirk, Gerald Audesirk y Bruce E. Byers, publicada originalmente en inglés por Pearson Education Inc., publicada como PRENTICE HALL INC., Copyright ©2008. Todos los derechos reservados.

ISBN 0-13-195766-X

Esta edición en español es la única autorizada.

Edición en español

Editor: Enrique Quintanar Duarte
e-mail: enrique.quintanar@pearsoned.com
Editor de desarrollo: Felipe Hernández Carrasco
Supervisor de producción: Rodrigo Romero Villalobos

OCTAVA EDICIÓN, 2008

D.R. © 2008 por Pearson Educación de México,
S.A. de C.V.
Atacomulco Núm. 500, 5° Piso
Col. Industrial Atoto
53519, Naucalpan de Juárez, Edo. de México

Cámara Nacional de la Industria Editorial
Mexicana. Reg. Núm. 1031

Prentice Hall es una marca registrada de Pearson
Educación de México, S.A. de C.V.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte
de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o
transmitirse, por un sistema de recuperación de infor-
mación, en ninguna forma ni por ningún medio, sea
electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o elec-
troóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin
permiso previo por escrito del editor.

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión
de uso de este ejemplar requerirá también la autoriza-
ción del editor o de sus representantes.

ISBN 10: 970-26-1194-6

ISBN 13: 978-970-26-1194-3

Impreso en México. *Printed in Mexico.*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 11 10 09 08



Edición en inglés

Editor: Jeff Howard
Development Editor: Anne
Scanlan-Rohrer
Production Editor: Tim
Flem/PublishWare
Media Editor: Patrick Shriner
Executive Managing Editor:
Kathleen Schiaparelli
Editor in Chief of Development:
Carol Trueheart
Media Production: nSight
Managing Editor, Science
Media: Rich Barnes
Director of Marketing: Patrick
Lynch
Marketing Assistant: Jessica
Muraviov
Director of Creative Services:
Paul Belfanti
Creative Director: Juan Lopez
Art Director: John Christiana
Interior Design: Maureen Eide
Cover Designers: Maureen Eide
and John Christiana
Page Composition: PublishWare
Manufacturing Manager: Alexis
Heydt-Long
Buyer: Alan Fischer
Senior Managing Editor, Art
Production and Management:
Patricia Burns
Manager, Production
Technologies: Matthew Haas
Managing Editor, Art
Management: Abigail Bass
Art Development Editor: Jay
McElroy

Art Production Editor: Rhonda
Aversa
Manager, Art Production: Sean
Hogan
Assistant Manager, Art
Production: Ronda Whitson
Illustrations: ESM Art
Production; Lead
Illustrators: Daniel
Knopsnyder, Stacy Smith,
Nathan Storck;
Imagineering;
Stephen Graepel
Cartographer: GeoNova, LLC
Assistant Managing Editor,
Science Supplements: Karen
Bosch
Editorial Assistant: Gina Kayed
Production Assistant: Nancy
Bauer
Director, Image Resource
Center: Melinda Reo
Manager, Rights and
Permissions: Zina Arabia
Interior Image Specialist: Beth
Boyd Brenzel
Cover Image Specialist: Karen
Sanatar
Image Permission Coordinator:
Debbie Latronica
Photo Researcher: Yvonne
Gerin
Cover Photograph: Rockhopper
Penguins; The Neck,
Saunders Island, Falkland
Islands, by Laura Crawford
Williams

**AUDESIRK TERESA; AUDESIRK
GERALD; BYERS, BRUCE E.**
Biología: La vida en la Tierra

Pearson Educación de México, 2008

ISBN 978-970-26-1194-3

Área: Ciencias

Formato 21 × 27

Páginas: 1024

Authorized translation from the English Language edition, entitled *Biology: Life on earth with physiology*, 8th Edition by Teresa Audesirk, Gerald Audesirk and Bruce E. Byers, published by Pearson Education Inc., publishing as PRENTICE HALL INC., Copyright ©2008. All rights reserved.

Versión en español de la obra titulada *Biology: Life on earth with physiology*, 8^a edición, de Teresa Audesirk, Gerald Audesirk y Bruce E. Byers, publicada originalmente en inglés por Pearson Education Inc., publicada como PRENTICE HALL INC., Copyright ©2008. Todos los derechos reservados.

ISBN 0-13-195766-X

Esta edición en español es la única autorizada.

Edición en español

Editor: Enrique Quintanar Duarte
e-mail: enrique.quintanar@pearsoned.com
Editor de desarrollo: Felipe Hernández Carrasco
Supervisor de producción: Rodrigo Romero Villalobos

OCTAVA EDICIÓN, 2008

D.R. © 2008 por Pearson Educación de México,
S.A. de C.V.
Atacomulco Núm. 500, 5° Piso
Col. Industrial Atoto
53519, Naucalpan de Juárez, Edo. de México

Cámara Nacional de la Industria Editorial
Mexicana. Reg. Núm. 1031

Prentice Hall es una marca registrada de Pearson
Educación de México, S.A. de C.V.

Reservados todos los derechos. Ni la totalidad ni parte
de esta publicación pueden reproducirse, registrarse o
transmitirse, por un sistema de recuperación de infor-
mación, en ninguna forma ni por ningún medio, sea
electrónico, mecánico, fotoquímico, magnético o elec-
troóptico, por fotocopia, grabación o cualquier otro, sin
permiso previo por escrito del editor.

El préstamo, alquiler o cualquier otra forma de cesión
de uso de este ejemplar requerirá también la autoriza-
ción del editor o de sus representantes.

ISBN 10: 970-26-1194-6

ISBN 13: 978-970-26-1194-3

Impreso en México. *Printed in Mexico.*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 - 11 10 09 08



Edición en inglés

Editor: Jeff Howard
Development Editor: Anne
Scanlan-Rohrer
Production Editor: Tim
Flem/PublishWare
Media Editor: Patrick Shriner
Executive Managing Editor:
Kathleen Schiaparelli
Editor in Chief of Development:
Carol Trueheart
Media Production: nSight
Managing Editor, Science
Media: Rich Barnes
Director of Marketing: Patrick
Lynch
Marketing Assistant: Jessica
Muraviov
Director of Creative Services:
Paul Belfanti
Creative Director: Juan Lopez
Art Director: John Christiana
Interior Design: Maureen Eide
Cover Designers: Maureen Eide
and John Christiana
Page Composition: PublishWare
Manufacturing Manager: Alexis
Heydt-Long
Buyer: Alan Fischer
Senior Managing Editor, Art
Production and Management:
Patricia Burns
Manager, Production
Technologies: Matthew Haas
Managing Editor, Art
Management: Abigail Bass
Art Development Editor: Jay
McElroy

Art Production Editor: Rhonda
Aversa
Manager, Art Production: Sean
Hogan
Assistant Manager, Art
Production: Ronda Whitson
Illustrations: ESM Art
Production; Lead
Illustrators: Daniel
Knopsnyder, Stacy Smith,
Nathan Storck;
Imagineering;
Stephen Graepel
Cartographer: GeoNova, LLC
Assistant Managing Editor,
Science Supplements: Karen
Bosch
Editorial Assistant: Gina Kayed
Production Assistant: Nancy
Bauer
Director, Image Resource
Center: Melinda Reo
Manager, Rights and
Permissions: Zina Arabia
Interior Image Specialist: Beth
Boyd Brenzel
Cover Image Specialist: Karen
Sanatar
Image Permission Coordinator:
Debbie Latronica
Photo Researcher: Yvonne
Gerin
Cover Photograph: Rockhopper
Penguins; The Neck,
Saunders Island, Falkland
Islands, by Laura Crawford
Williams

La diversidad de las plantas



Esta enorme flor de la *Rafflesia arnoldii* con olor putrefacto es una atracción para quienes visitan los bosques húmedos asiáticos.

21.1 ¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS PLANTAS?

Las plantas son los seres vivos más notorios en casi cualquier paisaje terrestre. A menos que nos encontremos en una región polar, un desolado desierto o una zona urbana densamente poblada, vivimos rodeados de plantas. Las plantas que dominan los bosques, las sabanas, los parques, las praderas, los huertos y las granjas de la Tierra son elementos tan familiares del telón de fondo de nuestra vida cotidiana que tendemos a ignorarlas. Pero si dedicamos un poco de tiempo a observar nuestras verdes compañeras más de cerca, seguramente apreciaremos más las adaptaciones responsables de su éxito y las propiedades que las hacen esenciales para nuestra supervivencia.

¿Qué distingue a los miembros del reino vegetal de otros organismos? Quizá la característica más notable de las plantas es su color verde. El color proviene de la presencia del pigmento de la clorofila en muchos tejidos vegetales. La clorofila desempeña un papel crucial en la fotosíntesis, el proceso por el que las plantas aprovechan la energía de la luz solar para convertir el agua y el dióxido de carbono en azúcares. Sin embargo, la clorofila y la fotosíntesis no son exclusivas de las plantas, ya que también se presentan en muchos tipos de protistas y procariotas. Más bien, el rasgo distintivo de las plantas es su ciclo reproductivo, que se caracteriza por la *alternancia de generaciones*.

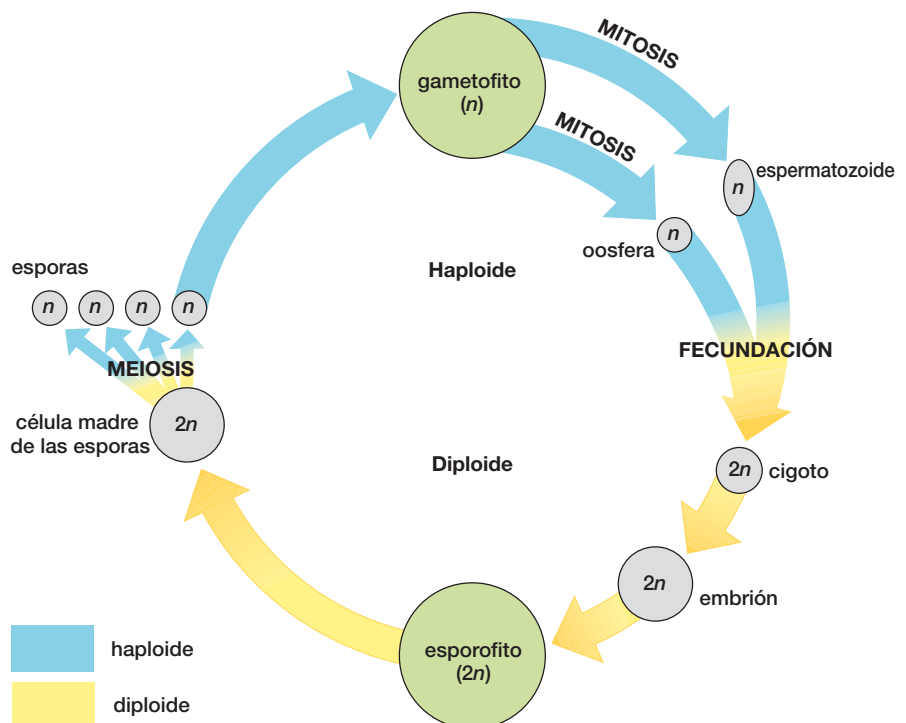
En las plantas se alternan las generaciones multicelulares haploides y diploides

El ciclo vital de las plantas se caracteriza por la *alternancia de generaciones* (FIGURA 21-1), en la que se alternan generaciones diploides y haploides individuales. (Recordemos que un organismo diploide tiene dos juegos de cromosomas; un organismo haploide, un juego). En la generación diploide, el cuerpo de la planta se compone de células diploides y se conoce como **esporofito**. Ciertas células de los esporofitos experimentan meiosis para producir células reproductivas haploides llamadas *esporas*. Estas esporas haploides se desarrollan hasta convertirse en plantas haploides multicelulares llamadas **gametofitos**.

Finalmente, los gametofitos producen *gametos* haploides masculinos y femeninos por mitosis. Los gametos son células reproductivas, al igual que las esporas, pero, a diferencia de estas últimas, un gameto individual por sí solo no puede desarrollarse para convertirse en un nuevo individuo.

FIGURA 21-1 Alternancia de generaciones en las plantas

Como se muestra en esta representación generalizada del ciclo vital de una planta, la generación esporofítica diploide produce esporas haploides por meiosis. Las esporas se desarrollan hasta dar origen a una generación gametofítica haploide que produce gametos haploides por mitosis. El resultado de la fusión de estos gametos es un cigoto diploide que se transforma en la planta esporofítica.



En vez de ello, dos gametos de sexo opuesto deben encontrarse y fusionarse para formar un nuevo individuo. En las plantas, los gametos producidos por gametofitos se fusionan para formar un **cigoto** diploide, que se desarrolla hasta constituir un esporofito diploide, y el ciclo se inicia de nuevo.

Las plantas tienen embriones multicelulares y dependientes

En las plantas, los cigotos se desarrollan en embriones multicelulares que permanecen dentro de la planta progenitora de cuyos tejidos reciben nutrientes. Esto es, el embrión permanece adherido a la planta progenitora y es dependiente de ésta conforme crece y se desarrolla. Tales embriones multicelulares y dependientes no se encuentran entre los protistas fotosintéticos, de manera que esta característica distingue a las plantas de sus más cercanos parientes entre las algas.

Las plantas desempeñan un papel ecológico fundamental

Las plantas proveen alimento, ya sea de forma directa o indirecta, a todos los animales, hongos y microbios no fotosintéticos terrestres. Las plantas utilizan la fotosíntesis para captar la energía solar y convierten parte de esa energía en hojas, retoños, semillas y frutos que sirven de alimento a otros organismos. Muchos de estos consumidores de tejidos vegetales, a la vez, sirven de alimento a otros organismos. Las plantas son los principales proveedores de energía y nutrientes a los ecosistemas terrestres, y toda la vida terrestre depende de la capacidad de las plantas para fabricar alimentos a partir de la luz solar.

Además de su papel como proveedores de alimento, las plantas hacen otras contribuciones esenciales a los demás organismos. Por ejemplo, generan oxígeno como un subproducto de la fotosíntesis y, al hacerlo, reponen continuamente el oxígeno de la atmósfera. Sin la contribución de las plantas,

el oxígeno atmosférico se agotaría rápidamente como resultado de la respiración que consume oxígeno por parte de una multitud de organismos sobre la Tierra.

Las plantas también ayudan a crear y mantener el suelo. Cuando una planta muere, sus tallos, hojas y raíces se convierten en alimento para los hongos, procariotas y otros organismos encargados de la descomposición. Gracias al proceso de descomposición, los tejidos de las plantas se degradan en diminutas partículas de materia orgánica que constituyen parte del suelo. La materia orgánica mejora la capacidad del suelo de retener agua y nutrientes, haciéndolo más fértil y más capaz de contribuir al crecimiento de las plantas vivas. Las raíces de estas últimas ayudan a conservarlas en su lugar y a mantener la consistencia de la tierra. Los suelos de los cuales se ha eliminado la vegetación son susceptibles a la erosión del viento y el agua.

Las plantas satisfacen las necesidades de los humanos y halagan sus sentidos

Todos los habitantes de los ecosistemas terrestres dependen de las contribuciones de las plantas, pero la dependencia de los seres humanos en relación con las plantas es especialmente notoria. Sería difícil exagerar el grado en que las poblaciones humanas dependen de las plantas. Ni la explosión demográfica ni nuestro rápido avance tecnológico serían posibles sin las plantas.

Las plantas proveen refugio, combustible y medicinas

Las plantas son el origen de la madera que se utiliza para construir casas para una gran parte de la población humana. Durante buena parte de la historia de la humanidad, la madera fue también el principal combustible para calentar los hogares y para cocinar. La madera sigue siendo el combustible más importante en muchos lugares del mundo. El carbón, otro combustible importante, se compone de los restos de plantas antiguas que se han transformado como resultado de procesos geológicos.

Las plantas también suministran muchos medicamentos de los que depende el cuidado de la salud en la actualidad. Medicamentos importantes que originalmente se encontraron y se extrajeron de las plantas incluyen la aspirina, el medicamento para el corazón llamado digitalina, el Taxol® y la vinblastina, que se utilizan en el tratamiento contra el cáncer; la quinina, que combate la malaria, así como los analgésicos codeína y morfina, entre muchos otros medicamentos.

Además de extraer sustancias útiles de las plantas silvestres, los humanos han domesticado una multitud de especies vegetales útiles. A través de generaciones de cruce selectiva, los humanos han modificado las semillas, los tallos, las raíces, las flores y los frutos de especies seleccionadas para obtener alimento y fibra. Es difícil imaginar la vida sin el maíz, el arroz, las papas, las manzanas, los tomates, el aceite para cocinar, el algodón y la infinidad de alimentos básicos que las plantas domésticas nos suministran.

Las plantas brindan placer

A pesar de las obvias contribuciones de las plantas al bienestar de los seres humanos, nuestra relación con ellas parece estar basada en algo más profundo que en su capacidad para ayudarnos a satisfacer nuestras necesidades materiales. Aunque apreciamos el valor práctico del trigo y la madera, nues-

tras conexiones emocionales más poderosas con las plantas son puramente sensuales. Muchos de los placeres de la vida llegan a nosotros por cortesía de nuestras compañeras las plantas. Nos deleitamos con la belleza y la fragancia de las flores y las presentamos a otros como símbolo de nuestras emociones más sublimes e inefables. Muchos de nosotros dedicamos horas enteras de nuestro tiempo de ocio a cuidar de los jardines y céspedes, sin otra recompensa que el placer y la satisfacción que obtenemos al observar los frutos de nuestro trabajo. En nuestras casas, reservamos un espacio no sólo para los miembros de la familia, sino también para las plantas. Nos sentimos impulsados a alinear las calles con árboles y buscamos refugio del estrés de la vida cotidiana en parques con abundante vegetación. Nuestras mañanas se enriquecen con el aroma del café o el té y nuestras noches con un buen vaso de vino. Es evidente que las plantas nos ayudan a cumplir nuestros deseos, tanto como nuestras necesidades.

21.2 ¿CUÁL ES EL ORIGEN EVOLUTIVO DE LAS PLANTAS?

Los ancestros de las plantas fueron protistas fotosintéticos, que muy probablemente eran similares a las algas que conocemos en la actualidad. Al igual que las algas modernas, los organismos que dieron origen a las plantas carecían de raíces, tallos y hojas verdaderas, y también de estructuras reproductoras complejas como flores o conos. Todas estas características aparecieron en una etapa más tardía de la historia evolutiva de las plantas. (FIGURA 21-2).

Las algas verdes dieron origen a las plantas terrestres

De los diferentes grupos de algas actuales, las verdes son probablemente las que más se asemejan a las plantas ancestrales. Esta suposición se basa en la estrecha relación filogenética entre los dos grupos. Las comparaciones de DNA han mostrado que las algas verdes son los parientes vivos más próximos de las plantas, y la hipótesis de que las plantas terrestres evolucionaron a partir de algas verdes ancestrales también recibe apoyo de otro tipo de evidencias. Por ejemplo, las algas verdes y las plantas utilizan el mismo tipo de clorofila y de pigmentos auxiliares en la fotosíntesis. Además, tanto las plantas como las algas verdes almacenan alimento en forma de almidón y sus paredes celulares están constituidas de celulosa. En contraste, los pigmentos fotosintéticos, las moléculas de almacenamiento de alimentos y las paredes celulares de otros protistas fotosintéticos, como las algas rojas y las pardas, difieren de los de las plantas.

Los ancestros de las plantas vivieron en aguas dulces

La mayoría de las algas verdes viven principalmente en aguas dulces, lo que sugiere que la historia evolutiva primitiva de las plantas tuvo lugar en entornos de agua dulce. En contraste con las condiciones ambientales casi constantes del océano, los cuerpos de agua dulce son sumamente variables. La temperatura del agua fluctúa con las estaciones o incluso diariamente, y los niveles variables de precipitación pluvial y de evaporación dan origen a fluctuaciones en la concentración de sustancias químicas, o incluso a periodos en los que el hábitat acuático se seca. Las antiguas algas verdes de agua dulce deben haber adquirido por evolución características que



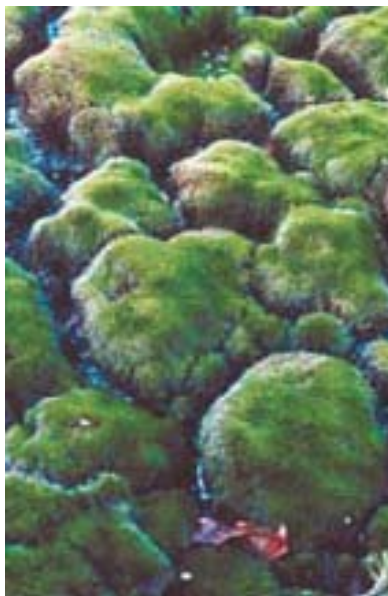
a)



b)



c)



d)

FIGURA 21-3 Briofitas

Las plantas que se observan aquí miden menos de un centímetro de altura. **a)** Los esporofitos en forma de cuerno de las antocerotas crecen hacia arriba a partir de los arquegonios que se encuentran dentro del cuerpo del gametofito. **b)** Las hepáticas crecen en zonas sombreadas y húmedas. Esta es la planta gametofítica hembra, con arquegonios en forma de sombrilla que contienen las oosferas. Los espermatozoides deben subir nadando por los “tallos” en una película de agua para fecundar las oosferas. **c)** Plantas de musgo en las que se observan los “tallos” con las cápsulas que contienen las esporas. **d)** Esteras del musgo *Sphagnum* cubren las ciénagas en regiones septentrionales. **PREGUNTA:** ¿Por qué las briofitas son tan pequeñas?

que la hace muy útil como abono de la tierra y como material de empaque para transportar plantas vivas.

Las estructuras reproductoras de las briofitas están protegidas

Entre las características de las briofitas que representan adaptaciones a la vida terrestre se cuentan sus estructuras reproductoras protegidas, que evitan que los gametos se sequen. Estas estructuras son de dos tipos: los **arquegonios**, donde se desarrollan las oosferas, y los **anteridios**, donde se forman los espermatozoides (FIGURA 21-4). En ciertas especies de briofitas, una misma planta tiene tanto arquegonios

como anteridios; en otras especies, cada planta individual es masculina, o bien, femenina.

En todas las briofitas el espermatozoide debe nadar hacia la oosfera —que emite una sustancia química atrayente—, a través de una película de agua. (En el caso de las briofitas que habitan en zonas más secas, su reproducción debe coincidir con la temporada de lluvias). La oosfera fecundada permanece en el arquegonio, donde el embrión crece y madura para convertirse en un pequeño esporofito diploide, que se queda adherido a la planta gametofítica progenitora. En la madurez, el esporofito produce esporas haploides por meiosis dentro de una cápsula. Cuando ésta se abre, las esporas son liberadas

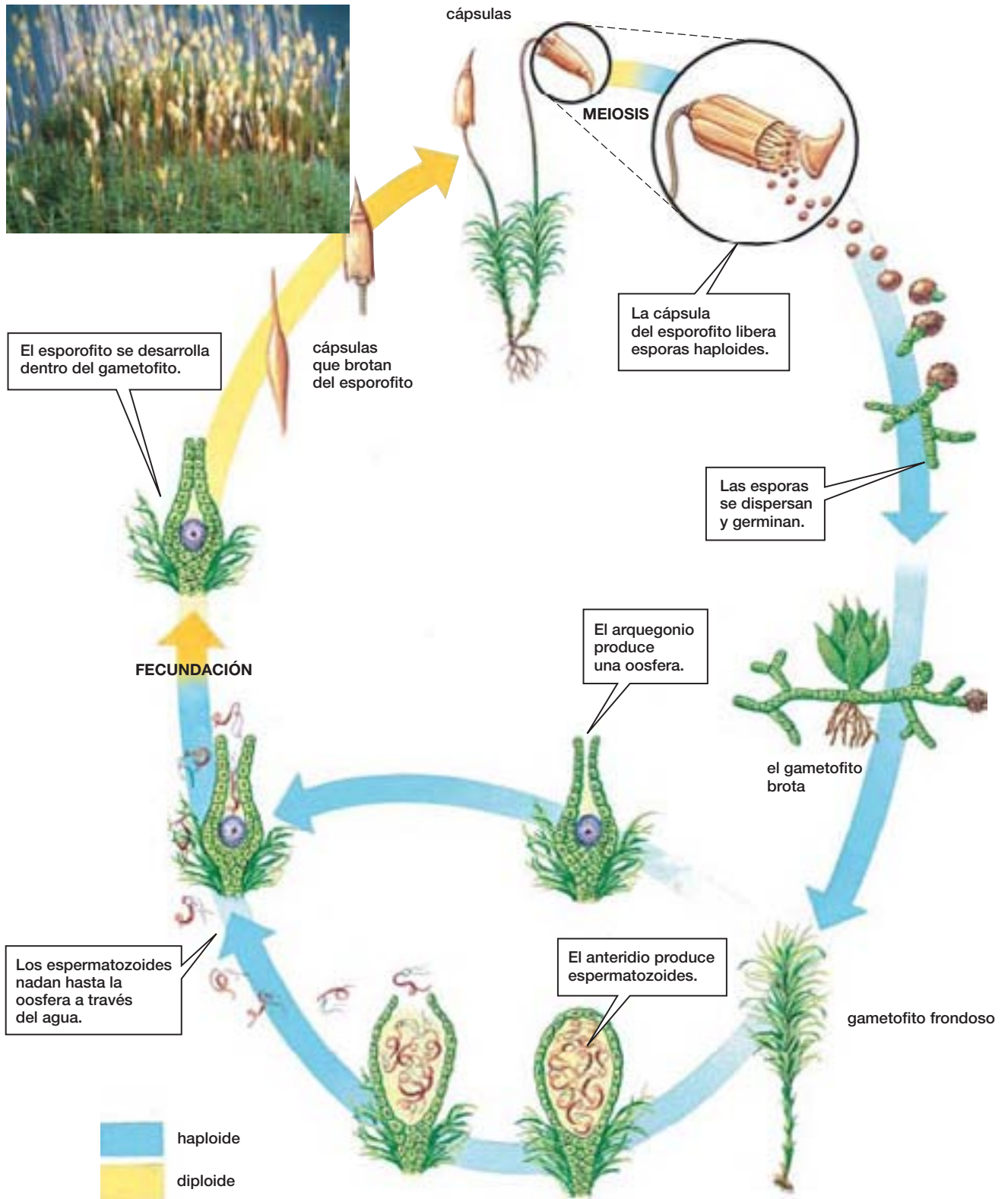


FIGURA 21-4 Ciclo vital de un musgo

El gametofito verde frondoso (abajo a la derecha) es la generación haploide que produce espermatozoides y oosferas. Los espermatozoides deben nadar por una película de agua para llegar a la oosfera. El cigoto se desarrolla hasta convertirse en un esporofito diploide con tallo que emerge de la planta gametofítica. El esporofito tiene como remate una cápsula de color marrón donde se producen esporas haploides por meiosis. Éstas se dispersan y germinan para producir otra generación de gametofitos verdes. (Imagen en recuadro) Plantas de musgo. Las plantas verdes, cortas y frondosas son los gametofitos haploides; los tallos de color marrón rojizo son esporofitos diploides.

y dispersadas por el viento. Si una espora cae en un ambiente adecuado, se desarrollará hasta formar otra planta gametofítica haploide.

Las plantas vasculares tienen vasos conductores que también brindan sostén

Las plantas vasculares se distinguen por poseer unos grupos especializados de células conductoras llamadas **vasos**. Los vasos están impregnados de la sustancia endurecedora llamada lignina y desempeñan funciones tanto de sostén como de conducción. Los vasos permiten que las plantas vasculares alcancen mayor altura que las no vasculares, no sólo porque la lignina brinda sostén adicional, sino también porque las células conductoras transportan el agua y los nutrimentos absorbidos por las raíces hacia la parte superior de la planta. Otra diferencia entre las plantas vasculares y las briofitas es que en las primeras, el esporofito diploide es la estructura más grande y notoria; en las plantas no vasculares, el gametofito haploide es más evidente.

Las plantas vasculares se clasifican en dos grupos: las que tienen semillas y las que carecen de ellas.

Las plantas vasculares sin semilla incluyen los licopodios, las colas de caballo y los helechos

Al igual que las briofitas, las plantas vasculares sin semilla tienen espermatozoides que nadan y requieren de un medio acuático para reproducirse. Como indica su nombre, no producen semillas, pues se reproducen mediante esporas. Las plantas actuales sin semilla—licopodios, colas de caballo y helechos—son mucho más pequeñas que sus ancestros, que dominaron el paisaje de nuestro planeta en el periodo carbonífero (que se inició hace unos 350 millones de años y concluyó hace 290 millones de años). En la actualidad quemamos los cuerpos de estas ancestrales plantas vasculares sin semilla—transformados por el calor, la presión y el tiempo— en forma de carbón mineral. Las plantas vasculares sin semilla dominaron alguna vez, pero actualmente son las plantas con semilla, más versátiles, las que ocupan el papel predominante.

Los licopodios y las colas de caballo son pequeños y poco notorios

Los representantes modernos de los licopodios apenas alcanzan unos cuantos centímetros de altura (**FIGURA 21-5a**). Sus hojas son pequeñas y con apariencia de escamas, semejantes a las estructuras con forma de hojas de los musgos. Los licopodios del género *Lycopodium*, comúnmente conocidos como pinillos, constituyen una hermosa cubierta del suelo en algunos bosques templados de coníferas y plantas caducifolias.

Las colas de caballo modernas pertenecen a un solo género, *Equisetum*, que comprende solamente 15 especies, en su mayoría de menos de un metro de altura (**FIGURA 21-5b**). El nombre común de cola de caballo se debe a las frondosas ramas de ciertas especies; las hojas se reducen a pequeñísimas escamas sobre las ramas. También se les conoce como “juncos para fregar”, porque los primeros colonizadores europeos de América del Norte las usaban para lavar cazuelas y pisos. Todas las especies de *Equisetum* tienen gran cantidad de sílice (vidrio) depositada en su capa celular externa, lo que les confiere una textura abrasiva.

Los helechos tienen hojas anchas y son más diversos

Los helechos, con 12,000 especies, son las plantas vasculares sin semilla más diversas (**FIGURA 21-5c**). En los trópicos, los helechos arborescentes todavía alcanzan alturas que recuerdan las de sus antepasados del periodo carbonífero (**FIGURA 21-5d**). Los helechos son las únicas plantas vasculares sin semilla con hojas anchas.

En los helechos, las esporas haploides se producen en estructuras llamadas *esporangios*, que se forman en hojas especiales del esporofito (**FIGURA 21-6**). El viento dispersa las esporas y éstas dan origen a diminutas plantas gametofíticas haploides que producen espermatozoides y oosferas. La generación gametofítica conserva dos rasgos que recuerdan a las briofitas. En primer lugar, los pequeños gametofitos carecen de vasos conductores; en segundo, al igual que en el caso de las briofitas, el espermatozoide debe nadar por el agua para alcanzar la oosfera.

Las plantas con semilla dominan la Tierra con la ayuda de dos adaptaciones importantes: el polen y las semillas

Las plantas con semilla se distinguen de las briofitas y de las plantas vasculares sin semilla porque producen polen y semillas. Los granos de **polen** son estructuras diminutas que portan las células productoras de espermatozoides y que son dispersadas por el viento o por animales polinizadores, como las abejas. De esta forma, los espermatozoides viajan a través del aire para fecundar las oosferas. Así que la distribución de las plantas con semilla no está limitada por la necesidad de agua como medio para que los espermatozoides naden hasta la oosfera; las plantas con semilla están plenamente adaptadas a la vida en tierra seca.

De forma análoga a lo que sucede en los huevos de aves y reptiles, las **semillas** se componen de una planta embrionaria, una provisión de alimento para el embrión y una cubierta protectora exterior (**FIGURA 21-7**). La *cubierta de la semilla* mantiene al embrión en un estado de animación suspendida o letargo hasta que las condiciones sean idóneas para el crecimiento. El alimento almacenado sustenta a la planta recién nacida hasta que sus raíces y hojas se desarrollan y es capaz de elaborar su propio alimento mediante fotosíntesis. Algunas semillas poseen adaptaciones complejas que hacen posible su dispersión por medio del viento, el agua y los animales.

En las plantas con semilla, los gametofitos (que producen las células sexuales) son de tamaño diminuto. El gametofito femenino es un pequeño grupo de células haploides que producen una oosfera. El gametofito masculino es el grano de polen.

Las plantas con semilla se agrupan en dos tipos generales: **1.** las *gimnospermas*, que carecen de flores, y **2.** las *angiospermas*, las plantas que dan flores.

Las gimnospermas son plantas con semilla que carecen de flores

Las **gimnospermas** aparecieron antes que las plantas con flor. Las primeras gimnospermas coexistieron con los bosques de plantas vasculares sin semilla que dominaron en el periodo carbonífero. Sin embargo, durante el periodo pérmico que siguió (el cual se inició hace 290 millones de años y concluyó hace 248 millones de años), las gimnospermas fueron el gru-



a)



c)



b)



d)

FIGURA 21-5 Algunas plantas vasculares sin semilla

Las plantas vasculares sin semilla se dan en ambientes boscosos húmedos. **a)** Los licopodios (también conocidos como pinillos) crecen en los bosques templados. Este espécimen está liberando esporas. **b)** La cola de caballo gigante extiende ramas largas y angostas en una serie de rosetones. Sus hojas se han reducido a escamas insignificantes. A la derecha se observa una estructura cónica formadora de esporas. **c)** Las hojas de este helecho del monte brotan de las estructuras con forma de mangos de violín enroscados. **d)** Aunque la mayoría de las especies de helechos son pequeñas, algunas, como este árbol de helecho, conservan las enormes dimensiones que eran comunes entre los helechos del periodo carbonífero. **PREGUNTA:** En cada una de estas fotografías, la estructura que se observa ¿es un esporofito o un gametofito?

po predominante de plantas hasta que surgieron las plantas con flores, más de 100 millones de años después. A pesar de su éxito, la mayoría de aquellas primeras gimnospermas ahora están extintas. En la actualidad sobreviven cuatro *fila* de gimnospermas: ginkgos, cicadáceas, gnetofitas y coníferas.

Sólo sobrevive una especie de ginkgo

Los ginkgos probablemente tienen una larga historia evolutiva, y se diseminaron ampliamente durante el periodo jurásico, que comenzó hace 208 millones de años. Sin embargo, en

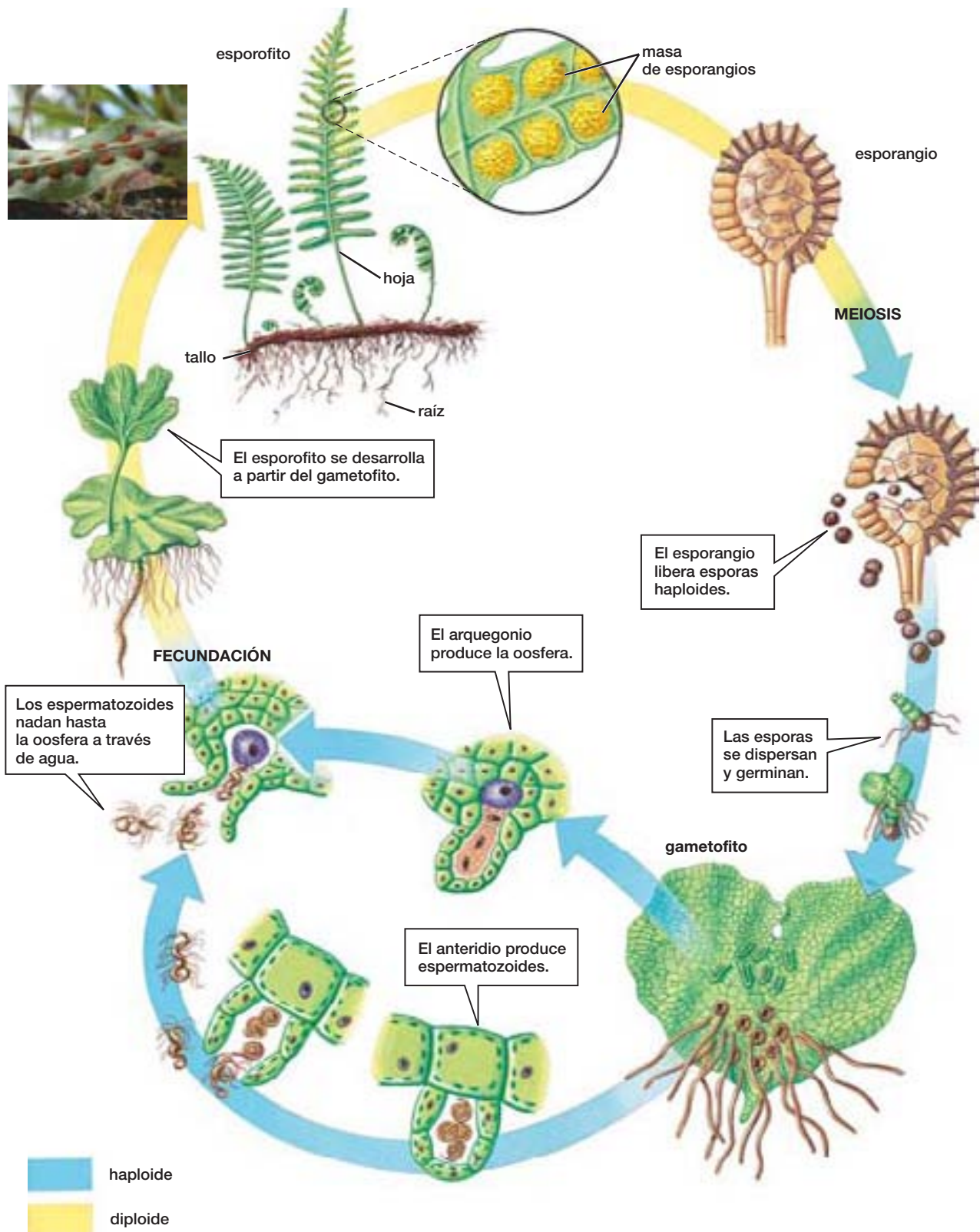
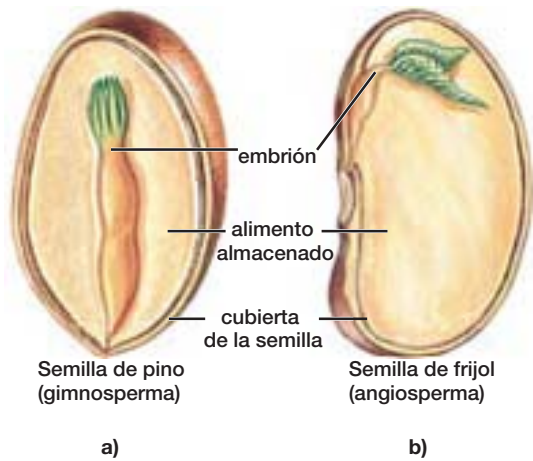


FIGURA 21-6 Ciclo vital de un helecho

El cuerpo de la planta dominante (arriba a la izquierda) es el esporofito diploide. El viento dispersa las esporas haploides —formadas en los esporangios situados en el envés de ciertas hojas—, que germinan en el suelo húmedo del bosque y se transforman en plantas gametofíticas haploides, las cuales pasan desapercibidas. En la superficie inferior de estos pequeños gametofitos con forma de lámina, los anteridios masculinos y los arquegonios femeninos producen espermatozoides y oosferas. Los espermatozoides deben nadar hasta la oosfera, que permanece en el arqueogonio. El cigoto se desarrolla hasta convertirse en una planta esporofítica grande. (Imagen en recuadro) Envés de una hoja de helecho, donde se observan grupos de esporangios.

**FIGURA 21-7 Semillas**

Semillas de **a)** una gimnosperma y **b)** una angiosperma. Ambas se componen de una planta embrionaria y alimento almacenado encerrado en la cubierta de la semilla. Las semillas presentan diversas adaptaciones con el fin de dispersarse; por ejemplo, **c)** las pequeñísimas semillas del diente de león, que flotan en el aire, y **d)** las enormes semillas acorazadas (protegidas dentro del fruto) del cocotero, que sobreviven a la inmersión prolongada en agua de mar durante sus travesías por el océano. **PREGUNTA:** ¿Podrías mencionar algunas adaptaciones que ayudan a proteger las semillas de la destrucción por parte de los animales que las consumen?

**c)****d)**

la actualidad están representados por una única especie, el *Ginkgo biloba*, también conocido como árbol del cabello de Venus. Los ginkgos son masculinos o femeninos; los árboles femeninos producen semillas carnosas, del tamaño de una cereza y de olor fétido (**FIGURA 21-8a**). Los ginkgos se han conservado por cultivo, especialmente en Asia; de no ser por este cultivo, quizá ya se habrían extinguido. Puesto que son más resistentes a la contaminación que casi todos los demás árboles, se han plantado ginkgos (normalmente árboles masculinos) en muchas ciudades estadounidenses. En tiempos recientes las hojas del ginkgo han ganado fama como remedio herbolario para mejorar la memoria.

Las cicadáceas se restringen a los climas cálidos

Al igual que los ginkgos, las cicadáceas fueron diversas y abundantes durante el periodo jurásico, pero desde entonces sus poblaciones han disminuido. En la actualidad existen aproximadamente 160 especies, la mayoría de las cuales habitan en climas tropicales o subtropicales. Las cicadáceas tienen hojas grandes y finamente divididas; se parecen superficialmente a las palmeras o grandes helechos (**FIGURA 21-8b**). En su mayoría, las cicadáceas alcanzan aproximadamente un metro de altura, pero algunas especies pueden llegar a medir 20 metros. Las cicadáceas crecen con lentitud y viven largo tiempo; un espécimen australiano tiene una edad estimada de 5000 años.

Los tejidos de las cicadáceas contienen potentes toxinas; a pesar de ello, la gente en algunas partes del mundo utiliza las semillas, tallos y raíces como alimento. Una preparación cuidadosa permite eliminar las toxinas antes de que las plantas

se consuman. No obstante, se piensa que las toxinas de las cicadáceas son la causa de problemas neurológicos que se presentan con cierta frecuencia en las poblaciones que consumen estas plantas. Las toxinas de las cicadáceas también pueden dañar al ganado que pasta.

Casi la mitad de todas las especies de cicadáceas se encuentra en peligro de extinción. Las principales amenazas para estas plantas son la destrucción del hábitat, la competencia de nuevas especies y la recolección de los cultivos con fines comerciales. Un espécimen de gran tamaño de una cicadácea poco común llega a venderse en miles de dólares. Como las cicadáceas crecen muy lentamente, la recuperación de las poblaciones en peligro de extinción es incierta.

Las gnetofitas incluyen la *Welwitschia*

Las gnetofitas incluyen unas 70 especies de arbustos, parras y pequeños árboles. Las hojas de las especies de gnetofitas del género *Ephedra* contienen compuestos alcaloides que actúan en los seres humanos como estimulantes y supresores del apetito. Por esta razón, la *Ephedra* se utiliza ampliamente para aumentar la energía y como un agente para perder peso. Sin embargo, luego de los reportes de muerte súbita entre los consumidores de *Ephedra* y de la publicación de varios estudios que vinculan su consumo con el aumento del riesgo de sufrir problemas cardíacos, la Agencia de Fármacos y Alimentos (Food and Drug Administration, FDA) de Estados Unidos prohibió la venta de productos que contienen *Ephedra*.

La gnetofita *Welwitschia mirabilis* está entre las plantas más distintivas (**FIGURA 21-8c**). La *Welwitschia*, que se encuentra sólo en los desiertos extremadamente secos del sur de



a)



b)



c)



d)

FIGURA 21-8 Gimnospermas

a) Este ginkgo, o árbol del cabello de Venus, es hembra y tiene semillas carnosas del tamaño de cerezas grandes. b) Una cicadácea. Estas plantas fueron comunes en la era de los dinosaurios, pero en la actualidad sólo existen unas 160 especies. Al igual que los ginkgos, las cicadáceas tienen diferentes sexos. c) Las hojas de la gnetofita *Welwitschia* pueden tener cientos de años. d) Las hojas en forma de aguja de las coníferas están protegidas por una capa superficial de cera.

África, tiene una raíz primaria que alcanza profundidades de hasta 30 metros por debajo del nivel del suelo. Sobre la superficie, la planta tiene un tallo fibroso. Dos (y sólo dos) hojas crecen a partir del tallo y jamás son sustituidas por otras, sino que permanecen en la planta durante toda la vida de ésta, que puede llegar a ser muy larga. La *Welwitschia* más antigua tiene más de 2000 años, y el ciclo vital típico de uno de estos ejemplares dura unos 1000 años. Las hojas en forma de tira continúan creciendo durante todo ese tiempo, por lo que se extienden profusamente sobre el suelo. Las porciones más antiguas de las hojas, azotadas por el viento durante siglos, a menudo se rompen, lo que confiere a la planta su característica apariencia retorcida y raída.

Las coníferas están adaptadas a climas fríos

Aunque los otros *fila* de las gimnospermas han reducido drásticamente su prominencia de otros tiempos, las **coníferas** aún dominan vastas zonas de nuestro planeta. Las coníferas, que incluyen los pinos, los abetos, las píceas, las cicutas y los cipreses, son más abundantes en las frías latitudes septentrionales y a grandes alturas, donde las condiciones son de clima seco. En estas regiones la lluvia es escasa y, además, el agua del suelo permanece congelada y no se encuentra disponible durante los largos inviernos.

Las coníferas se han adaptado a condiciones de frío y sequedad de diversas formas. En primer lugar, las coníferas conservan sus hojas verdes durante todo el año, lo que les permite continuar fotosintetizando y creciendo lentamente en épocas en que casi todas las demás plantas se aletargan. Por esta razón, suele describirse a las coníferas como plantas perennifolias. En segundo lugar, las hojas de las coníferas son en realidad agujas delgadas cubiertas con una cutícula gruesa cuya reducida superficie impermeable reduce al mínimo la evaporación (**FIGURA 21-8d**). Por último, la savia de las coníferas contiene un “anticongelante” que les permite continuar transportando nutrimentos a temperaturas por debajo del punto de congelación. Esta sustancia les confiere su fragante aroma “a pino”.

Las semillas de las coníferas se desarrollan en conos

La reproducción es similar en todas las coníferas, así examinaremos el ciclo reproductivo del pino (**FIGURA 21-9**). El árbol mismo es el esporofito diploide, en el que se desarrollan conos tanto masculinos como femeninos. Los conos masculinos son relativamente pequeños (normalmente de unos dos centímetros o menos) y de estructura delicada; durante la temporada reproductiva liberan nubes de polen y luego se desintegran. Estas nubes de polen son inmensas; inevitablemen-

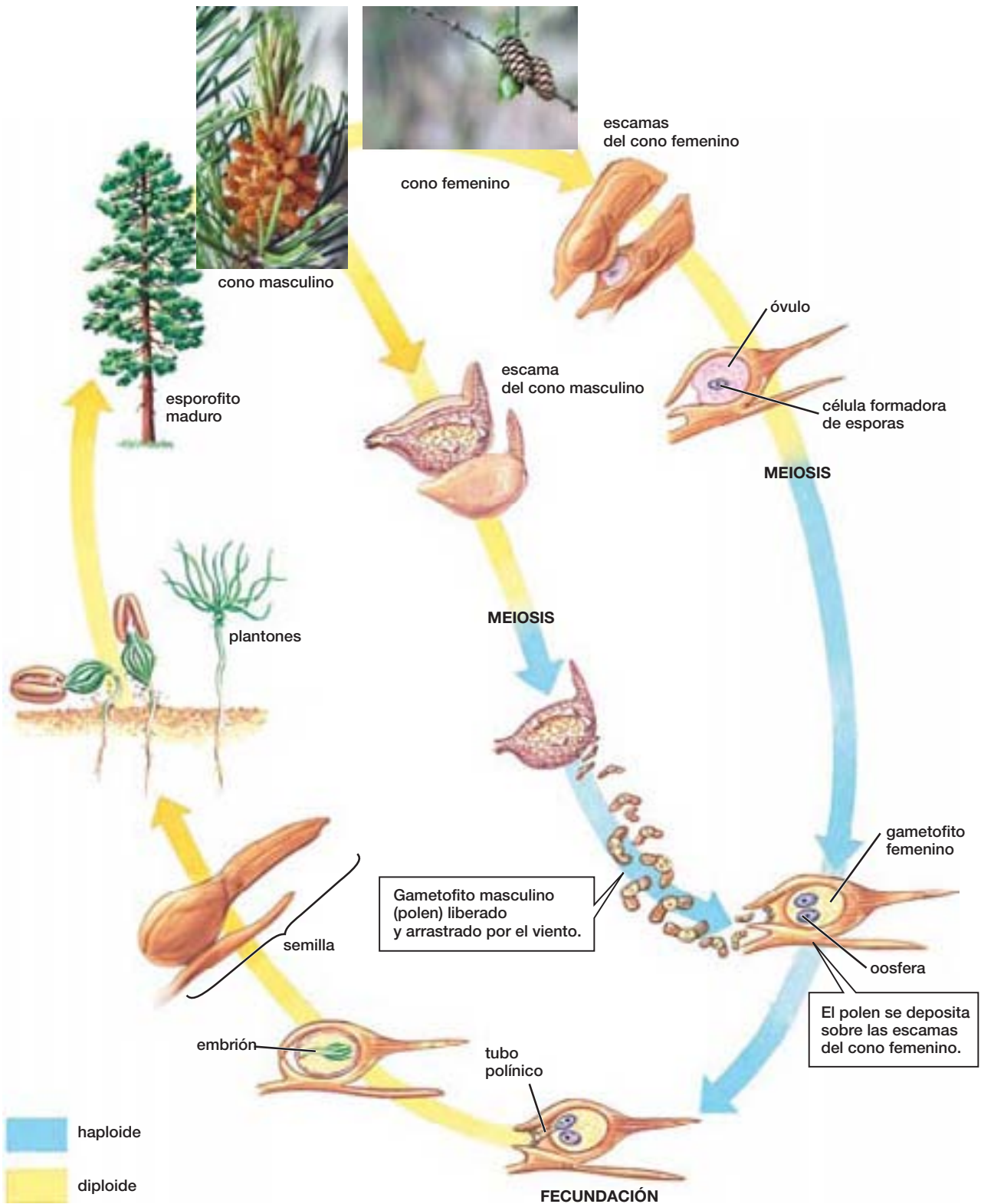


FIGURA 21-9 Ciclo vital del pino

El pino es la generación esporofítica (arriba a la izquierda) que posee conos tanto masculinos como femeninos. Los gametofitos haploides femeninos se desarrollan dentro de las escamas de los conos femeninos y producen oosferas. Los conos masculinos producen polen, es decir, gametofitos masculinos. Un grano de polen, dispersado por el viento, se deposita en las escamas de un cono femenino. Del grano de polen crece un tubo polínico que penetra en el gametofito femenino y conduce los espermatozoides hacia la oosfera. La oosfera fecundada se transforma en una planta embrionaria encerrada en una semilla. Finalmente, la semilla se desprende del cono, germina y crece hasta convertirse en un árbol esporofítico.

te, algunos granos de polen se depositan de manera fortuita sobre un cono femenino.

Cada cono femenino consiste en una serie de escamas leñosas dispuestas en espiral en torno a un eje central. En la base de cada escama hay dos **óvulos** (semillas inmaduras), en cuyo interior se forman células esporíferas diploides que experimentan meiosis para formar gametofitos femeninos haploides. Estos gametofitos se desarrollan y producen oosferas. Si un grano de polen proveniente de un cono masculino cae en las cercanías, envía un tubo polínico que se introduce poco a poco en el gametofito femenino. Al cabo de casi 14 meses, el tubo alcanza finalmente la oosfera y libera al espermatozoide que la fecunda. La oosfera fecundada queda encerrada en una semilla a medida que se desarrolla hasta formar una pequeñísima planta embrionaria. La semilla queda en libertad cuando el cono madura y sus escamas se separan.

Las angiospermas son plantas con semilla que dan flores

Las plantas con flor modernas, o **angiospermas**

FIGURA 21-10a) hasta el imponente árbol de eucalipto (**FIGURA 21-10b**), de más de 100 metros de altura. Desde el cactus del desierto hasta las orquídeas tropicales, los pastos y el muérdago parásito, las angiospermas dominan el reino vegetal.

Las flores atraen a los polinizadores

Tres adaptaciones principales han contribuido al enorme éxito de las angiospermas: las flores, los frutos y las hojas anchas. Las **flores**, que son las estructuras en donde se forman los gametofitos tanto masculinos como femeninos, tal vez surgieron cuando una gimnosperma ancestral formó una asociación con animales (probablemente insectos) que transportaban su polen de una planta a otra. Según esta hipótesis, la relación entre estas antiguas gimnospermas y sus polinizadores animales fue tan provechosa, que la selección natural favoreció la evolución de vistosas flores que anunciaban la presencia de polen a los insectos y otros animales (**FIGURA 21-10b, e**). Los animales se beneficiaban al comer parte del polen, rico en proteína, en tanto que las plantas se beneficiaban del transporte involuntario de polen de una a otra por parte de los animales. Con esta ayuda, las plantas con flor ya no necesitaban producir cantidades enormes de polen y depender de los caprichosos vientos para asegurar la fecundación. Sin embargo, también existen muchas angiospermas que se polinizan a través del viento (**FIGURA 21-10c, d**).

En el ciclo vital de las angiospermas (**FIGURA 21-11**), las flores se desarrollan en la planta esporófitica dominante. Los gametofitos masculinos (polen) se forman en el interior de una estructura denominada *antera*; el gametofito femenino se desarrolla a partir de un óvulo, dentro de la parte de la flor conocida como *ovario*. La oosfera, por su parte, se desarrolla en el interior del gametofito femenino. Se produce la fecundación cuando el polen forma un tubo a través del *estigma*, una estructura pegajosa de la flor que atrapa el polen, y perfora para alcanzar el interior del óvulo, donde el cigoto se desarrolla hasta convertirse en un embrión encerrado en una semilla que se forma a partir del óvulo.

Los frutos propician la dispersión de las semillas

El ovario, que envuelve a la semilla de una angiosperma, madura hasta transformarse en un **fruto**, la segunda adaptación que ha contribuido al éxito de estas plantas. Así como las flores atraen a los animales para que transporten polen, también muchos frutos los tientan para que dispersen las semillas. Si un animal come un fruto, muchas de las semillas que éste contiene recorren el tubo digestivo del animal sin sufrir daño, para después caer, con suerte, en un lugar idóneo para su germinación. Sin embargo, no todos los frutos dependen de su carácter comestible para dispersarse. Como bien lo saben los dueños de perros, por ejemplo, ciertos frutos, llamados *abrojos*, se dispersan aferrándose al pelaje de los animales. Otros, como los frutos de los arces, por ejemplo, desarrollan alas que transportan la semilla por el aire. La variedad de mecanismos de dispersión que han desarrollado los diversos frutos ayuda a las angiospermas a invadir prácticamente todos los hábitat terrestres posibles.

Las hojas anchas captan más luz solar

Una tercera característica que confiere a las angiospermas una ventaja adaptativa en climas más cálidos y húmedos las constituyen las hojas anchas. Cuando hay agua en abundancia, como ocurre durante la temporada calurosa de crecimiento en los climas templados y tropicales, las hojas anchas representan una ventaja porque captan más luz solar para la fotosíntesis. En regiones donde las condiciones de crecimiento varían con las estaciones, muchos árboles y arbustos pierden sus hojas durante los periodos de escasez de agua porque así se reduce la pérdida de ésta por evaporación. En los climas templados estos periodos se presentan en otoño e invierno, época en que prácticamente todos los árboles y arbustos angiospermos de estos climas pierden sus hojas. En las regiones tropicales y subtropicales casi todas las angiospermas son perennifolias, pero las especies que habitan en ciertos climas tropicales, donde es común que haya periodos de sequía, pueden perder sus hojas para conservar el agua durante la estación seca.

Las ventajas de las hojas anchas tienen ciertos costos evolutivos. En particular, las hojas tiernas y anchas son mucho más atractivas para los herbívoros que las agujas duras y ceras de las coníferas. En consecuencia, las angiospermas han creado diversas defensas contra los mamíferos e insectos herbívoros. Estas adaptaciones incluyen defensas físicas como pinchos, espinas y resinas que endurecen las hojas. Pero la lucha evolutiva por la supervivencia también ha dado origen a una multitud de defensas químicas, esto es, compuestos que hacen a la planta tóxica o desagradable para los depredadores potenciales. Muchos de los compuestos que constituyen la defensa química tienen propiedades que los seres humanos hemos explotado con fines medicinales y culinarios. Medicamentos como la aspirina y la codeína, estimulantes como la nicotina y la cafeína, y condimentos como la mostaza y la menta, provienen de plantas angiospermas.

Las plantas que evolucionaron más recientemente tienen gametofitos más pequeños

La historia evolutiva de las plantas ha estado marcada por la tendencia de que la generación esporófitica se vuelva cada vez más prominente y la longevidad y el tamaño de la genera-

a)



c)



b)



d)



e)



FIGURA 21-10 Angiospermas

a) La angiosperma más pequeña es la lenteja de agua que flota en los estanques. Estos especímenes miden alrededor de 3 milímetros de diámetro. **b)** Las angiospermas más grandes son los eucaliptos, que alcanzan hasta más de 100 metros de altura. Tanto **c)** los pastos como muchos árboles, por ejemplo, **d)** este abedul, cuyas flores se muestran como botones (verdes) y en floración (marrón) tienen flores que pasan desapercibidas y dependen del viento para la polinización. Las flores, como las de **e)** esta hierba de la mariposa y del eucalipto (imagen en recuadro de la parte b), atraen insectos y otros animales que transportan polen entre las plantas individuales. **EJERCICIO:** Elabora una lista de las ventajas y desventajas de la polinización a través del viento. Haz lo mismo para la polinización por medio de animales. ¿Por qué ambos tipos de polinización persisten entre las angiospermas?

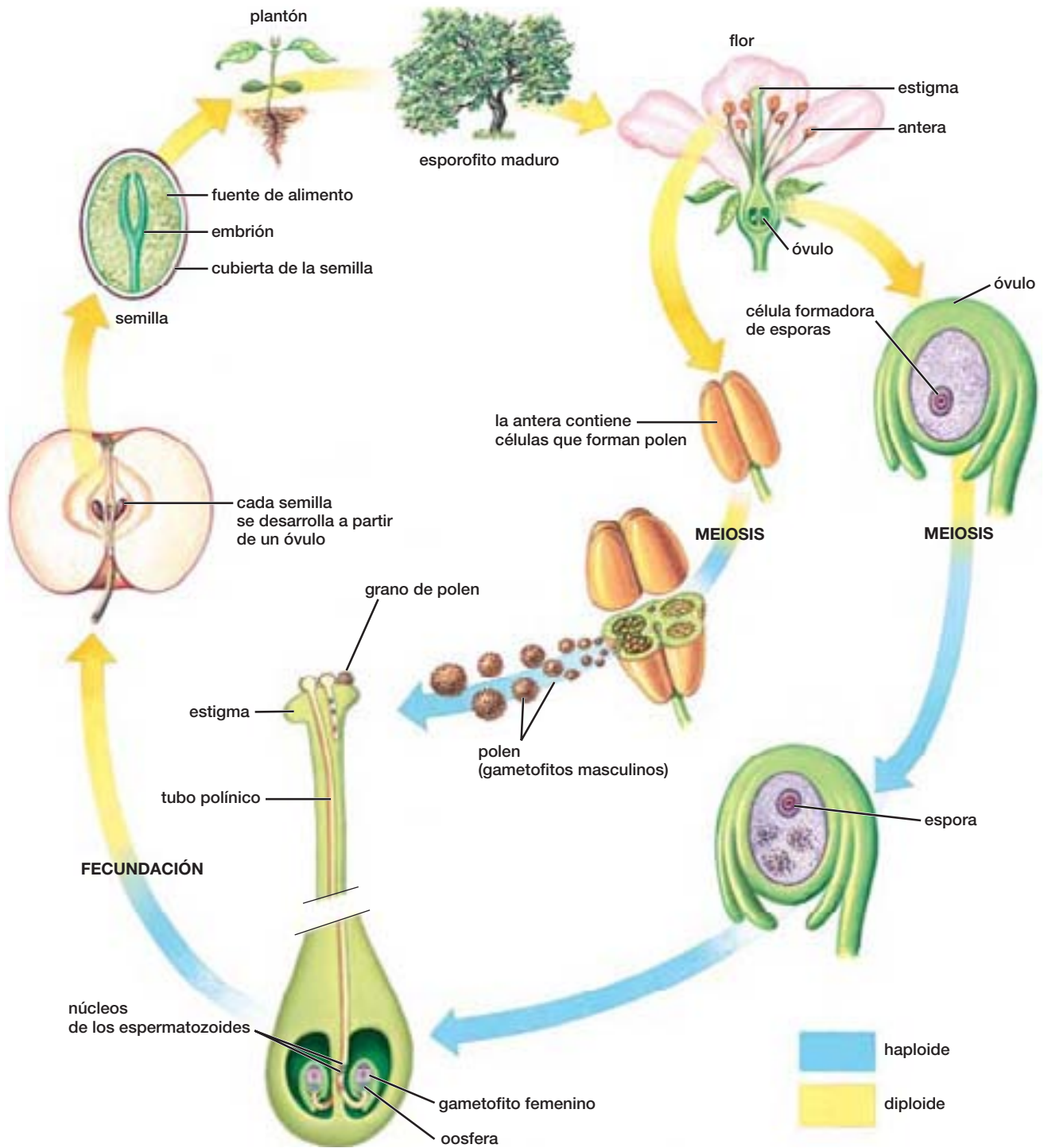


FIGURA 21-11 Ciclo vital de una planta con flor

El cuerpo de la planta dominante (arriba a la derecha) es el esporofito diploide, cuyas flores producen normalmente gametofitos tanto masculinos como femeninos. Los gametofitos masculinos (granos de polen) se producen dentro de las anteras. El gametofito femenino se desarrolla a partir de una espora en el interior del óvulo y contiene una oosfera. Un grano de polen que cae dentro de un estigma forma un tubo polínico que baja hacia el óvulo y llega al gametofito femenino. Ahí libera sus espermatozoides, uno de los cuales se une con la oosfera para formar un cigoto. El óvulo da origen a la semilla, que contiene el embrión en desarrollo y constituye su fuente de alimento. La semilla se dispersa, germina y se desarrolla hasta convertirse en un esporofito maduro.

ción gametofítica se reduzcan (véase la tabla 21-1). Por eso se cree que las primeras plantas eran similares a las plantas no vasculares de la actualidad, las cuales tienen un esporofito más pequeño en comparación con el gametofito y que permanece unido a éste. En contraste, las plantas que se originaron tiempo después, como los helechos y otras plantas vasculares sin semilla, desarrollaron un ciclo de vida en el que el esporofito es do-

minante y el gametofito es una planta independiente y de menor tamaño. Por último, en el grupo de plantas que se originó más recientemente, las plantas con semilla, los gametofitos son microscópicos y apenas reconocibles como una generación alterna. Sin embargo, estos diminutos gametofitos aún producen oosferas y espermatozoides que se unen para formar el cigoto, el cual se desarrolla hasta formar un esporofito diploide.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO LA REINA DE LOS PARÁSITOS



Las aproximadamente 17 especies de plantas parásitas del género *Rafflesia*, que incluyen la *Rafflesia arnoldii*, habitan en los bosques húmedos del sureste asiático, un hábitat que está desapareciendo rápidamente conforme se talan las selvas para ceder paso a la agricultura y el desarrollo económico. La zona geográfica donde crece la *Rafflesia arnoldii* está limitada a las reducidas selvas de la península de Malasia y las islas de Borneo y Sumatra, en Indonesia; la especie es escasa y está en peligro de extinción. El gobierno de Indonesia ha establecido algunos parques y reservas para proteger a la *Rafflesia arnoldii*, pero, como sucede con frecuencia en los países en desarrollo, un bosque o una selva protegida en el papel es vulnerable en la realidad.

Tal vez la mayor esperanza para la supervivencia de la *Rafflesia* de mayor tamaño sea la toma de conciencia por parte de los residentes rurales de Sumatra y Borneo de que las espectaculares flores de olor pútrido atraen a turistas interesados. En el marco de un innovador programa de conservación, que pretende aprovechar su potencial para el ecoturismo, los pobladores que viven cerca de las *Rafflesia arnoldii* se han convertido en los mejores cuidadores de esas plantas. A cambio de cuidar estas plantas, pueden cobrar una módica tarifa a los curiosos visitantes. Los pobladores reciben un incentivo económico para proteger esta extraña planta parasitaria.

Piensa en esto Un estilo de vida parasitario es inusual entre las plantas, pero es una mo-

dalidad que, de hecho, se presenta. Quince familias diferentes de plantas incluyen especies parasitarias, y los sistemáticos estiman que el parasitismo ha evolucionado por lo menos en nueve ocasiones a lo largo de la historia evolutiva de las plantas. ¿Por qué a pesar de los obvios beneficios de la fotosíntesis, el parasitismo (que a menudo va acompañado de una pérdida de la capacidad fotosintética) evolucionó repetidamente en las plantas que realizan fotosíntesis?

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

21.1 ¿Cuáles son las principales características de las plantas?

El reino Plantae se compone de organismos eucarióticos multicelulares fotosintéticos. A diferencia de sus parientes, las algas verdes, las plantas desarrollan embriones multicelulares y dependientes y presentan una alternancia de generaciones, en la que una generación gametofítica haploide se alterna con una generación esporofítica diploide. Las plantas desempeñan un papel ecológico clave, al captar energía y ponerla a disposición de los habitantes de los ecosistemas terrestres, reabasteciendo el oxígeno atmosférico y creando y estabilizando los suelos.

21.2 ¿Cuál es el origen evolutivo de las plantas?

Protistas fotosintéticos, probablemente algas verdes, dieron origen a las primeras plantas. Las plantas primitivas eran probablemente semejantes a las algas verdes multicelulares modernas, que tienen pigmentos fotosintéticos, moléculas de almidón y componentes de pared celular similares a los de las plantas, incluida la celulosa. La vida en aguas dulces de las algas verdes pudo haberlas dotado de cualidades que permitieron a sus descendientes invadir la tierra.

21.3 ¿Cómo se adaptaron las plantas a la vida en la tierra?

Las plantas también presentan diversas adaptaciones a la vida terrestre: raíces para anclarse a tierra y que les permiten absorber agua y nutrientes; una cutícula cerosa para reducir la pérdida de agua a través de la evaporación; estomas que permiten el intercambio gaseoso cuando se abren y que evitan la pérdida de agua al cerrarse; vasos conductores para transportar agua y nutrientes por toda la planta, y una sustancia endurecedora, llamada lignina, para impregnar los vasos y brindar soporte al cuerpo de la planta.

Las estructuras reproductoras de las plantas que viven en tierra incluyen un gametofito masculino reducido (el polen), el cual permite que el viento tome el lugar del agua para transportar los espermatozoides hacia las oosferas; semillas que nutren, protegen y ayudan a dispersar los embriones en desarrollo; flores que atraen a los animales, los cuales se encargan de transportar el polen de manera más precisa y eficiente que el viento, y los frutos, que tienen a los animales para dispersar las semillas.

Web tutorial 21.1 Adaptaciones en la evolución de las plantas

21.4 ¿Cuáles son los principales grupos de plantas?

De las primitivas algas ancestrales surgieron dos grupos principales de plantas: las briofitas y las plantas vasculares. Las briofitas, que incluyen las hepáticas y los musgos, son plantas terrestres pequeñas y simples que carecen de vasos conductores. Aunque algunas se han adaptado a regiones secas, la mayoría vive en ambientes húmedos. Para reproducirse, las briofitas necesitan agua en la que puedan nadar los espermatozoides para alcanzar la oosfera.

En las plantas vasculares, un sistema de vasos, que debe su rigidez a la lignina, conduce el agua y los nutrientes absorbidos por las raíces hasta las partes superiores de la planta, además de sostener su cuerpo. Gracias a este sistema de sostén, las plantas vasculares sin semilla, que comprenden los licopodios, las colas de caballo y los helechos, crecen hasta alcanzar mayores dimensiones que las briofitas. Al igual que en estas últimas, los espermatozoides de las plantas vasculares sin semilla deben nadar hasta la oosfera para llevar a cabo la reproducción sexual, y el gametofito carece de vasos conductores.

Las plantas vasculares con semilla presentan otras dos características adaptativas importantes: el polen y las semillas. Las plantas con semilla se clasifican en dos categorías: gimnospermas y angiospermas. Las primeras comprenden los ginkgos, las cicadáceas, las gnetofitas y las coníferas, estas últimas de gran éxito. Todas ellas fueron las primeras plantas terrestres producto de la evolución. Su éxito en tierra seca se debe en parte a la transformación evolutiva del gametofito masculino en el grano de polen. El polen protege y transporta el gameto masculino, con lo que se elimina la necesidad de que el espermatozoide nade hasta la oosfera. La semilla, una estructura protectora latente que contiene un embrión y una provisión de alimento, es una segunda adaptación importante que contribuye al éxito de las plantas con semilla.

TÉRMINOS CLAVE

alternancia de generaciones *pág. 404*
angiosperma *pág. 416*
anteridio *pág. 408*
arqueogonio *pág. 408*

briofita *pág. 407*
cigoto *pág. 404*
conifera *pág. 414*
cutícula *pág. 406*
esporofito *pág. 404*
estomas *pág. 406*

flor *pág. 416*
fruto *pág. 416*
gametofito *pág. 404*
gimnosperma *pág. 410*
lignina *pág. 406*

óvulo *pág. 416*
polen *pág. 410*
semilla *pág. 410*
vascular *pág. 407*
vaso *pág. 410*

Actualmente, las angiospermas, esto es, las plantas con flores, predominan en gran parte del medio terrestre. Además del polen y las semillas, las angiospermas también producen flores y frutos. La flor permite a las angiospermas valerse de los animales como polinizadores. En contraste con el viento, en ciertos casos, los animales transportan el polen más lejos y con mayor precisión y menos desperdicio. Los frutos atraen a consumidores animales, que accidentalmente dispersan las semillas en sus heces.

En general, la tendencia evolutiva es hacia la reducción del gametofito haploide, que es dominante en las briofitas, pero microscópico en las plantas con semilla.

Web tutorial 21.2 Ciclo de vida de un helecho

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

¿Qué significa la expresión “alternancia de generaciones”? ¿De cuáles dos generaciones se trata? ¿Cómo se reproduce cada una de ellas?

Explica los cambios evolutivos en la reproducción de las plantas que les permitieron adaptarse a ambientes cada vez más secos.

Describe las tendencias evolutivas de los ciclos vitales de las plantas. Pon especial énfasis en el tamaño relativo del gametofito y el esporofito.

¿De qué grupo de algas surgieron probablemente las plantas verdes? Explica las evidencias que respaldan esta hipótesis.

Menciona las adaptaciones estructurales que fueron necesarias para que las plantas invadieran la tierra seca. ¿Con cuáles de estas adaptaciones cuentan las briofitas? ¿Y los helechos? ¿Y las gimnospermas y angiospermas?

6. El número de especies de plantas con flor es mayor que el número de especies del resto del reino vegetal. ¿A qué características se debe el enorme éxito de las angiospermas? Explica por qué.

7. Menciona las adaptaciones de las gimnospermas que les han ayudado a llegar a convertirse en los árboles predominantes en los climas fríos y secos.

8. ¿Qué es un grano de polen? ¿Cómo ha ayudado a las plantas a colonizar la tierra seca?

9. La mayoría de las plantas tienen semilla. ¿Qué ventaja ofrece la semilla? ¿Cómo satisfacen las plantas sin semillas las necesidades que cubren estas últimas?

La diversidad de los hongos



Estos *Armillaria* color miel forman parte de las porciones visibles de los organismos más grandes del mundo.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: Hongos descomunales

22.1 ¿Cuáles son las principales características de los hongos?

- El cuerpo de los hongos se compone de filamentos
- Los hongos obtienen sus nutrimentos de otros organismos
- Los hongos se propagan a través de esporas
- La mayoría de los hongos se pueden reproducir tanto sexual como asexualmente

22.2 ¿Cuáles son los principales tipos de hongos?

- Los quitridiomicetos producen esporas natatorias
- Los cigomicetos se reproducen formando esporas diploides
- Los ascomicetos forman esporas en una funda semejante a un saco
- Los basidiomicetos producen estructuras reproductoras con forma de clava

22.3 ¿De qué manera interactúan los hongos con otras especies?

- Los líquenes se componen de hongos que viven con algas o bacterias fotosintéticas

- Las micorrizas son hongos asociados con las raíces de plantas
- Los endófitos son hongos que viven dentro de los tallos y las hojas de las plantas
- Algunos hongos son recicladores importantes

22.4 ¿Cómo afectan los hongos a los seres humanos?

- Los hongos atacan plantas que son importantes para las personas
- Los hongos producen enfermedades humanas
- Los hongos pueden producir toxinas
- Muchos antibióticos se derivan de los hongos

Guardián de la Tierra: El caso de las setas que desaparecen

Los hongos hacen importantes aportaciones a la gastronomía

Conexiones evolutivas: El ingenio de los hongos: Cerdos, escopetas y lazos

Enlaces con la vida: Recolecta con cuidado

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Hongos descomunales



ESTUDIO DE CASO: HONGOS DESCOMUNALES

¿CUÁL ES EL ORGANISMO más grande sobre la Tierra? Una suposición razonable sería que se trata de la ballena azul, que llega a medir más de 30 metros de largo y a pesar 135 toneladas. Sin embargo, la ballena azul parecería pequeña comparada con el árbol General Sherman, un espécimen de secoya gigante que mide 84 metros de altura y pesa aproximadamente 6200 toneladas. Pero incluso esos dos gigantes se vuelven insignificantes junto al verdadero poseedor del récord: el hongo *Armillaria ostoyae*, también conocido como Armillaria color miel, cuyo espécimen más grande, localizado en Oregon, se extiende sobre una superficie de 9 kilómetros cuadrados (aproximadamente 3.4 millas cuadradas) y quizá pese más, incluso, que el General Sherman. A pesar de su enorme tamaño, en realidad nadie ha visto este descomunal hongo, porque la mayor

parte de su cuerpo se encuentra bajo la tierra. Sus partes sobre la tierra son únicamente hongos amarillentos que brotan ocasionalmente a partir de su gigantesco cuerpo. No obstante, debajo de la superficie, el hongo se extiende a través del suelo mediante grandes estructuras filamentosas llamadas rizomorfos, los cuales se extienden hasta que encuentran las raíces del árbol sobre el cual subsiste el *Armillaria*, originando así la putrefacción de las raíces que debilitan o matan el árbol. Este proceso ofrece evidencia sobre la superficie de la existencia del *Armillaria*: el enorme espécimen de Oregon fue identificado primero por fotografías de inspección aérea para encontrar zonas boscosas donde hubiera muchos árboles muertos.

¿Cómo pueden saber los investigadores que el hongo de Oregon es realmente un

solo individuo y no muchos entrelazados? Las pruebas más sólidas son de índole genética. Los investigadores recopilaron muestras de tejido del *Armillaria* en toda el área donde se creía que habitaba un solo individuo y se comparó el DNA extraído de las muestras. Todas éstas resultaron genéticamente idénticas, lo cual demostró que provenían del mismo individuo.

Quizá suene extraño que el organismo más grande del mundo hubiera pasado inadvertido hasta hace muy poco tiempo; sin embargo, por lo general la vida de los hongos se desarrolla fuera del alcance de nuestros ojos. No obstante, los hongos juegan un papel fascinante en la existencia humana. Sigue leyendo para averiguar más acerca de los poco visibles pero a menudo influyentes miembros del reino Fungi.

22.1 ¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LOS HONGOS?

Cuando se piensa en hongos, lo más probable es que nos vengan a la mente los champiñones o las setas. Sin embargo, la mayoría de los hongos no producen setas ni champiñones, e incluso los hongos que sí los producen, los champiñones y las setas son sólo estructuras reproductivas temporales que se extienden a partir del cuerpo principal que, por lo general, queda oculto debajo del suelo o dentro de un trozo de madera en descomposición. Así, para apreciar cabalmente el reino Fungi, debemos recurrir a los micólogos —los científicos que estudian los hongos— y ver más allá de las peculiares estructuras que encontramos en el suelo de los bosques, a la orilla de las zonas con césped o en una suculenta pizza. Un minucioso examen a los hongos revela un grupo de organismos principalmente multicelulares que juegan un papel fundamental en la urdimbre de la vida y cuyas formas de vida difieren de manera fascinante de las de plantas y animales.

El cuerpo de los hongos se compone de filamentos

El cuerpo de casi todos los hongos es un **micelio** (FIGURA 22-1a), que es una masa entretrejida de filamentos de una célula de espesor, parecidos a hilos, llamados **hifas** (FIGURA 22-1b, c). Según la especie de que se trate, las hifas consisten en células individuales alargadas con diversos núcleos, o bien, están subdivididas por tabiques llamados **septos** en muchas células, cada una de las cuales tiene uno o varios núcleos. Los septos tienen poros que permiten el flujo de citoplasma entre las células para distribuir los nutrientes. Al igual que las células vegetales, las células micóticas están envueltas en paredes celulares. A diferencia de aquéllas, sin embargo, las paredes celulares micóticas están reforzadas con *quitina*, la misma sustancia que está presente en el exoesqueleto de los artrópodos.

Los hongos no pueden desplazarse; aunque compensan la falta de movilidad con canutillos capaces de crecer rápidamente en cualquier dirección dentro de un medio idóneo. El

micelio de los hongos penetra rápidamente en el pan viejo o en el queso, debajo de la corteza de los troncos en descomposición o en el suelo. Periódicamente, las hifas crecen juntas y se diferencian para formar estructuras reproductoras que se proyectan por encima de la superficie bajo la cual crece el micelio. Tales estructuras, que incluyen las setas, los bejines y los mohos polvosos de los alimentos no refrigerados representan únicamente una fracción del cuerpo completo de los hongos pero, por lo general, son la única parte del hongo que vemos con facilidad.

Los hongos obtienen sus nutrientes de otros organismos

Al igual que los animales, los hongos sobreviven degradando nutrientes almacenados en el cuerpo o en los desechos de otros organismos. Algunos hongos digieren el cuerpo de organismos muertos. Otros son parásitos que se alimentan a costa de organismos vivos y producen enfermedades. Otros más viven en relación mutuamente benéfica con otros organismos que les brindan alimento. Hay incluso algunos hongos depredadores que atacan a gusanos diminutos del suelo.

A diferencia de los animales, los hongos no ingieren alimento. En cambio, secretan enzimas que digieren moléculas complejas fuera de su cuerpo, y las descomponen en subunidades más pequeñas susceptibles de ser absorbidas. Los filamentos de los hongos pueden penetrar profundamente en una fuente de nutrientes y son del grosor de una célula, por lo que tienen una área superficial enorme, a través de la cual secretan enzimas y absorben nutrientes. Este método para obtener nutrientes ha dado buenos servicios a los hongos. Casi cualquier material biológico puede ser consumido por al menos una especie de hongos, por lo que es muy probable que los hongos encuentren sustento nutritivo en casi cualquier hábitat terrestre.

Los hongos se propagan a través de esporas

A diferencia de las plantas y los animales, los hongos no forman embriones. En cambio, los hongos se reproducen me-

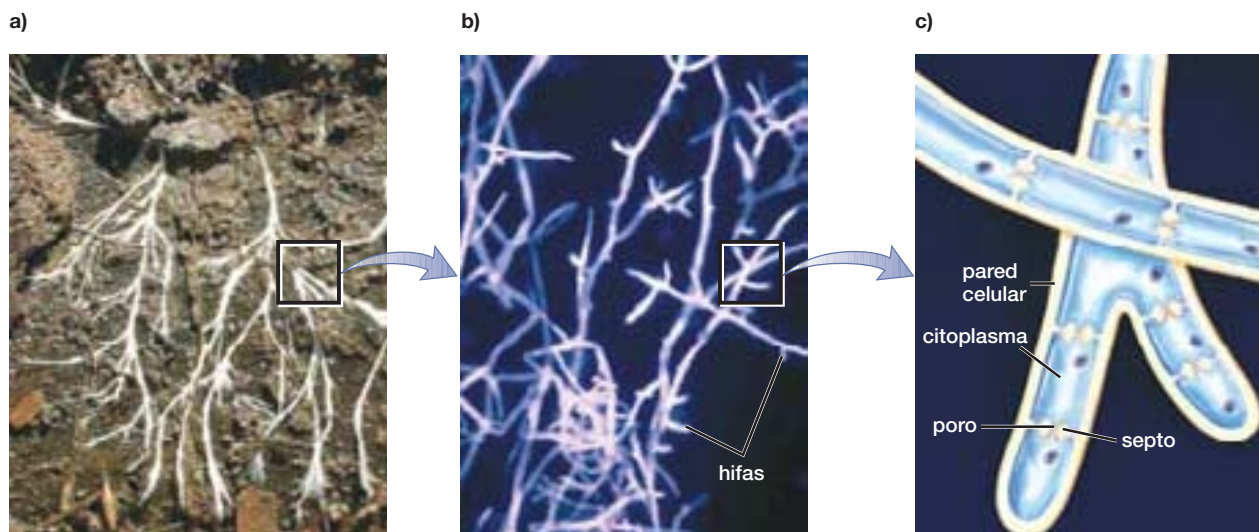


FIGURA 22-1 El cuerpo filamentososo de un hongo

Un micelio de hongo se extiende sobre vegetación en descomposición. El micelio se compone de **b)** una maraña de hifas microscópicas, de una sola célula de espesor, que se muestran en sección transversal; **c)** aquí se muestra su organización interna. **PREGUNTA: ¿Qué características de la estructura corporal de los hongos son adaptaciones relacionadas con esta forma de adquirir nutrientes?**

dante pequeñísimos y ligeros paquetes reproductores llamados **esporas**, que son extraordinariamente móviles, a pesar de que en su mayoría carecen de medios de autopropulsión. Las esporas se distribuyen por todas partes montadas sobre el exterior del cuerpo de los animales, como pasajeros dentro del sistema digestivo de los animales que las ingirieron, o como vagabundos que flotan en el aire a la deriva, lanzadas por el azar o disparadas a la atmósfera mediante complejas estructuras reproductoras (FIGURA 22-2). Asimismo, las esporas suelen producirse en grandes cantidades (un solo bejín gigante puede contener 5 billones de esporas sexuales; véase la figura 22-9a). Los hongos tienen una capacidad reproductora prodigiosa y esporas de gran movilidad, lo que asegura que se encuentren en todos los ambientes terrestres, y explica el inevitable crecimiento de hongos en todo emparedado rezagado y en recipientes de comida sobrante.

La mayoría de los hongos se pueden reproducir tanto sexual como asexualmente

En general, los hongos son capaces de reproducirse tanto asexual como sexualmente. En la mayoría de los casos, la reproducción asexual es la modalidad predeterminada en condiciones estables; en tanto que la reproducción sexual se lleva a cabo principalmente en condiciones de cambio ambiental o de tensión. Por lo común, ambos tipos de reproducción implican la producción de esporas dentro de cuerpos fructíferos especiales que se proyectan por encima del micelio.

La reproducción asexual genera esporas haploides por mitosis

El cuerpo y las esporas de los hongos son haploides (contienen sólo una copia de cada cromosoma). Un micelio haploide produce esporas asexuales haploides por mitosis. Si una espора asexual se deposita en un lugar favorable, comenzará a dividirse mitóticamente y a desarrollarse hasta formar un nuevo micelio. El resultado de este sencillo ciclo reproducti-



FIGURA 22-2 Algunos hongos expelen esporas

Un hongo estrella de tierra maduro, al ser golpeado por una gota de agua, emite una nube de esporas que se dispersarán en las corrientes de aire.

vo es la rápida producción de clones genéticamente idénticos al micelio original.

La reproducción sexual genera esporas haploides por meiosis

Se forman estructuras diploides únicamente durante un breve periodo mientras ocurre la parte sexual del ciclo de vida de los hongos. La reproducción sexual se inicia cuando un filamento de un micelio entra en contacto con un filamento de un segundo micelio, que es de un tipo de cepa diferente y compatible (los diferentes tipos de cepa de los hongos son análogos a los diferentes sexos de los animales, salvo que suele haber más de dos tipos de cepa). Si las condiciones son idóneas, las dos hifas pueden fusionarse, de tal modo que los núcleos de dos hifas distintas compartan una célula común. Esta fusión de hifas va seguida (inmediatamente en algunas especies, al cabo de cierto tiempo en otras) de la fusión de los núcleos haploides diferentes para formar un cigoto diploide. A continuación, el cigoto sufre meiosis para formar esporas sexuales haploides. Tales esporas se dispersan, germinan y se dividen por mitosis para formar nuevos micelios haploides. A diferencia de los descendientes clonados de las esporas asexuales, estos cuerpos micóticos producidos sexualmente son genéticamente distintos de ambos progenitores.

22.2 ¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES TIPOS DE HONGOS?

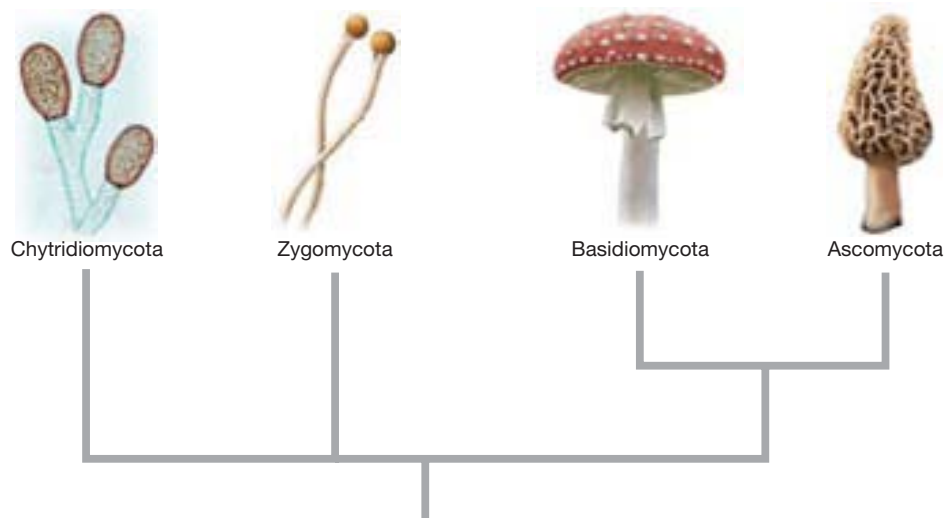
Entre los tres reinos de eucariotas pluricelulares, los hongos y los animales están más estrechamente vinculados entre sí que con las plantas. Es decir, el antepasado común de los hongos y los animales vivió más recientemente que el antepasado común de plantas, animales y hongos (véase la figura 18-6). Una persona que come ensalada de hojas de lechuga con setas está emparentada más cercanamente con la seta de lo que está con la lechuga.

Hay mucha diversidad entre los hongos. Aunque se han descrito cerca de 100,000 especies de hongos, esta cifra representa sólo una fracción de la verdadera diversidad de tales organismos. Cada año se descubren y se describen muchas especies adicionales; los micólogos estiman que el número de especies de hongos que aún no se descubren supera con mucho un millón. Las especies de hongos se clasifican en cuatro *filas*: Chytridiomycota (quitridiomicetos), Zygomycota (cigomicetos), Ascomycota (hongos con saco) y Basidiomycota (hongos de clava) (FIGURA 22-3, tabla 22-1).

Los quitridiomicetos producen esporas natatorias

A diferencia de otros tipos de hongos, casi todos los quitridiomicetos viven en el agua. Además, los quitridiomicetos (FIGURA 22-4

FIGURA 22-3 Árbol evolutivo de los principales grupos de hongos



modernos y les dio origen. El registro de fósiles refuerza esta conclusión, pues los hongos fósiles más antiguos conocidos son quitridiomycetos hallados en rocas de más de 600 millones de años de antigüedad. Los hongos ancestrales muy bien pudieron ser similares en sus hábitos a los quitridiomycetos acuáticos y marinos de nuestros días, de manera que los hongos (como las plantas y los animales) probablemente tuvieron su origen en un medio acuoso antes de colonizar la Tierra.

Casi todas las especies de quitridiomycetos se alimentan con plantas acuáticas muertas u otros residuos en ambientes acuosos, pero algunas especies son parásitos de plantas o animales. Se piensa que uno de estos quitridiomycetos parásitos es una causa importante de la actual mortandad mundial de ranas, que amenaza a muchas especies y, al parecer, ya ha provocado la extinción de varias de ellas. Nadie sabe con exactitud por qué surgió esta enfermedad micótica como causa importante de muerte de las ranas. Una hipótesis sugiere que las poblaciones de ranas sometidas a estrés debido a la contaminación y a otros problemas ambientales podrían ser más susceptibles a las infecciones por quitridiomycetos. (Para mayor información acerca de la disminución de ranas, véase la sección “Guardián de la Tierra: Ranas en peligro” del capítulo 24).

Los cigomicetos se reproducen formando esporas diploides

Los **cigomicetos** viven, por lo general, en el suelo o en material vegetal o animal en descomposición. Entre los cigomicetos hay especies que pertenecen al género *Rhizopus*, causantes de las tan conocidas molestias por la pudrición de la fruta y el moho negro del pan. El ciclo de vida del moho negro del pan, que se reproduce tanto asexual como sexualmente, se representa en la **FIGURA 22-5**. La reproducción asexual de los cigomicetos se inicia con la formación de esporas ha-

ploides en unas estructuras negras llamadas **esporangios**. Estas esporas se dispersan en el aire y, cuando se depositan en un sustrato idóneo (como un trozo de pan, por ejemplo), germinan para formar nuevas hifas haploides.

Si dos hifas de diferentes tipos de cepa de cigomicetos entran en contacto, puede ocurrir una reproducción sexual.



FIGURA 22-4 Filamentos de quítrido

Estos filamentos son del hongo quítrido *Allomyces* que está en plena reproducción sexual. Las estructuras anaranjadas que son visibles en muchos de los filamentos liberan gametos masculinos; las estructuras transparentes liberan gametos femeninos. Los gametos de los quitridiomycetos son flagelados, y estas estructuras reproductoras natatorias contribuyen a la dispersión de los miembros de este filum principalmente acuático.

Tabla 22-1 Principales divisiones de los hongos

Nombre común (filum)	Estructuras reproductoras	Características celulares	Repercusiones en la economía y la salud	Géneros representativos
Quitridiomycetos (Chytridiomycota)	Producen esporas flageladas diploides o haploides	No tienen septos	Contribuyen a la disminución de las poblaciones de ranas	<i>Batrachochytrium</i> (hongo patógeno de las ranas)
Cigomicetos (Zygomycota)	Producen cigosporas sexuales diploides	No tienen septos	Causan la pudrición blanda de la fruta y el moho negro del pan	<i>Rhizopus</i> (causante del moho negro del pan); <i>Pilobolus</i> (hongo del estiércol)
Hongos con saco (Ascomycota)	Forman esporas sexuales en ascas semejantes a sacos	Sí tienen septos	Forman mohos en la fruta; pueden dañar los productos textiles; producen la enfermedad del olmo holandés y la plaga del castaño; incluyen las levaduras y las morillas	<i>Saccharomyces</i> (levadura); <i>Ophiostoma</i> (causante de la enfermedad del olmo holandés)
Hongos de clava (Basidiomycota)	La reproducción sexual comprende la producción de basidiosporas haploides en basidios con forma de clava	Sí tienen septos	Producen tizones y royas en los cultivos; incluyen algunas setas comestibles	<i>Amanita</i> (seta venenosa mushroom); <i>Polyporus</i> (hongo de repisa)

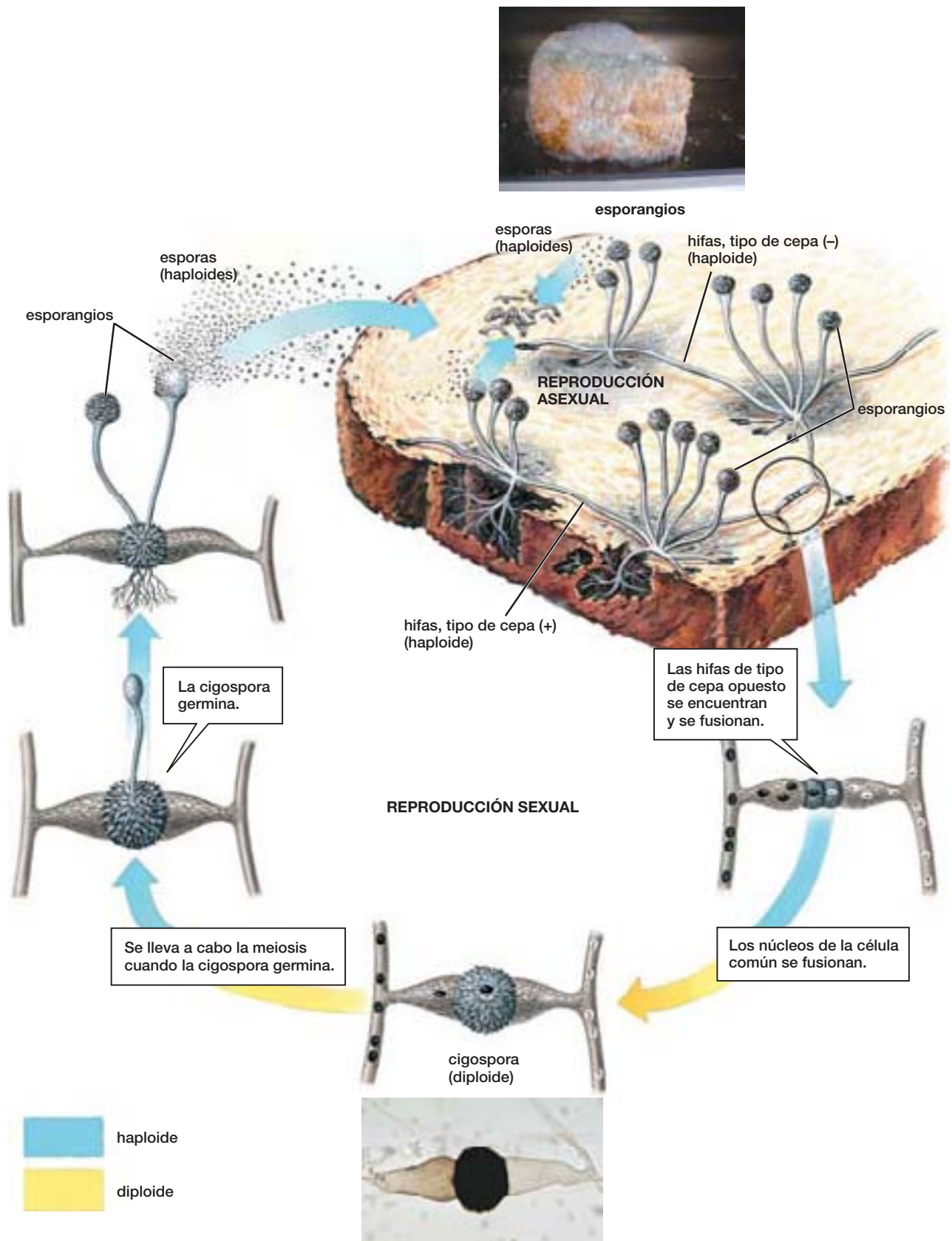


FIGURA 22-5 Ciclo de vida de un cigomiceto

Arriba: Durante la reproducción asexual del moho negro del pan (género *Rhizopus*), las esporas haploides, producidas dentro de los esporangios, se dispersan y germinan en los alimentos como el pan. Abajo: Durante la reproducción sexual, las hifas de diferentes tipos de cepa (designados como + y - en el pan) se ponen en contacto y se fusionan, para producir una cigospora diploide. La cigospora sufre meiosis y germina para producir esporangios. Éstos liberan esporas haploides.

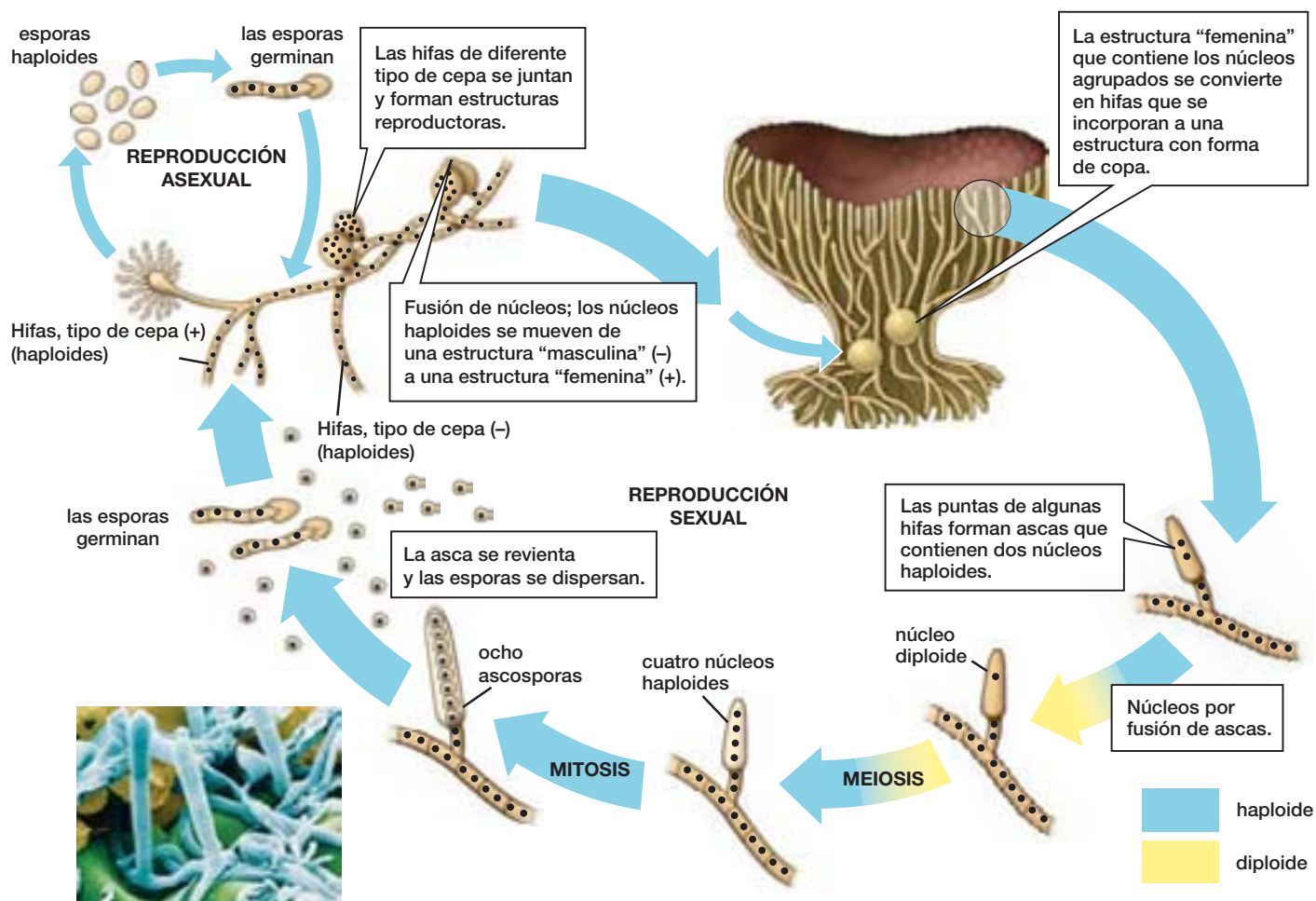


FIGURA 22-6 El ciclo de vida de un ascomiceto común

Parte superior: En la reproducción asexual de los ascomicetos, hifas haploides originan estructuras de tallo que producen esporas haploides. Parte inferior: En la reproducción sexual los núcleos haploides de diferentes tipos de cepa se fusionan para formar cigotos diploides que se dividen y originan ascosporas haploides. Las ascosporas se desarrollan dentro de estructuras llamadas ascas, algunas de las cuales surgen de hifas como las de la fotografía.



a)



b)

FIGURA 22-7 Diversos ascomicetos

a) Cuerpo fructífero del hongo con forma de taza de sombrero escarlata. b) La morilla, un manjar comestible. (Consulta a un experto antes de degustar cualquier hongo silvestre. ¡Algunos son mortíferos!)

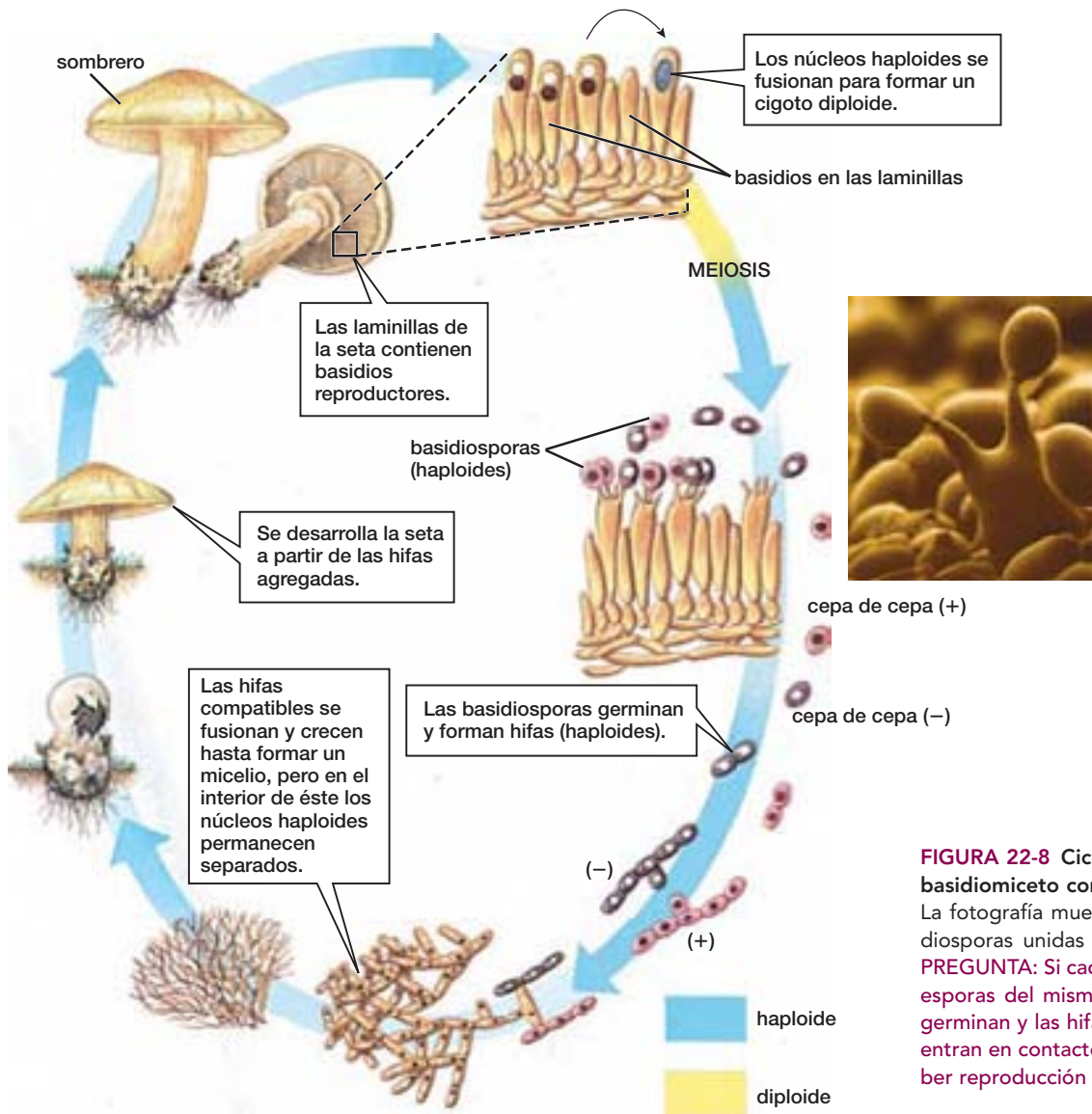


FIGURA 22-8 Ciclo vital de un basidiomiceto común

La fotografía muestra dos basidiosporas unidas a un basidio. **PREGUNTA:** Si cada una de dos esporas del mismo esporangio germinan y las hifas resultantes entran en contacto, ¿podría haber reproducción sexual?

Las dos hifas “se aparean sexualmente” y sus núcleos se fusionan para producir **cigosporas** diploides: las estructuras resistentes de las que este grupo toma su nombre. Las cigosporas pueden permanecer aletargadas durante largos periodos, hasta que las condiciones ambientales sean favorables para su crecimiento. Al igual que las esporas producidas asexualmente, las cigosporas se dispersan y germinan; pero en vez de producir nuevas hifas directamente sufren meiosis. En consecuencia, forman estructuras que contienen esporas haploides, las cuales se transforman en nuevas hifas.

Los ascomicetos forman esporas en una funda semejante a un saco

Los **ascomicetos**, u **hongos con saco**, también se reproducen tanto asexual como sexualmente (FIGURA 22-6). Las esporas asexuales de los hongos con saco se producen en la punta de unas hifas especializadas. Durante la reproducción sexual, las esporas se producen mediante una compleja serie de acontecimientos que se inicia con la fusión de hifas de dos tipos de cepa diferentes. Esta secuencia culmina con la formación de **ascas**, unas estructuras semejantes a sacos que contienen varias esporas y dan nombre a este filum.

Algunos ascomicetos viven en la vegetación forestal en descomposición y forman ya sea hermosas estructuras reproductoras en forma de taza (FIGURA 22-7a) o cuerpos fructíferos corrugados parecidos a setas y que se llaman **morillas** (FIGURA 22-7b). Este filum incluye asimismo muchos de los mohos de colores vistosos que atacan los alimentos almacenados y destruyen la fruta, las cosechas de granos y otras plantas, además de las levaduras (algunos de los pocos hongos unicelulares) y la especie que produce penicilina, el primer antibiótico.

Los basidiomicetos producen estructuras reproductoras con forma de clava

A los **basidiomicetos** se les llama **hongos de clava**, ya que producen estructuras reproductoras en forma de clava. En general, los miembros de este filum se reproducen sexualmente (FIGURA 22-8): hifas de diferentes tipos de cepa se fusionan para formar filamentos, en los cuales cada célula contiene dos núcleos, uno de cada progenitor. Los núcleos mismos no se fusionan hasta que se hayan formado células diploides especializadas, con forma de clava, llamadas **basidios**. Los basidios, a la vez, dan origen a **basidiosporas** reproductoras haploides por meiosis.



a)



b)

FIGURA 22-9 Diversos basidiomicetos

El bejín gigante *Lycoperdon giganteum* puede producir hasta 5 billones de esporas. **b)** Los hongos de repisa, del tamaño de platos para postre, son visibles en los árboles. **c)** Las esporas de los falos hediondos están en el exterior del sombrero mucilaginoso que tiene un olor muy desagradable para los seres humanos, pero que atrae a las moscas, las cuales depositan sus huevecillos en el hongo y, sin proponérselo, dispersan las esporas que se adhieren a su cuerpo. **PREGUNTA:** ¿Las estructuras que se muestran en estas fotografías son haploides o diploides?

La formación de basidios y basidiosporas tiene lugar en cuerpos fructíferos especiales que conocemos como champiñones, bejines, hongos de repisa y falos hediondos (**FIGURA 22-9**). Estas estructuras reproductoras son en realidad agregados densos de hifas que emergen en condiciones idóneas de un micelio subterráneo de gran tamaño. En la cara inferior de los champiñones o setas hay unas laminillas que parecen hojas y donde se producen basidios. Las basidiosporas se liberan por miles de millones desde las laminillas de las setas o a través de aberturas de la parte superior de los bejines, y se dispersan por el viento y el agua.

Si cae en suelo fértil, una basidiospora de seta puede germinar y formar hifas haploides. Estas hifas crecen hacia afuera a partir de la espora original, siguiendo una distribución aproximadamente circular, conforme las hifas más viejas del centro mueren. Periódicamente, el cuerpo subterráneo envía hacia arriba numerosas setas, que surgen en una distribución anular conocida como anillo de hada (**FIGURA 22-10**). El diámetro del anillo de hada indica la edad aproximada del hongo: cuanto más grande sea el diámetro del anillo, más viejo será el hongo que le da origen. Se estima que algunos anillos tienen 700 años de edad. Los micelios de los basidiomicetos pueden alcanzar edades aún mayores. Por ejemplo, los investigadores que descubrieron el *Armillaria gigante* en Oregon estiman que a éste le tomó al menos 2400 años crecer hasta su tamaño actual.



c)

largo plazo se denominan *simbióticas*. En muchos casos el hongo de una relación simbiótica es parasitario y daña a su huésped. No obstante, algunas relaciones simbióticas son mutuamente benéficas.

Los líquenes se componen de hongos que viven con algas o bacterias fotosintéticas

Los **líquenes** son asociaciones simbióticas entre hongos y algas verdes unicelulares o cianobacterias (**FIGURA 22-11**

22.3 ¿DE QUÉ MANERA INTERACTÚAN LOS HONGOS CON OTRAS ESPECIES?

Muchos hongos viven en contacto directo con otras especies durante periodos prolongados. Tales relaciones estrechas y de



FIGURA 22-10 Anillo de hada de setas

Las setas surgen de un micelio micótico subterráneo y forman un anillo de hada, que crece hacia afuera a partir de un punto central donde germinó una sola espora, tal vez siglos antes.

zada por el descubrimiento de que, en los líquenes que incluyen algas simbiotes, las hifas micóticas penetran efectivamente las paredes celulares de las algas, de forma muy semejante a las hifas de los hongos que parasitan plantas.

Miles de especies de hongos (principalmente ascomicetos) forman líquenes (**FIGURA 22-12**), cada una en combinación con un número mucho más reducido de especies de algas o bacterias. Juntos, estos organismos forman unidades tan resistentes y autosuficientes que los líquenes se cuentan entre los primeros seres vivos en colonizar las islas volcánicas de reciente formación. Asimismo los líquenes de brillantes colores han invadido otros hábitat inhóspitos, desde desiertos hasta el Ártico, y crecen incluso en la roca desnuda. Como es de suponer, en ambientes extremos los líquenes crecen con gran lentitud; así, por ejemplo, las colonias árticas se expanden a razón

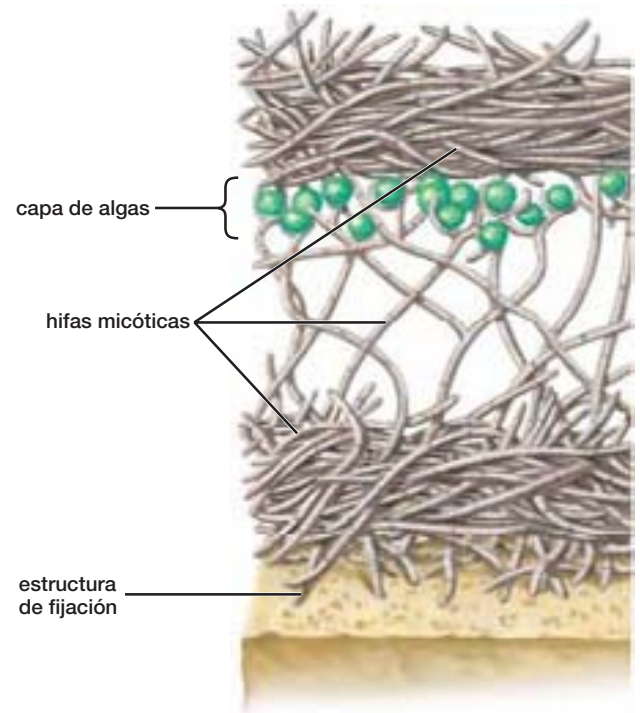


FIGURA 22-11 El líquen: una asociación simbiótica

La mayoría de los líquenes tienen una estructura en capas, limitada en las partes superior e inferior por una capa externa de hifas micóticas. Las estructuras de fijación formadas por hifas micóticas emergen de la capa inferior y anclan el líquen a una superficie, como una roca o un árbol. Una capa de algas donde las algas y los hongos crecen en estrecha asociación reside debajo de la capa superior de hifas.



a)



b)

FIGURA 22-12 Diversos líquenes

a) Un líquen incrustado de vistosos colores, que crece sobre una roca seca, ilustra la tenaz independencia de esta combinación simbiótica de hongo y alga.



FIGURA 22-13 Las micorrizas favorecen el crecimiento de las plantas

Hifas de micorrizas entrelazadas en torno a la raíz de un álamo temblón. Las plantas crecen mucho mejor en asociación simbiótica con estos hongos, que ayudan a poner los nutrientes y el agua a disposición de las raíces.

de 2.5 a 5 centímetros cada 1000 años. Pese a su lento crecimiento, los líquenes persisten durante largos periodos; algunos líquenes del Ártico tienen más de 4000 años de edad.

Las micorrizas son hongos asociados con las raíces de plantas

Las **micorrizas** son importantes asociaciones simbióticas entre hongos y raíces de plantas. Se sabe de más de 5000 especies de hongos micorrícicos (que incluyen representantes de todos los grupos de hongos principales) que crecen en asociación íntima con alrededor del 80 por ciento de todas las plantas con raíces, incluyendo la mayoría de los árboles. Las hifas de los hongos micorrícicos rodean la raíz de la planta e invaden sus células (**FIGURA 22-13**).

Las micorrizas ayudan a las plantas a alimentarse

La asociación entre plantas y hongos beneficia a ambos socios. Los hongos micorrícicos reciben moléculas de azúcar ricas en energía que las plantas producen por fotosíntesis y que pasan de sus raíces al hongo. En cambio, el hongo digiere y absorbe minerales y nutrientes orgánicos del suelo, y pasa algunos de ellos directamente a las células de la raíz. Los experimentos demuestran que el fósforo y el nitrógeno, nutrientes fundamentales para el crecimiento vegetal, están entre las moléculas que las micorrizas llevan del suelo a las raíces. Estos hongos también absorben agua y la transfieren a la planta, lo cual constituye una ventaja para ésta en los suelos arenosos secos.

La vida común entre las micorrizas y las plantas tiene una contribución esencial para la vitalidad de las plantas terrestres. Las plantas que carecen de micorrizas suelen ser más pequeñas y más débiles que las plantas con hongos micorrícicos. De manera que la presencia de micorrizas incrementa la productividad general de las comunidades vegetales en la Tierra y, por ende, aumenta la capacidad para sustentar animales y otros organismos que dependen de las plantas.

Las micorrizas ayudan a las plantas a probar la tierra

Algunos científicos piensan que las asociaciones micorrícicas pudieron haber sido importantes en la invasión de la tierra por las plantas hace más de 400 millones de años. Una rela-

ción así entre un hongo acuático y una alga verde (antepasado de las plantas terrestres) quizás haya ayudado al alga a adquirir el agua y los nutrientes minerales que necesitaba para sobrevivir fuera del agua.

El registro de fósiles es congruente con la hipótesis de que las micorrizas jugaron un papel importante en la colonización de la tierra por parte de las plantas. El fósil más antiguo de los hongos terrestres tiene aproximadamente 460 millones de años de antigüedad, casi la misma edad que los fósiles más viejos de las plantas terrestres. Tales hallazgos sugieren que los hongos y las plantas invadieron la tierra al mismo tiempo y quizá juntos. Además, los fósiles vegetales que se formaron poco después de dicha invasión muestran estructuras de raíces distintivas, parecidas a aquellas que se forman actualmente como respuesta ante la presencia de micorrizas. Esos fósiles muestran que micorrizas totalmente desarrolladas estuvieron presentes muy al principio de la evolución de las plantas terrestres y sugieren que una asociación planta-hongo más sencilla quizás ocurrió incluso antes.

Los endófitos son hongos que viven dentro de los tallos y las hojas de las plantas

La íntima asociación entre hongos y plantas no se limita a las micorrizas de la raíz. También se han encontrado hongos que viven dentro de tejidos que habitan en la superficie terrestre de prácticamente todas las especies vegetales en que se ha buscado su presencia. Algunos de estos **endófitos** (organismos que viven dentro de otro organismo) son parásitos que provocan enfermedades de las plantas; sin embargo, muchos —tal vez la mayoría— son benéficos para el huésped. Los casos mejor estudiados de endófitos micóticos benéficos son las especies de ascomicetos que viven dentro de las células de las hojas de muchas especies de césped. Estos hongos producen sustancias que son desagradables o tóxicas para los insectos y los mamíferos de pastoreo, y ayuda a proteger al césped de tales depredadores.

La protección contra depredadores que brindan los endófitos micóticos resulta tan suficientemente eficaz que los científicos están trabajando arduamente para descubrir una forma de desarrollar pastos que no tengan endófitos. Los caballos, las vacas y otros animales importantes de pastoreo suelen evitar comer césped que contienen endófitos. Cuando sólo está disponible como alimento el césped que contiene endófitos, los animales que lo consumen sufren de mala salud y lento crecimiento.

Algunos hongos son recicladores importantes

Al igual que las micorrizas y los endófitos, algunos hongos juegan un papel importante en el crecimiento y la conservación del tejido vegetal. No obstante, otros hongos juegan un papel similar en su destrucción. Únicos entre los organismos, los hongos pueden digerir tanto lignina como celulosa, las moléculas que forman la madera. Cuando un árbol u otra planta leñosa muere, sólo los hongos son capaces de descomponer sus restos.

Los hongos son los “empleados funerarios” de nuestro planeta, pues consumen no sólo madera muerta sino los “cadáveres” de todos los reinos. Los hongos que son **saprófitos** (que se alimentan de organismos muertos) regresan las sustancias componentes del tejido muerto a los ecosistemas de los cuales provienen. Las actividades digestivas extracelulares de los



FIGURA 22-14 Tizón del maíz

Este basidiomiceto patógeno ocasiona pérdidas por millones de dólares cada año en los cultivos de maíz. No obstante, incluso una plaga como el tizón del maíz tiene sus admiradores. En México, este hongo se conoce con el nombre de *huitlacoche* y se considera una delicia culinaria.

hongos saprofitos liberan nutrientes que las plantas pueden utilizar. Si los hongos y las bacterias desaparecieran repentinamente, las consecuencias serían desastrosas. Los nutrientes permanecerían encerrados en los cuerpos de plantas y animales muertos, el reciclaje de los nutrientes se detendría, la fertilidad del suelo disminuiría rápidamente, y los restos tanto orgánicos como no orgánicos se acumularían. En pocas palabras, el ecosistema se colapsaría.

22.4 ¿CÓMO AFECTAN LOS HONGOS A LOS SERES HUMANOS?

Por lo general, la gente piensa poco en los hongos, salvo quizá cuando aprecia ocasionalmente y por un momento el sabor de los champiñones en una pizza. Sin embargo, los hongos desempeñan un papel importante en la vida humana.

Los hongos atacan plantas que son importantes para las personas

Los hongos son causa de la mayoría de las enfermedades de las plantas y algunas de las plantas que infectan son importantes para los seres humanos. Por ejemplo, los hongos patógenos tienen un efecto devastador en la provisión de alimentos del mundo. Las plagas a vegetales por los basidiomicetos, que llevan los descriptivos nombres de *royas* y *tizones*, son particularmente nocivas y provocan daños por miles de millones de dólares cada año en los cultivos de cereales (FIGURA 22-14). Las enfermedades micóticas influyen asimismo en la apariencia de nuestros paisajes. El olmo americano y el castaño americano, dos especies de árboles que hace tiempo sobresalían en los parques, patios y bosques de Estados Unidos, fueron destruidos en escala masiva por los ascomicetos que causan la enfermedad del olmo holandés y la plaga del castaño. Actualmente pocos estadounidenses recuerdan las gráciles formas de los grandes olmos y castaños, pues casi han desaparecido por completo del paisaje.

Los hongos continúan atacando los tejidos vegetales mucho después de haber sido cosechados para uso humano. Para consternación de los propietarios de viviendas, una multitud de especies de hongos atacan la madera y la pudren. Ciertos mohos ascomicetos secretan las enzimas celulasa y proteasa, que causan importantes daños a los productos textiles de algodón y lana, especialmente en los climas húmedos y calurosos donde prosperan los mohos.

No obstante, los efectos de los hongos en la agricultura y la silvicultura no son todos negativos. Los hongos parásitos que atacan insectos y otras plagas de artrópodos pueden ser un importante aliado en el combate contra las plagas (FIGURA 22-15a). Los agricultores que desean reducir su dependencia de los plaguicidas químicos caros y tóxicos están usando cada vez más los métodos biológicos para el control de plagas, in-



a)



b)

FIGURA 22-15 Un útil hongo parásito

Los hongos patógenos pueden ser útiles para los seres humanos. Por ejemplo, un hongo como a) el *Cordyceps*, una especie que mató a un saltamontes, es utilizado por los granjeros para controlar las plagas de insectos. b) Algunos hongos podrían utilizarse para proteger a los seres humanos contra las enfermedades. Un mosquito portador de la malaria infectado por un *Beauveria* se transforma de un animal saludable (parte superior) en un cadáver incrustado en un hongo en menos de dos semanas.

cluyendo las aplicaciones de “fungicidas”. En la actualidad se usan hongos patógenos para combatir diversas plagas, como termitas, el gorgojo del arroz, la oruga de librea, los áfidos y los ácaros de los cítricos. Además, los biólogos han descubierto que ciertos hongos atacan y matan especies de mosquitos que transmiten la malaria (FIGURA 22-15b). Se planea clasificar estos hongos para luchar contra una de las enfermedades más mortíferas del mundo.

Los hongos producen enfermedades humanas

El reino Fungi incluye especies parásitas que atacan directamente a los seres humanos. Entre las enfermedades micóticas más conocidas están las provocadas por ascomicetos que atacan la piel: pie de atleta, tiña inguinal y sarna. Estas enfermedades, aunque son desagradables, no ponen en riesgo la vida y, por lo general, se tratan eficazmente con ungüentos antimicóticos. Un tratamiento oportuno habitualmente consigue combatir otra enfermedad micótica común: las infecciones vaginales causadas por la levadura *Candida albicans* (FIGURA 22-16). Los hongos también infectan los pulmones cuando la víctima inhala esporas de los hongos causantes de enfermedades como la fiebre de los valles y la histoplasmosis. Al igual que otras infecciones por hongos, cuando se diagnostican oportuna y correctamente, estas enfermedades se pueden combatir con medicamentos antimicóticos; sin embargo, si no se tratan, llegan a convertirse en infecciones sistémicas graves. El cantante Bob Dylan, por ejemplo, enfermó gravemente de histoplasmosis cuando el hongo infectó su pericardio, es decir, la membrana que envuelve el corazón.

Los hongos pueden producir toxinas

Además de su papel como agentes de enfermedades infecciosas, algunos hongos producen toxinas peligrosas para los seres humanos. De particular interés son las toxinas que producen los hongos que crecen sobre los granos y otros alimentos que fueron almacenados en condiciones de excesiva humedad. Por ejemplo, los mohos del género *Aspergillus* producen unos compuestos cancerígenos altamente tóxicos conocidos como aflatoxinas. Algunos alimentos, como los cacahuates, parecen especialmente susceptibles al ataque por *Aspergillus*. Desde que se descubrieron las aflatoxinas en la década de 1960, los cultivadores y procesadores de alimentos han ideado métodos para reducir el crecimiento de *Aspergillus* en las cosechas almacenadas, de manera que se logró disminuir considerable-

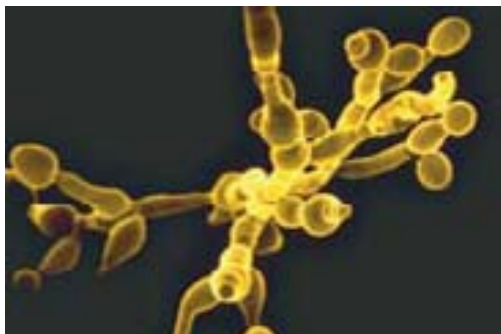


FIGURA 22-16 La insólita levadura

Las levaduras son unos ascomicetos fuera de lo común, normalmente no filamentosos, que se reproducen casi siempre por gemación. La levadura que aquí se muestra es *Candida*, una causa frecuente de infecciones vaginales.

mente la cantidad de aflatoxina en la mantequilla de cacahuete que consumimos.

Un hongo productor de toxinas tristemente célebre es el ascomiceto *Claviceps purpurea*, que infecta las plantas de centeno y causa una enfermedad conocida como cornezuelo del centeno. Este hongo produce varias toxinas que afectan a los seres humanos, cuando el centeno infectado se muele para convertirlo en harina y luego se consume. Esto sucedió con mucha frecuencia en el norte de Europa durante la Edad Media, con efectos devastadores. En ese tiempo, la intoxicación por cornezuelo era generalmente mortal, pero antes de morir, las víctimas experimentaban unos síntomas terribles. Una de las toxinas del cornezuelo es vasoconstrictora, lo cual significa que constriñe los vasos sanguíneos y reduce el flujo de sangre. El efecto puede ser tan intenso que genera gangrena y las extremidades se consumen y caen en pedazos. Otras toxinas del cornezuelo producen síntomas como sensación que- mante, vómito, espasmos convulsivos y alucinaciones vívidas. En la actualidad, las nuevas técnicas agrícolas han permitido eliminar eficazmente la intoxicación por cornezuelo del centeno; aunque permanece un legado en la forma de la droga alucinógena LSD, que es un derivado de un componente de las toxinas del cornezuelo.

Muchos antibióticos se derivan de los hongos

Los hongos también han tenido repercusiones positivas en la salud humana. La era moderna de los medicamentos antibióticos que salvan vidas se inició con el descubrimiento de la penicilina, que es producida por un moho ascomiceto (FIGURA 22-17; véase la figura 1-5). La penicilina todavía se utiliza, junto con otros antibióticos derivados de hongos, como la oleandomicina y la cefalosporina, para combatir enfermedades bacterianas. Otros fármacos importantes también provienen de los hongos, entre ellos la ciclosporina, que se utiliza para suprimir la respuesta inmunitaria durante los trasplantes de órganos y reducir así la tendencia del organismo a rechazar el órgano extraño.



FIGURA 22-17 *Penicillium*

Penicillium que crece sobre una naranja. Las estructuras reproductoras, que recubren la superficie del fruto, son visibles; debajo de ellas, las hifas extraen alimento del interior. El antibiótico penicilina se aisló por primera vez de este hongo. PREGUNTA: ¿Por qué algunos hongos producen químicos antibióticos?

GUARDIÁN DE LA TIERRA

El caso de las setas que desaparecen

Los micólogos, es decir, los científicos que estudian los hongos, y los cocineros gastronómicos parecen tener poco en común; no obstante, en tiempos recientes los ha unido una preocupación común: las setas están disminuyendo rápidamente en términos de número, tamaño promedio y diversidad de especies. Aunque el problema se reconoce con más facilidad en Europa, donde la gente recolecta setas silvestres desde hace siglos, los micólogos estadounidenses están alarmados, pues también en Estados Unidos podría estar ocurriendo esa disminución. ¿Por qué están desapareciendo las setas? La recolección excesiva de setas comestibles no es la causa, porque las formas tóxicas están sufriendo el mismo fenómeno. La pérdida es evidente en cualquier tipo de bosques maduros, por lo que los cambios en las prácticas de administración de los bosques no podrían ser la causa. El agente más probable es la contaminación del

aire, porque la pérdida de setas es máxima donde el aire presenta los niveles más altos de ozono, azufre y nitrógeno.

Aunque los micólogos aún no establecen con exactitud cómo daña la contaminación del aire a los hongos, los indicios son claros. En Holanda, por ejemplo, el número promedio de especies de hongos por cada 1000 metros cuadrados ha descendido de 37 a 12 en las últimas décadas. Veinte de las 60 especies estudiadas en Inglaterra están disminuyendo. La preocupación es aún mayor por el hecho de que los hongos más afectados son aquellos cuyas hifas forman asociaciones micorrízicas con las raíces de los árboles. Los árboles con menos micorrizas tienen menor resistencia a las sequías periódicas o a las rachas de frío intenso. Debido a que la contaminación del aire también daña directamente los bosques, la pérdida adicional de las micorrizas podría ser devastadora.

Los hongos hacen importantes aportaciones a la gastronomía

Los hongos hacen una importante contribución a la nutrición humana. Los componentes más evidentes de esta aportación son los hongos que consumimos directamente: champiñones y setas basidiomicetos tanto silvestres como cultivados, y ascomicetos como las morillas y la rara y apreciada trufa (véase la sección: “Conexiones evolutivas: El ingenio de los hongos: Cerdos, escopetas y lazos”). El papel de los hongos en la cocina, no obstante, también implica manifestaciones menos visibles. Por ejemplo, algunos de los quesos más famosos del mundo, como el Roquefort, el Camembert, el Stilton y el Gorgonzola, deben sus sabores característicos a los mohos ascomicetos que crecen en ellos mientras maduran. Quizá los contribuyentes micóticos más importantes y omnipresentes al suministro de alimentos, sin embargo, sean los ascomicetos unicelulares (unas pocas especies son basidiomicetos) conocidos como *levaduras*.

El vino y la cerveza se elaboran utilizando levaduras

que las levaduras cumplan su cometido es necesario hacer germinar los granos de cebada (recuérdese que los granos son en realidad semillas). Con la germinación, las plantas producen carbohidratos, por lo que la cebada germinada constituye una excelente fuente de alimento para las levaduras. Al igual que en el caso del vino, la fermentación convierte los azúcares en alcohol, pero los cerveceros atrapan el dióxido de carbono que se forma al mismo tiempo, para dar a la cerveza su característica carbonatación formadora de burbujas.

Las levaduras hacen que el pan se esponje

En la elaboración del pan, el dióxido de carbono es el producto de fermentación más importante. Las levaduras que se agregan a la masa de pan producen tanto alcohol como dióxido de carbono; pero el alcohol se evapora durante el horneado. En cambio, el dióxido de carbono queda atrapado en la masa, donde forma las burbujas que dan al pan su textura ligera y esponjosa (y nos salva de tener que comer emparedados de galleta toda la vida). Así, la próxima vez que usted disfrute de una rebanada de pan francés con queso Camembert y un buen vaso de Chardonnay, o una rebanada de pizza acompañada de una botella muy fría de su cerveza favorita, será bueno agradecerlo en silencio a las levaduras. Nuestra dieta sería sin duda mucho más insípida sin la ayuda que nos brindan nuestros socios micóticos.

CONEXIONES EVOLUTIVAS

El ingenio de los hongos: Cerdos, escopetas y lazos

La selección natural, ejercida a lo largo de millones de años sobre las diversas formas de hongos, ha producido algunas notables adaptaciones que permiten a los hongos dispersar sus esporas y obtener nutrientes.

La trufa, rara y deliciosa

Aunque muchos hongos son apreciados como alimento, ninguno se busca con tanta avidez como la trufa (**FIGURA 22-18**

ENLACES CON LA VIDA

Recolecta con cuidado

A principios de la década de 1980, los médicos en un hospital de California notaron una curiosa tendencia. En unos cuantos meses se incrementó significativamente el número de pacientes que ingresaban para recibir el tratamiento por envenenamiento, y muchos de éstos murieron. ¿Qué causó ese repentino brote de envenenamiento? La investigación posterior reveló que en la mayoría de los casos las víctimas fueron inmigrantes recientes de Laos o Camboya. Luchando por adaptarse a su nuevo país, se sintieron maravillados al descubrir que los bosques californianos contenían setas que eran muy parecidas a las que colectaban para alimentarse en Asia. Por desgracia, la semejanza era sólo superficial; las setas eran en efecto especies venenosas. La búsqueda de estos inmigrantes para encontrar "alimentos emocionalmente nostálgicos" tuvo consecuencias funestas.

En general, los inmigrantes de países donde los hongos se colectan comúnmente han demostrado ser especialmente susceptibles al envenenamiento con setas tóxicas. Sin embargo, no son las únicas víctimas: cada año varios niños pequeños, recolectores inexpertos e invitados desafortunados a comidas gourmet realizan viajes inesperados al hospital después de ingerir setas silvestres venenosas.

Tal vez resulte divertido y gratificante recolectar setas silvestres, las cuales ofrecen algunos de los sabores más ricos y complejos que el ser humano puede experimentar. Pero si tú decides salir a recolectar, ten mucho cuidado porque algunos de los venenos más mortíferos conocidos están en las setas. En especial destacan por su veneno ciertas especies del género *Amanita*, cuyos sugerentes nombres comunes son sombrero de la muerte y ángel destructor (FIGURA E22-1). Tales nombres se ganaron a pulso, ya que incluso una sola mordida a alguna de estas

setas podría ser mortal. El daño por las toxinas de la *Amanita* es más severo en el hígado, donde se suelen acumular las toxinas. A menudo las víctimas de envenenamiento con *Amanita* logran salvarse únicamente trasplantándoles un hígado. Así que asegúrate de proteger tu salud invitando a un experto a que te acompañe en tus expediciones en busca de setas.



FIGURA E22-1 El ángel destructor

El basidiomiceto *Amanita virosa* produce setas que pueden resultar mortales.



FIGURA 22-18 La trufa

Las trufas, unos ascomicetos poco comunes (cada uno del tamaño de una pequeña manzana), son un manjar gastronómico.

Cuando los cerdos excitados desentierran y devoran la trufa, millones de esporas se dispersan en el aire. Los recolectores de trufas utilizan cerdos con bozal para buscar a su presa. ¡Un buen cerdo trufero puede oler una trufa del subsuelo a 50 metros de distancia! En la actualidad los perros son los asistentes más comunes de los buscadores de trufas.

El método de la escopeta para dispersar esporas

Si uno se acerca lo suficiente a un montón de estiércol de caballo para escudriñarlo, quizá consiga observar las hermosas y delicadas estructuras reproductoras del cigomiceto *Pilobolus* (FIGURA 22-19). No obstante su finura, se trata en realidad de escopetas micóticas. Los bulbos transparentes, rematados con estuches de esporas negros y pegajosos, se extienden a partir de hifas que penetran en el estiércol. Conforme los bulbos maduran, la concentración de azúcar en su interior aumenta y succionan agua por ósmosis. Entre tanto, el bulbo comienza a debilitarse inmediatamente por debajo del sombrerillo. De improviso, y como un globo inflado en exceso, el bulbo revienta y lanza su estuche de esporas hasta una altura de un metro.

Las esporas arrastradas por el aire quizá se depositen en algunas hojas de césped, porque el *Pilobolus*



FIGURA 22-19 Un cigomiceto explosivo

Las delicadas y translúcidas estructuras reproductoras del cigomiceto *Pilobolus* se vuelan literalmente la cabeza cuando están maduras, para dispersar las cápsulas negras con su carga de esporas.



FIGURA 22-20 Némesis de los nematodos

Arthrobotrys, el estrangulador de nematodos (gusanos redondos), atrapa a su presa en una hifa modificada semejante a un lazo corredizo, la cual se hincha cuando algo entra en contacto con la superficie interior del lazo.

las consume un herbívoro, quizás un caballo, al pastar. Más tarde, y a cierta distancia de ahí, el caballo depositará un montón de estiércol fresco con esporas de *Pilobolus* que han pasado intactas a través de su conducto digestivo. Las esporas germinan y las hifas, al crecer, penetran en el estiércol (que es una rica fuente de nutrimentos) y, finalmente, lanzan nuevos proyectiles para continuar con este ingenioso ciclo.

La némesis de los nematodos

Los *nematodos* (gusanos redondos) microscópicos abundan en los suelos ricos; en tanto que los hongos han perfeccionado varias formas fascinantes de hifas para atrapar nematodos, que les permiten explotar esta rica fuente de proteína. Cier-

tos hongos producen vainas pegajosas que se adhieren a los nematodos que pasan y penetran en el cuerpo del gusano mediante hifas, las cuales comienzan entonces a digerir al gusano desde adentro. Una especie lanza una espora microscópica parecida a un arpón hacia los nematodos que pasan; la espora se convierte en un nuevo hongo dentro del gusano. El estrangulador de hongos *Arthrobotrys* produce lazos formados de tres células hifales. Cuando un nematodo entra en el lazo, su contacto con las partes internas del lazo es un estímulo que provoca que las células de éste se hinchen de agua (**FIGURA 22-20**). En una fracción de segundo, el orificio se contrae y atrapa al gusano. Después, las hifas del hongo penetran y se dan un banquete con su presa.

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO HONGOS DESCOMUNALES



¿Por qué el hongo *Armillaria* crece tanto? En parte su tamaño se debe a su capacidad para formar rizomorfos, los cuales consisten en hifas agrupadas dentro de una corteza protectora. Las hifas así encerradas llevan nutrimentos a los rizomorfos, y les permiten extenderse grandes distancias por las áreas con insuficiencia de nutrimentos, para obtener nuevas fuentes de alimentos. Los hongos *Armillaria*, entonces, pueden crecer más allá de los límites de una región específica rica en alimento.

Otro factor que puede contribuir con el enorme tamaño del *Armillaria* de Oregon es el clima donde se encuentra. En esta región árida, los cuerpos fructíferos micóticos se

forman sólo rara vez, de manera que el colosal *Armillaria* rara vez produce esporas. En ausencia de esporas que podrían desarrollarse como nuevos individuos, el individuo existente enfrenta poca competencia por los recursos, y está en libertad para crecer y cubrir una área cada vez más grande.

El descubrimiento del espécimen de Oregon es únicamente el último capítulo de una benéfica "guerra de los hongos" a largo plazo, que empezó en 1992 con el descubrimiento de la primera seta enorme, un *Armillaria gallica* de 150,000 m² que crece en Michigan. Desde ese importante descubrimiento inicial, los grupos de investigadores en Michigan, Washington, y Oregon se han enfrascado en una amistosa competencia para encontrar el hongo más grande. ¿Algún

día se romperá el récord existente? Permanece atento.

Piensa en esto Como todo el *Armillaria* de Oregon creció a partir de una sola espora, todas sus células son genéticamente idénticas. Sin embargo, no todas sus partes son fisiológicamente dependientes entre sí, por lo que es poco probable que alguna sustancia recorra los 9 kilómetros cuadrados del micelio. Tampoco hay una epidermis, membrana o corteza que cubra todo el micelio y lo aisle del ambiente como una unidad. ¿La uniformidad genética del hongo es evidencia suficiente para considerarse un solo individuo, o se requiere de una mayor integración fisiológica? ¿Crees que sea válido el título de "el organismo más grande del mundo"?

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

22.1 ¿Cuáles son las principales características de los hongos?

Los cuerpos micóticos se componen generalmente de hifas filamentosas, que son multicelulares o multinucleadas, y forman grandes redes entrelazadas llamadas micelios. Los núcleos de los hongos por lo común son haploides. Una pared celular de quitina envuelve las células micóticas.

Todos los hongos son heterótrofos, secretan enzimas digestivas afuera de su cuerpo y absorben los nutrientes que se liberan.

Los hongos se reproducen de formas variadas y complejas. La reproducción asexual se lleva a cabo ya sea por fragmentación del micelio o por formación de esporas asexuales. Las esporas sexuales se forman una vez que los núcleos haploides se fusionan para formar un cigoto diploide, que sufre meiosis para formar esporas sexuales haploides. Las esporas, tanto asexuales como sexuales, producen micelios haploides por mitosis.

Web tutorial 22.1 La estructura y reproducción de los hongos

22.2 ¿Cuáles son los principales grupos de hongos?

Los principales *fila* de los hongos, así como sus características, se resumen en la tabla 22-1.

Web tutorial 22.2 Clasificación de los hongos

22.3 ¿Cómo interactúan los hongos con otras especies?

Un líquen es una asociación simbiótica entre un hongo y algas o cianobacterias. Esta combinación autosuficiente puede colonizar rocas desnudas. Las micorrizas son asociaciones entre hongos y las raíces de casi todas las plantas vasculares. El hongo obtiene sus nutrientes fotosintéticos de las raíces de la planta y, a cambio, lleva agua y nutrientes del suelo circundante al interior de la raíz. Los endófitos son hongos que crecen dentro de las hojas o los tallos de las plantas, y que ayudan a proteger las plantas que los tienen. Los hongos saprofitos son agentes de descomposición sumamente importantes en los ecosistemas. Sus cuerpos filamentosos penetran en los suelos ricos y en el material orgánico en descomposición, y liberan nutrientes por digestión extracelular.

22.4 ¿Cómo afectan los hongos a los seres humanos?

La mayoría de las enfermedades de las plantas se deben a hongos parásitos. Algunos hongos parásitos ayudan a combatir las plagas de insectos en los cultivos. Otros producen enfermedades humanas, como la tiña, el pie de atleta y las infecciones vaginales ordinarias. Algunos hongos producen toxinas que pueden dañar a los seres humanos. Pese a ello, los hongos confieren variedad a las opciones alimentarias humanas; en tanto que la fermentación con hongos permite elaborar vino, cerveza y pan.

TÉRMINOS CLAVE

ascomiceto pág. 429

asca pág. 429

basidio pág. 429

basidiomiceto pág. 429

basidiospora pág. 429

cigomiceto pág. 426

cigospora pág. 429

espora pág. 425

esporangio pág. 426

hifa pág. 424

hongo con saco

pág. 429

hongo de clava pág. 429

líquen pág. 430

micelio pág. 424

micorriza pág. 432

quitridiomicetos

pág. 425

septo pág. 424

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

Describe la estructura del cuerpo micótico. ¿En qué difieren las células micóticas de la mayoría de las células vegetales y animales?

¿Qué parte del cuerpo micótico está representada por las setas, los bejines y otras estructuras similares? ¿Por qué sobresalen del suelo dichas estructuras?

¿Cuáles son dos enfermedades de las plantas, causadas por hongos parásitos, que han tenido enormes repercusiones en los bosques de Estados Unidos? ¿A qué *fila* pertenecen estos hongos?

Menciona algunos hongos que ataquen los cultivos. ¿A qué *filum* pertenece cada uno?

5. Describe la reproducción asexual de los hongos.

6. ¿Cuál es el ingrediente estructural principal de la pared celular de los hongos?

7. Señala los principales *fila* de los hongos, describe la característica de la que cada una toma su nombre y cita un ejemplo de cada una.

8. Describe la formación de un anillo de hada en setas. ¿Por qué existe una relación entre el diámetro y la edad del anillo?

9. Describe dos asociaciones simbióticas entre hongos y organismos de otros reinos. En cada caso, explica el efecto de estas asociaciones en cada uno de los socios.



El zoológico congelado consiste en muestras de tejido y células sexuales, a menudo de especies en peligro de extinción, preservadas en nitrógeno líquido. (Imagen en recuadro) El último pájaro po'ouli murió en 2004, pero sus células viven en el zoológico congelado.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO El zoológico congelado

40.1 ¿Cómo se reproducen los animales?

La reproducción asexual no implica la fusión de espermatozoide y óvulo

La reproducción sexual requiere de la unión de un espermatozoide y un óvulo

40.2 ¿Cómo funciona el aparato reproductor humano?

La capacidad para reproducirse se inicia en la pubertad

El tracto reproductor masculino incluye los testículos y las estructuras accesorias

El tracto reproductor femenino comprende los ovarios y las estructuras accesorias

La cópula permite la fecundación interna

De cerca: El control hormonal del ciclo menstrual

Guardián de la salud: Enfermedades de transmisión sexual

40.3 ¿Cómo podemos limitar la fertilidad?

La esterilización es un método anticonceptivo permanente

La anticoncepción y el aborto evitan o ponen fin al embarazo

Guardián de la salud: Reproducción con alta tecnología

Investigación científica: En busca de un anticonceptivo masculino

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO El zoológico congelado



ESTUDIO DE CASO EL ZOOLOGICO CONGELADO

EN ENERO DE 2000, el último bucardo (una cabra nativa de los Pirineos españoles) que quedaba vivo murió cuando un árbol le cayó encima. En 2004 el último pájaro hawaiano po'ouli (imagen en recuadro) que quedaba en el mundo murió en el Centro de Conservación para Aves de Maui. Pero existe la esperanza de que las futuras generaciones conozcan estas especies extintas. Gracias al "zoológico congelado" de San Diego, sus células, que contienen sus mapas genéticos, se mantienen vivas por un método llamado *criogenia* (el cual permite conservarlas con vida en un estado de profundo congelamiento), que se puso en práctica antes de la extinción de las especies. El zoológico congelado de San Diego alberga colecciones de tejidos, espermatozoides y óvulos de unos 5000 animales que representan unas 300 especies, almacenados en contenedores especiales llenos de nitrógeno líquido a -196°C (-320°F). Muchas de estas especies están en peligro de extinción, es decir, a diferencia del bucardo y el po'ouli, la mayoría de ellas no están extintas. Existen unos 12

zoológicos congelados en el mundo, los cuales brindan la materia prima para una forma única de conservación de la vida silvestre mediante *tecnología reproductiva asistida* (TRA).

Este enfoque de la conservación de la vida silvestre implica técnicas como la inseminación artificial, la fertilización in vitro, la transferencia de embriones entre especies (el uso de una madre sustituta para una especie diferente, pero emparentada) e incluso la clonación. Estas técnicas están rodeadas de controversia y frustración, aunque han conducido a algunas historias de éxito que sirven de inspiración. La inseminación artificial se ha convertido en la piedra angular en los esfuerzos para salvar al hurón de patas negras, el panda gigante y el guepardo. La *fertilización in vitro* (FIV, en la que el espermatozoide y el óvulo se unen en una caja de Petri) es ahora una importante herramienta de conservación. Una ventaja importante de la FIV es que permite transportar los espermatozoides de una especie en peligro de extinción —entre continentes, si es necesario— para fertilizar a la hembra apro-

piada. Esto elimina el riesgo y el trauma que implica transportar animales; también evita la posibilidad real de que, una vez juntos los ejemplares, haya un rechazo hacia la pareja. Los mayores éxitos de la FIV incluyen el primer tigre siberiano "de probeta" en 1990, un gorila en 1996 y el primer panda en 2003. Irónicamente, la pérdida de especies que hace que la TRA sea tan importante es el enorme éxito reproductivo de una sola especie: el *Homo sapiens*. La floreciente población humana amenaza la vida silvestre en todo el mundo, a medida que continuemos usurpando los hábitat de la vida silvestre para obtener alimento, espacios para vivienda y recursos naturales, y en tanto nuestro consumo de energía altere el clima global.

¿Cómo se reproducen los animales, incluidos los seres humanos? ¿Qué opciones tenemos para controlar la reproducción? ¿Cómo ayuda la tecnología reproductiva asistida a las parejas que sufren infertilidad? ¿Se justifican las soluciones de alta tecnología para preservar a las especies en peligro de extinción?

40.1 ¿CÓMO SE REPRODUCEN LOS ANIMALES?

Los animales se reproducen de forma sexual o asexual. En la **reproducción sexual** el animal produce gametos haploides mediante meiosis. En un proceso llamado **fecundación**, dos gametos, por lo regular de progenitores distintos, fusionan sus núcleos para dar origen a una célula diploide, que luego se divide por mitosis para producir un individuo diploide. Puesto que el descendiente recibe genes de ambos progenitores, su genoma no es idéntico al de ninguno de ellos. En contraste, en la **reproducción asexual** sólo interviene un animal que produce descendientes mediante una mitosis repetida de células de alguna parte de su cuerpo, de manera que los descendientes son genéticamente idénticos al progenitor.

Como el ser humano y muchos animales se reproducen sexualmente, tendemos a considerar la reproducción sexual como el método normal y el mejor. Sin embargo, aunque la reproducción sexual produce nuevas combinaciones de genes, la reproducción asexual es mucho más eficiente, pues los individuos pueden efectuarla por sí solos. No debe extrañarnos que muchos animales se reproduzcan asexualmente, al menos parte del tiempo.

La reproducción asexual no implica la fusión de espermatozoide y óvulo

La gemación produce una versión miniatura del adulto

Muchas esponjas y celentéreos, como la hidra y algunas anémonas de mar, se reproducen por **gemación** (FIGURA 40-1). Una versión miniatura del animal, llamada *yema*, crece directamente en el cuerpo del adulto, del cual obtiene nutrientes. Una vez que ha crecido lo suficiente, la yema se separa y se vuelve independiente.

La fisión seguida de regeneración puede producir un nuevo individuo

Muchos animales pueden efectuar **regeneración**, es decir, la capacidad de hacer crecer partes del cuerpo que se han perdido. Por ejemplo, las estrellas de mar regeneran un brazo que pierden por un accidente, en tanto que las lagartijas regeneran la cola que perdieron por el ataque de un depredador. La regeneración es parte de la reproducción en las especies que se reproducen por **fisión**. Varias especies de anélidos y platel-

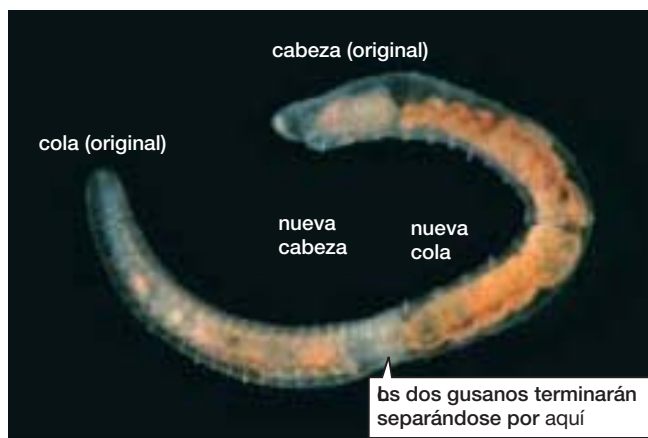


FIGURA 40-2 Fisión seguida de regeneración

Este anélido marino (segmentado) puede reproducirse dividiendo su cuerpo y regenerando cada mitad. **PREGUNTA:** ¿Qué tipo de división celular da origen a las células del cuerpo del descendiente?

mintos se reproducen dividiéndose en dos o más fragmentos, cada uno de los cuales regenera un cuerpo completo (FIGURA 40-2). Unas cuantas especies de estrella de mar quebradiza se reproducen de forma similar. Entre los celentéreos (es decir, anémonas, medusas y sus parientes), algunas especies de coral y algunas anémonas pueden dividirse longitudinalmente en mitades y regenerarse para formar dos nuevos individuos.

En la partenogénesis, los óvulos se desarrollan sin fecundación

Las hembras de algunas especies de animales se pueden reproducir por un proceso llamado **partenogénesis**, en el que óvulos haploides se dividen por mitosis y se desarrollan sin ser fecundados para constituir adultos. La descendencia de algunas especies producida por partenogénesis sigue siendo haploide. Por ejemplo, las abejas macho son haploides, pues nacen de óvulos no fecundados; sus hermanas diploides se desarrollan a partir de óvulos fecundados. Por otra parte, algunos peces, anfibios y reptiles se reproducen por partenogénesis, pero recuperan el número diploide de cromosomas duplicando todos éstos, ya sea antes o después de la meiosis. Todos los descendientes son hembras.

Algunas especies de peces, como ciertos parientes de los *mollies* y los *platys* que tanto se venden en las tiendas de peces tropicales, y algunas lagartijas, como la cola de látigo, común en México y el suroeste de Estados Unidos (FIGURA 40-3), tienen poblaciones que consisten exclusivamente en hembras que se reproducen por partenogénesis. Otros animales, como los áfidos, se pueden reproducir sexualmente o por partenogénesis, dependiendo de factores ambientales como la estación del año o la disponibilidad de alimento (



FIGURA 40-3 Lagartija cola de látigo



FIGURA 40-4 Un áfido hembra en reproducción

En la primavera y principios del verano, cuando abunda el alimento, las hembras de los áfidos se reproducen por partenogénesis. De hecho, el desarrollo del tracto reproductor es tan rápido que las hembras ¡nacen embarazadas! En el otoño, la reproducción es sexual. **PREGUNTA:** ¿Por qué los áfidos se reproducen sexualmente en el otoño?

La reproducción sexual requiere de la unión de un espermatozoide y un óvulo

En vista de la eficiencia obvia de la reproducción asexual, nadie sabe con certeza por qué surgió la reproducción sexual para convertirse en la forma dominante de reproducción. La reproducción sexual tiene una consecuencia importante: la recombinación genética que tiende a crear genotipos novedosos —y, por consiguiente, nuevos fenotipos— que son una fuente importante de variación sobre la cual puede actuar la selección natural.

En los animales se efectúa reproducción sexual cuando un espermatozoide haploide fecunda a un óvulo haploide para generar un descendiente diploide. En casi todas las especies animales, un individuo es macho o hembra. Los sexos se definen por el tipo de gameto que cada uno produce. Las hembras producen **óvulos**: células grandes, inmóviles, que contienen reservas de alimento. Los machos producen **espermatozoides**, que son pequeños, móviles y casi no tienen citoplasma ni reservas alimenticias.

En algunos animales, como la lombriz de tierra y muchos caracoles, un mismo individuo produce espermatozoides y óvulos. Tales individuos se llaman comúnmente **hermafroditas** (por Hermafrodito, un dios griego cuyo cuerpo se unió con el de una ninfa acuática y produjo un ser mitad hombre y mitad mujer). En casi todas las especies hermafroditas, la reproducción implica un intercambio de espermatozoides entre individuos, como ocurre entre las lombrices de tierra (**FIGURA 40-5**). Sin embargo, en algunas especies hermafroditas, un individuo puede fecundar sus propios óvulos, si no hay una pareja disponible. Estos animales, entre los que destacan la solitaria y muchos caracoles de estanque, son relativamente poco móviles y podrían quedar aislados de otros miembros de su especie. En tales circunstancias, la capacidad de autofecundación, sin duda, es una ventaja.

En el caso de las especies con dos sexos y de las hermafroditas que no pueden autofecundarse, la reproducción requiere juntar espermatozoides de un individuo con óvulos de otro, para que haya fecundación. La unión de espermatozoides y óvulos se logra de diversas maneras, dependiendo de la movilidad de los animales y de si se reproducen en el agua o sobre la tierra.



FIGURA 40-5 Las lombrices de tierra intercambian espermatozoides

La fecundación externa se efectúa afuera del cuerpo de los progenitores

En la **fecundación externa**, la unión del espermatozoide y el óvulo se efectúa afuera del cuerpo de los progenitores. Si los animales se reproducen en el medio acuático, los progenitores liberan espermatozoides y óvulos al agua; luego, aquéllos nadan hasta llegar a los óvulos. Este procedimiento se llama **desove**. Puesto que los espermatozoides y óvulos tienen una vida relativamente efímera, los animales que desovan deben coordinar sus comportamientos reproductores, tanto *temporalmente* (el macho y la hembra desovan al mismo tiempo) como *espacialmente* (el macho y la hembra desovan en el mismo lugar). La sincronización puede lograrse mediante señales, comportamientos de cortejo, indicios ambientales o alguna combinación de estos factores.

Casi todos los animales que desovan dependen en algún grado de indicios ambientales. La reproducción suele efectuarse sólo durante ciertas épocas del año; indicios como los cambios en la duración del día generalmente estimulan los cambios fisiológicos que preparan al cuerpo para la reproducción. Sin embargo, se requiere una sincronía más precisa para coordinar la liberación de los espermatozoides y los óvulos. Por ejemplo, muchas especies de coral sincronizan el desove con base en la fase lunar, liberando de manera simultánea paquetes de espermatozoides y óvulos en el agua (**FIGURA 40-6**). Aunque muchos espermatozoides y óvulos conforman cada paquete liberado por estos animales hermafroditas, por lo



FIGURA 40-6 Indicios ambientales podrían sincronizar el desove
En la Gran Barrera de Arrecifes de Australia, miles de corales desovan de manera simultánea, creando un efecto de “ventisca”. El desove en estos corales está vinculado a las fases lunares.



a)



b)

FIGURA 40-7 Los rituales de cortejo sincronizan la liberación de espermatozoides y óvulos

a) Los rituales de cortejo entre peces luchadores siameses (*Betta splendens*) aseguran la fecundación de los óvulos de la hembra, pues el macho y la hembra sueltan espermatozoides y óvulos de forma simultánea. El macho intercepta los óvulos a medida que caen, los escupe hacia su nido de burbujas que flota arriba de ellos y cuida a la descendencia durante sus primeras semanas de vida.

El desove en el caballito de mar requiere que el macho y la hembra orienten sus cuerpos de forma que la hembra pueda depositar sus óvulos en la bolsa del macho. **PREGUNTA:** Además de asegurar la liberación sincronizada de gametos, ¿qué otras ventajas tienen los rituales de cortejo?

regular, no se autofecundan. Los óvulos no están listos para la fecundación inmediatamente, y esta demora les permite mezclarse con los espermatozoides de otros individuos de la misma especie.

Algunos animales comunican su disposición sexual enviando señales visuales, acústicas o químicas. Las señales químicas son muy comunes entre invertebrados inmóviles o poco activos, como los mejillones y las estrellas de mar. Estos animales secretan al agua sustancias llamadas **feromonas**, las cuales son

detectadas por otros miembros de la especie. Normalmente, cuando la hembra está lista para desovar, descarga óvulos y una feromona sexual al agua. Los machos cercanos, al detectar la feromona de apareamiento, liberan rápidamente millones de espermatozoides. Los espermatozoides en sí son atraídos por una sustancia producida por los óvulos de algunos animales, y muy probablemente de casi todos. Algunas “feromonas de óvulo”, que se han detectado en animales tan diversos como las estrellas de mar y el ser humano, ayudan a garantizar la fecundación.

La sincronización temporal, por sí sola, no garantiza una reproducción eficiente. Los corales, las estrellas de mar y los mejillones desperdician cantidades enormes de espermatozoides y óvulos porque los gametos se liberan en puntos relativamente distantes. En algunas especies de animales móviles es posible asegurar la sincronía temporal y espacial, mediante comportamientos de apareamiento. Casi todos los peces, por ejemplo, tienen algún tipo de ritual de cortejo en el que el macho y la hembra se acercan mucho y liberan sus gametos en el mismo lugar y al mismo tiempo. Las danzas de cortejo del caballito de mar y de los peces luchadores siameses son ejemplos exquisitos de ello (**FIGURA 40-7**). La hembra del caballito de mar, cargada de óvulos, se aproxima al macho e inicia una elaborada danza en la que ambos participantes se acercan, oscilan e inclinan la cabeza antes de que sus colas se entrelacen y sus cuerpos se alineen cara a cara. En una inusual inversión de roles sexuales, la hembra inserta un tubo para depositar sus óvulos en la bolsa ubicada en el abdomen del macho. Cuando deposita sus óvulos en la bolsa, el macho libera una nube de espermatozoides desde una abertura en la parte inferior; luego sella los óvulos fecundados en su bolsa. Unas cuantas semanas después, los huevos eclosionan y el macho da a luz a perfectos caballitos de mar en miniatura. Las ranas y los sapos asumen una posición de apareo característica llamada *amplexus* (**FIGURA 40-8**). En las orillas de estanques y lagos, la rana macho se monta en la hembra y presiona los costados de su abdomen. Esto la estimula para que libere óvulos, que el macho fecunda al liberar muchos espermatozoides. Los sapos dorados que aquí aparecen en *amplexus* fueron alguna vez abundantes en los bosques neblinosos de



FIGURA 40-8 Los sapos dorados en amplexus

El pequeño macho sujeta con fuerza a la hembra y la estimula para que libere óvulos. Se cree que los sapos dorados se extinguieron.



a)



b)

FIGURA 40-9 La reproducción en tierra requiere de la fecundación interna

a) Un rinoceronte de Sumatra macho, en peligro de extinción, monta a una hembra para aparearse. b) Un grillo mormón hembra introduce un paquete de espermatozoides en su cuerpo.

Costa Rica, pero no se les ha vuelto a ver desde 1989. Su desaparición, en opinión de los científicos, fue provocada por cambios ambientales relacionados con el uso del suelo y el calentamiento global; además, fue tan repentina que nadie pensó en preservar la herencia genética de tal especie en un zoológico congelado, así que ésta se perdió para siempre.

La fecundación interna se efectúa dentro del cuerpo de la hembra

En la **fecundación interna**, los espermatozoides se introducen en el cuerpo de la hembra, donde tiene lugar la fecundación. La fecundación interna es una adaptación importante a la vida terrestre, porque los espermatozoides deben permanecer bañados en líquido hasta que llegan a los óvulos. Incluso en entornos acuáticos, la fecundación interna eleva la probabilidad de alcanzar el éxito, porque los espermatozoides y los óvulos están confinados juntos en un espacio pequeño, en lugar de depender de encuentros dentro de un gran volumen de agua.

La fecundación interna por lo regular se realiza mediante la **cópula**, el comportamiento por el cual el macho deposita espermatozoides directamente en el tracto reproductor de la hembra (**FIGURA 40-9a**). En una variación de la fecundación interna, los machos de algunas especies empaquetan sus espermatozoides en un envoltorio llamado **espermatóforo** (“porta-



FIGURA 40-10 Competencia por las hembras

Al salir del estado de hibernación, masas de serpientes jarreteras macho compiten para aparearse con las hembras.

dor de espermatozoides” en griego). En muchas especies que producen espermatóforos, como algunos escorpiones, saltamontes y salamandras, no se efectúa cópula. El macho simplemente suelta un espermatóforo en el suelo; si una hembra lo encuentra, se fecunda a sí misma insertándolo en su cavidad reproductora, donde se liberan los espermatozoides que contiene (**FIGURA 40-9b**).

Entre los animales que copulan para reproducirse, los machos compiten por las hembras. Esta competencia ha propiciado el desarrollo evolutivo de una amplia variedad de estructuras y comportamientos reproductores seleccionados sexualmente. Un ejemplo espectacular de competencia para el acceso a parejas se da a principios de la primavera en los bosques occidentales de Canadá. Conforme la nieve se derrite y el suelo se calienta, las serpientes jarreteras macho salen de sus guaridas subterráneas donde invernarón en grupos de millares. Posteriormente salen las hembras y se inicia un frenesí de apareamiento. En un mar de miles de cuerpos que se retuercen, cada hembra atrae a docenas o incluso centenares de machos (**FIGURA 40-10**). Sólo uno de ellos logrará copular con ella.

Para que la fecundación ocurra, un óvulo maduro debe estar presente. Muchos caracoles e insectos hembra almacenan espermatozoides dentro de sus cuerpos durante días o incluso meses, lo que garantiza una provisión para cuando los óvulos estén listos. En los mamíferos, los cuales no almacenan espermatozoides, el comportamiento de apareamiento debe estar sincronizado. A menudo la hembra experimenta la **ovulación** (cuando el ovario libera un óvulo) sólo durante ciertos momentos del año y da señales de que está lista para aparearse mediante feromonas y comportamientos. La cópula misma provoca la ovulación en unos cuantos mamíferos, como el conejo. Los zoólogos que intentaban criar un rinoceronte de Sumatra hembra (véase la figura 40-9a), una especie que no se había logrado reproducir en cautiverio durante un siglo, finalmente descubrieron que su ovulación era estimulada por el cortejo; fue así como nacieron dos rinocerontes. Los esperma-

tozoides de rinocerontes de Sumatra, almacenados en un zoológico congelado en Cincinnati, Ohio, algún día ayudarán a recuperar esta especie en peligro crítico de extinción. Sólo existen unos 300 ejemplares en vida silvestre, en parte porque sus cuernos son muy preciados como afrodisíacos.

40.2 ¿CÓMO FUNCIONA EL APARATO REPRODUCTOR HUMANO?

Los seres humanos, al igual que otros mamíferos, tienen sexos separados, copulan y se reproducen por fecundación interna. Las **gónadas** de los mamíferos son órganos en pares que producen células sexuales: espermatozoides y óvulos. Aunque casi todas las especies de mamíferos se reproducen únicamente durante ciertas épocas del año y, por lo tanto, sólo producen espermatozoides y óvulos en ese momento, la reproducción humana no está restringida a ciertas temporadas. Los hombres producen espermatozoides de forma más o menos continua y las mujeres *ovulan* (liberan un óvulo maduro) aproximadamente una vez al mes.

La capacidad para reproducirse se inicia en la pubertad

La maduración sexual tiene lugar en la **pubertad**, una etapa de desarrollo caracterizada por el rápido crecimiento y la aparición de caracteres sexuales secundarios en ambos sexos. Aunque la pubertad comienza por lo general a partir de los 13 años, en ocasiones se inicia a una edad tan temprana como los 8 años o tan avanzada como los 15 años. Durante la pubertad, la maduración del cerebro en ambos sexos hace que el hipotálamo aumente la producción de la **hormona liberadora de gonadotropinas** (GnRH), la cual estimula a la hipófisis ante-

rior para que produzca **hormona luteinizante (LH)** y la **hormona estimuladora de folículos (FSH)**. Estas hormonas estimulan a los testículos para que produzcan más hormona sexual masculina, la **testosterona**, y a los ovarios para que produzcan más hormona sexual femenina, el **estrógeno**. En respuesta al aumento de testosterona, los hombres desarrollan caracteres sexuales secundarios: el **pene** (que deposita los espermatozoides en la vagina) y los **testículos** crecen; aparece el vello en el pubis y las axilas, así como en el rostro; la laringe se aumenta de tamaño (lo que hace la voz más grave); además, aumenta el desarrollo muscular. En respuesta al aumento de estrógeno (y otras hormonas que surgen en la pubertad), en las mujeres crecen las mamas, aparece vello en el pubis y las axilas, y aparece la menstruación. También ocurren cambios en el cerebro, todo lo cual hace que ésta sea una etapa interesante tanto para los adolescentes como para sus padres.

El tracto reproductor masculino incluye los testículos y las estructuras accesorias

El aparato reproductor masculino (tabla 40-1 y FIGURA 40-11) consiste en los **testículos** y las estructuras accesorias que secretan sustancias para activar y nutrir a los espermatozoides, almacenarlos y llevarlos al tracto reproductor femenino.

Los espermatozoides se producen en los testículos

Los testículos, que producen tanto espermatozoides como hormonas sexuales masculinas, se encuentran en el **escroto**, una bolsa que cuelga en el exterior de la cavidad principal del cuerpo. Esta ubicación mantiene a los testículos a una temperatura aproximadamente 1 a 2°C más baja que el centro del cuerpo, lo cual es óptimo para el desarrollo de los espermatozoides. Casi todo el volumen de los testículos está lleno de

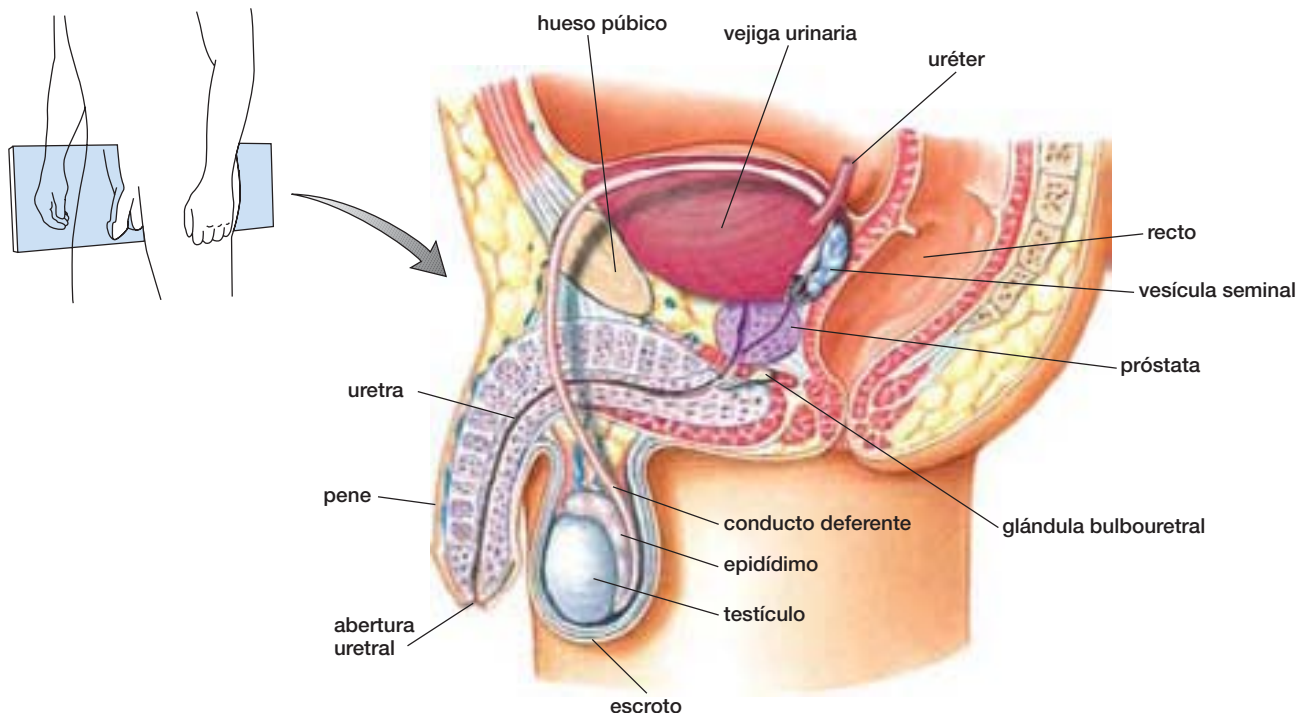
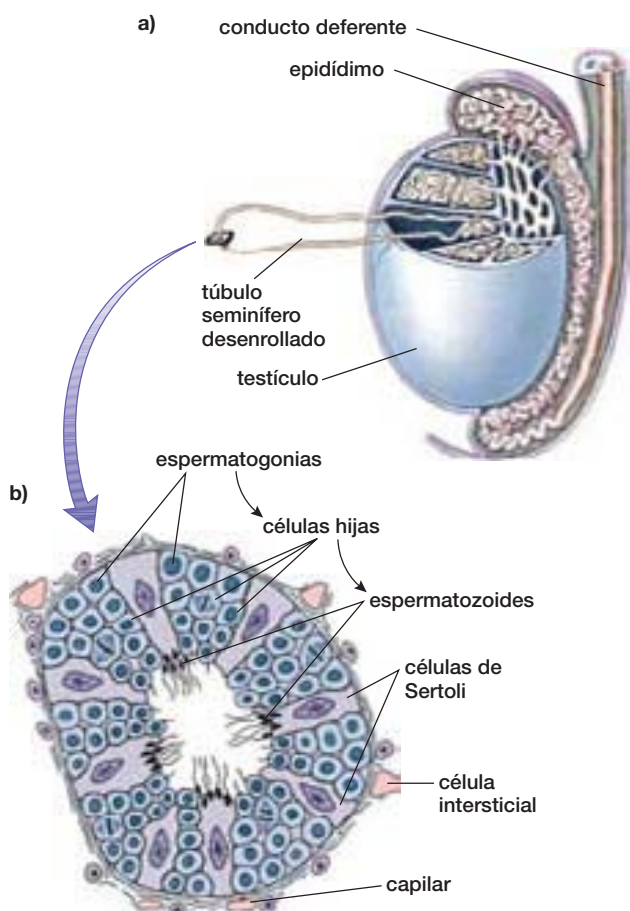


FIGURA 40-11 El tracto reproductor masculino humano

Los testículos penden bajo la cavidad abdominal, en el escroto. Los espermatozoides pasan de los testículos al epidídimo y de ahí, a través del conducto deferente y la uretra, hasta la punta del pene. En el camino, se agregan líquidos de las vesículas seminales, las glándulas bulbouretrales y la próstata.

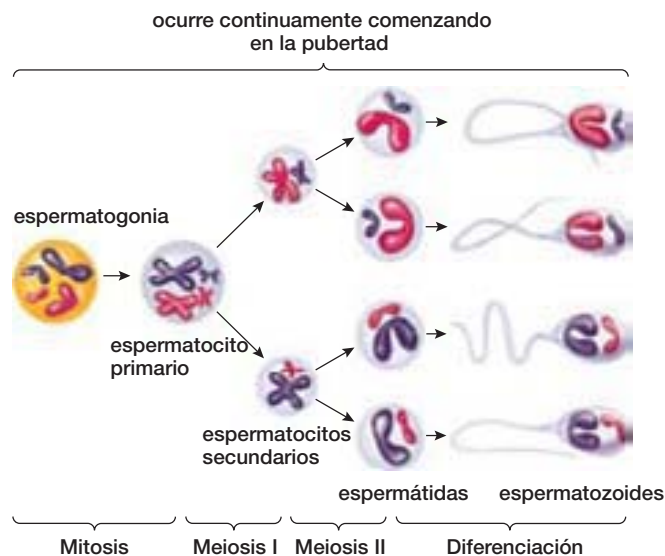
Tabla 40-1 El tracto reproductor masculino

Estructura	Función
Testículos (gónadas masculinas)	Producen espermatozoides y testosterona
Epidídimo y conducto deferente (conductos)	Almacenan espermatozoides; conducen espermatozoides de los testículos al pene
Uretra (conducto)	Lleva el semen del conducto deferente y la orina de la vejiga urinaria a la punta del pene
Pene	Deposita espermatozoides en el tracto reproductor femenino
Vesículas seminales (glándulas)	Secretan líquido que forma el semen
Próstata (glándula)	Secreta líquido que forma el semen
Glándulas bulbouretrales	Secretan líquido que forma el semen

**FIGURA 40-12** Estructuras que intervienen en la espermatogénesis

a) Corte del testículo que muestra la ubicación de los túbulos seminíferos, el epidídimo y el conducto deferente. b) Corte transversal de un túbulo seminífero. Las paredes de los túbulos están recubiertas de células de Sertoli y espermatogonias que experimentan meiosis. Los espermatozoides maduros se liberan hacia la cavidad central. Las células intersticiales producen testosterona.

túbulos seminíferos enrollados y huecos, que es donde se producen los espermatozoides (**FIGURA 40-12a**). En los espacios entre los túbulos hay **células intersticiales**, que sintetizan la hormona masculina testosterona (**FIGURA 40-12b**).

**FIGURA 40-13** Los espermatozoides se producen por meiosis

Las espermatogonias crecen y se diferencian para producir espermatocitos, los cuales experimentan meiosis y luego diferenciación para producir espermatozoides haploides. Aunque por claridad sólo se muestran cuatro cromosomas, en el ser humano el número diploide es 46 y el número haploide 23.

En el interior de cada túbulo seminífero, junto a la pared, están las **espermatogonias**, las células diploides de las cuales surgirán los espermatozoides, y las **células de Sertoli**, mucho más grandes (figura 40-12b). Las espermatogonias se dividen por mitosis, lo que garantiza un abasto constante de ellos y forma células que experimentan **espermatogénesis** para producir espermatozoides haploides (**FIGURA 40-13**).

La espermatogénesis inicia con el crecimiento y diferenciación de espermatogonias para formar **espermatocitos primarios**, que son células diploides grandes. Luego, los espermatocitos primarios sufren meiosis (proceso descrito en el capítulo 11). Al término de la meiosis I, cada espermatocito primario da origen a dos **espermatocitos secundarios** haploides. Cada espermatocito secundario se divide otra vez, durante la meiosis II, para producir dos **espermátidas**, de manera que se obtienen cuatro espermátidas por cada espermatocito primario. Las espermátidas sufren reordenaciones radicales de sus componentes celulares al diferenciarse para convertirse en espermatozoides.

Las espermatogonias, los espermatocitos y las espermátidas están envueltos en pliegues de las **células de Sertoli**, las cuales regulan el proceso de espermatogénesis y nutren a los espermatozoides en desarrollo. Durante la espermatogénesis, los espermatozoides en desarrollo migran hacia la cavidad central del túbulo seminífero, del que salen como espermatozoides maduros (véase la figura 40-12b).

Un espermatozoide humano (**FIGURA 40-14**) es distinto de todas las demás células del cuerpo. Casi todo el citoplasma desaparece para dejar un núcleo haploide que casi llena toda la **cabeza** de la célula espermática. Encima del núcleo hay un lisosoma especializado llamado **acrosoma**. El acrosoma contiene enzimas que se necesitarán para disolver las capas protectoras que rodean al óvulo, de manera que el espermatozoide pueda entrar y fecundarlo. Detrás de la cabeza está el

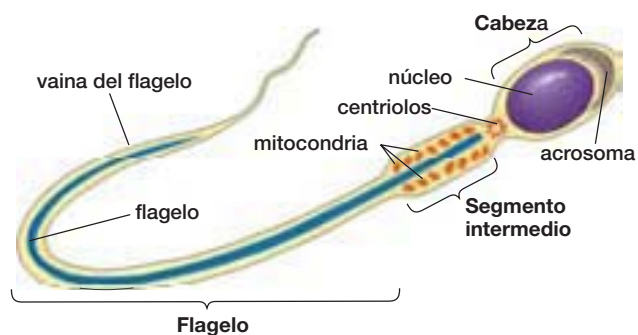


FIGURA 40-14 Espermatozoide humano

Un espermatozoide maduro es una célula equipada únicamente con lo esencial: un núcleo haploide, el acrosoma (que contiene enzimas para digerir las barreras que rodean al óvulo), mitocondrias para producir energía y un flagelo largo para la locomoción.

proporcionan la energía necesaria para mover el *flagelo*. Las sacudidas de la cola, que en realidad es un flagelo largo, impulsan al espermatozoide por el tracto reproductor femenino.

En el ser humano y otros mamíferos, la espermatogénesis no comienza sino hasta la pubertad, cuando el hipotálamo libera GnRH, que estimula a la hipófisis anterior para que produzca LH y FSH. La LH estimula a las células intersticiales de los testículos para que produzcan testosterona (FIGURA 40-15). La testosterona, en combinación con la FSH, estimula a las células de Sertoli para realizar la espermatogénesis. Al igual que muchos procesos fisiológicos, la producción de espermatozoides está regulada por retroalimentación negativa. La testosterona, al estimular la espermatogénesis, también inhibe la liberación de GnRH por parte del hipotálamo y de LH y FSH por parte de la hipófisis, lo que limita la producción posterior de testosterona y la producción de espermatozoides. Las células de Sertoli, cuando son estimuladas por la FSH y la testosterona, no sólo promueven la espermatogénesis, sino que secretan la hormona *inhibina*, que también inhibe la producción de GnRH, LH y FSH (figura 40-15). Este proceso de retroalimentación mantiene la producción de espermatozoides a niveles relativamente constantes a lo largo de la vida reproductiva del hombre.

Las estructuras accesorias producen semen y conducen a los espermatozoides al exterior del cuerpo

Los túbulos seminíferos se fusionan para formar el **epidídimo**, un solo tubo continuo, largo y plegado (véase la figura 40-12a). El epidídimo lleva al **conducto deferente**, que saca los espermatozoides del escroto. Casi todos los cientos de millones de espermatozoides que se producen cada día en el cuerpo de un hombre se almacenan en el conducto deferente y en el epidídimo. El conducto deferente se une a la **uretra**, que conecta la vejiga con la punta del pene. Este camino final común lo comparten, en diferentes momentos, tanto la orina (durante la micción) como los espermatozoides (durante la eyaculación, un reflejo causado por estimulación sexual que expulsa a los espermatozoides por el pene).

El líquido eyaculado del pene, llamado **semen**

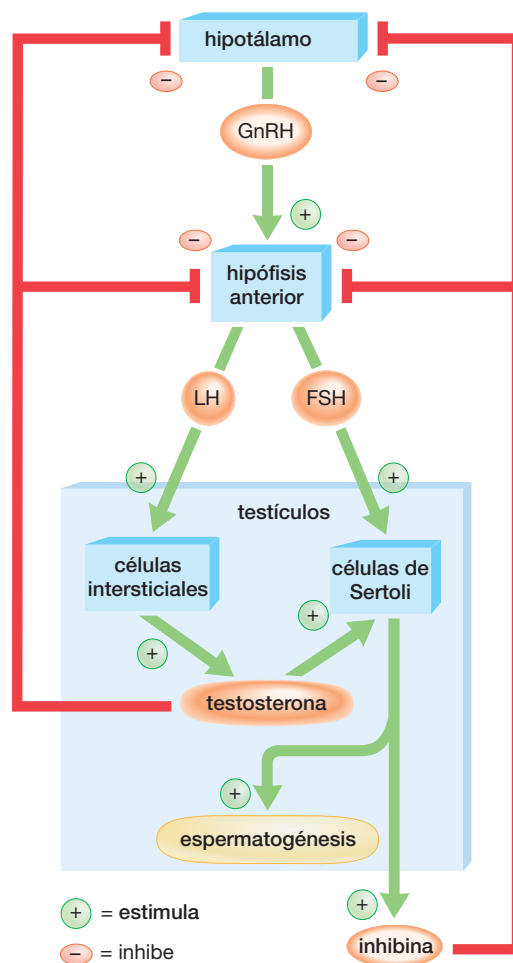


FIGURA 40-15 Control hormonal de la espermatogénesis

La GnRH del hipotálamo estimula a la hipófisis anterior para que libere LH y FSH. La LH estimula a las células intersticiales para que produzcan testosterona. La testosterona y la FSH estimulan a las células de Sertoli y a las espermatogonias para que realicen espermatogénesis. Las células de Sertoli liberan inhibina, la cual, junto con la testosterona, inhibe la liberación ulterior de FSH y LH para establecer un ciclo de retroalimentación negativa que mantiene casi constante la tasa de espermatogénesis y la concentración de testosterona en la sangre. **PREGUNTA: ¿Por qué las inyecciones de testosterona suprimen la producción de espermatozoides?**

por las **vesículas seminales** constituye aproximadamente el 60 por ciento del semen. Este líquido es rico en fructosa, que aporta energía para los espermatozoides; también contiene prostaglandinas (véase el capítulo 37) que estimulan contracciones uterinas, las cuales ayudan a transportar a los espermatozoides por el tracto reproductor femenino. Su pH levemente alcalino protege a los espermatozoides del ambiente ácido de la vagina que, de otra forma, inhibiría la actividad espermática. La **próstata** produce una secreción rica en nutrientes, la cual constituye alrededor del 30 por ciento del volumen del semen e incluye enzimas que aumentan la fluidez de éste después de que es liberado en la vagina, permitiendo que los espermatozoides se desplacen más libremente. Las **glándulas bulbouretrales**

Tabla 40-2 Tracto reproductor femenino

Estructura	Función
Ovarios (gónadas femeninas)	Producen óvulos, estrógeno y progesterona
Fimbria (abertura del conducto uterino)	Sus cilios empujan al óvulo hacia el oviducto
Tubos uterinos	Conducen al óvulo al útero; sitio de la fecundación
Útero	Cámara muscular donde se desarrolla el feto
Cérvix	Cierra el extremo inferior del útero durante el embarazo
Vagina	Receptáculo para el semen; canal de nacimiento

El tracto reproductor femenino comprende los ovarios y las estructuras accesorias

El tracto reproductor femenino está contenido casi en su totalidad dentro de la cavidad abdominal (tabla 40-2 y FIGURA 40-16). Consiste en un par de gónadas, llamadas **ovarios** (FIGURA 40-17a), y estructuras accesorias que reciben a los espermatozoides, los conducen hacia el óvulo y nutren al **embrión** en desarrollo.

Los óvulos se producen en los ovarios

La **ovogénesis**, que es la formación de óvulos, inicia durante el desarrollo fetal con la formación de células precursoras de óvulos llamadas **ovogonias**. Hacia el final del tercer mes de desarrollo del feto, las ovogonias se han dividido por mitosis y han crecido para convertirse en **ovocitos primarios**. Al continuar el desarrollo del feto, se inicia la meiosis en todos los ovocitos primarios, pero se detiene en la profase de la meiosis I. En el momento de nacer, la mujer ya cuenta con un abasto de ovocitos primarios suficiente para toda la vida. Los ovarios contienen inicialmente cerca de dos millones de ovocitos primarios, de los cuales muchos mueren, de forma que al llegar a la pubertad sólo quedan cerca de 400,000. Esa cantidad es más que suficiente, pues sólo unos cuantos ovocitos reanudan la meiosis durante cada mes del periodo reproductivo de la mujer, a partir de la pubertad, que se presenta alrededor de los 13 años, hasta la **menopausia**, alrededor de los 50.

Alrededor de cada ovocito hay una capa de células mucho más pequeñas que nutren a la célula en desarrollo y además secretan hormonas sexuales femeninas. Juntos, el ovocito y estas células accesorias constituyen un **foliculo** (FIGURA 40-17b). Durante el ciclo menstrual, hormonas de la hipófisis estimulan el desarrollo de una docena o más de foliculos, aunque normalmente sólo uno de ellos madura totalmente. El ovocito primario completa su primera división meiótica (que se detuvo durante el desarrollo) y produce un solo **ovocito secundario** y

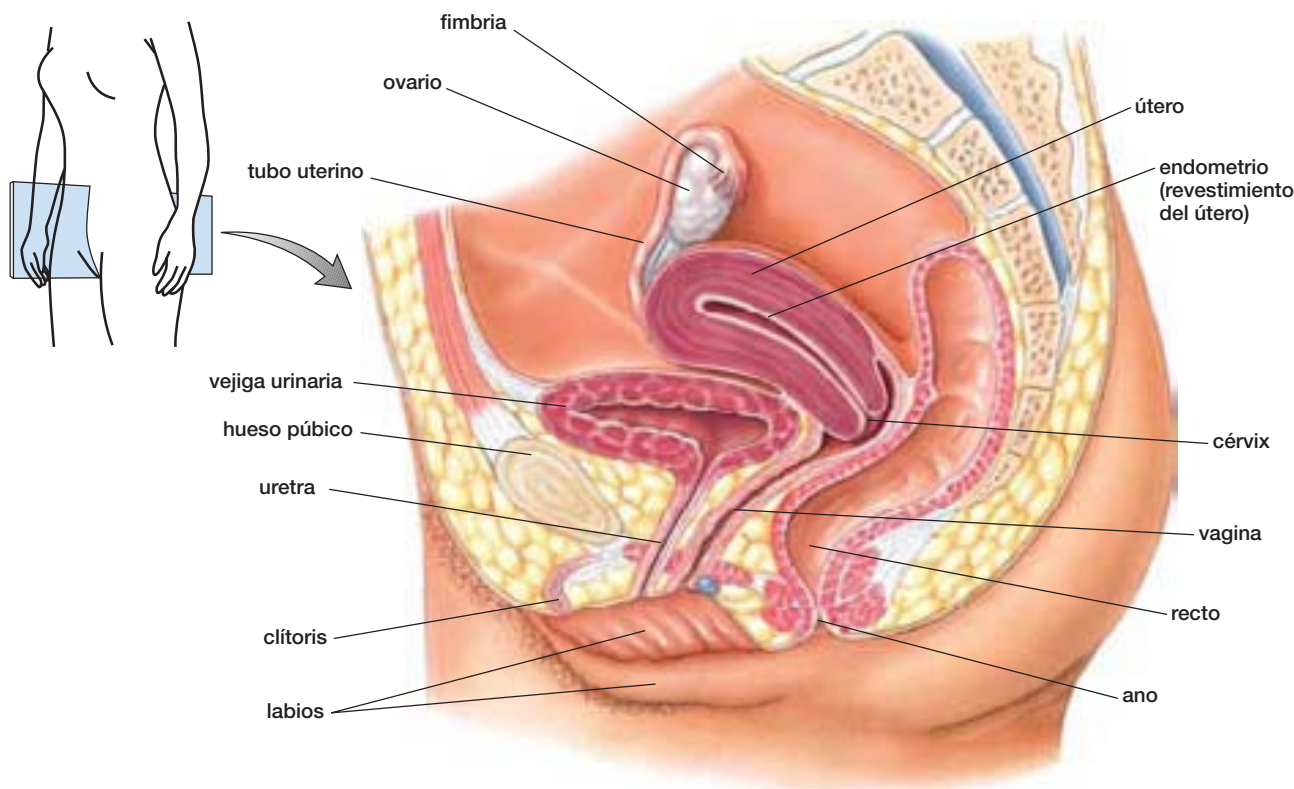


FIGURA 40-16 El tracto reproductor femenino humano

Los óvulos se producen en los ovarios y entran en el tubo uterino. El espermatozoide y el óvulo normalmente se encuentran en el tubo uterino, donde se efectúa la fecundación y el desarrollo inicial. El óvulo fecundado se une al endometrio (el revestimiento del útero), donde continúa el desarrollo. La vagina recibe los espermatozoides y sirve como canal de parto.

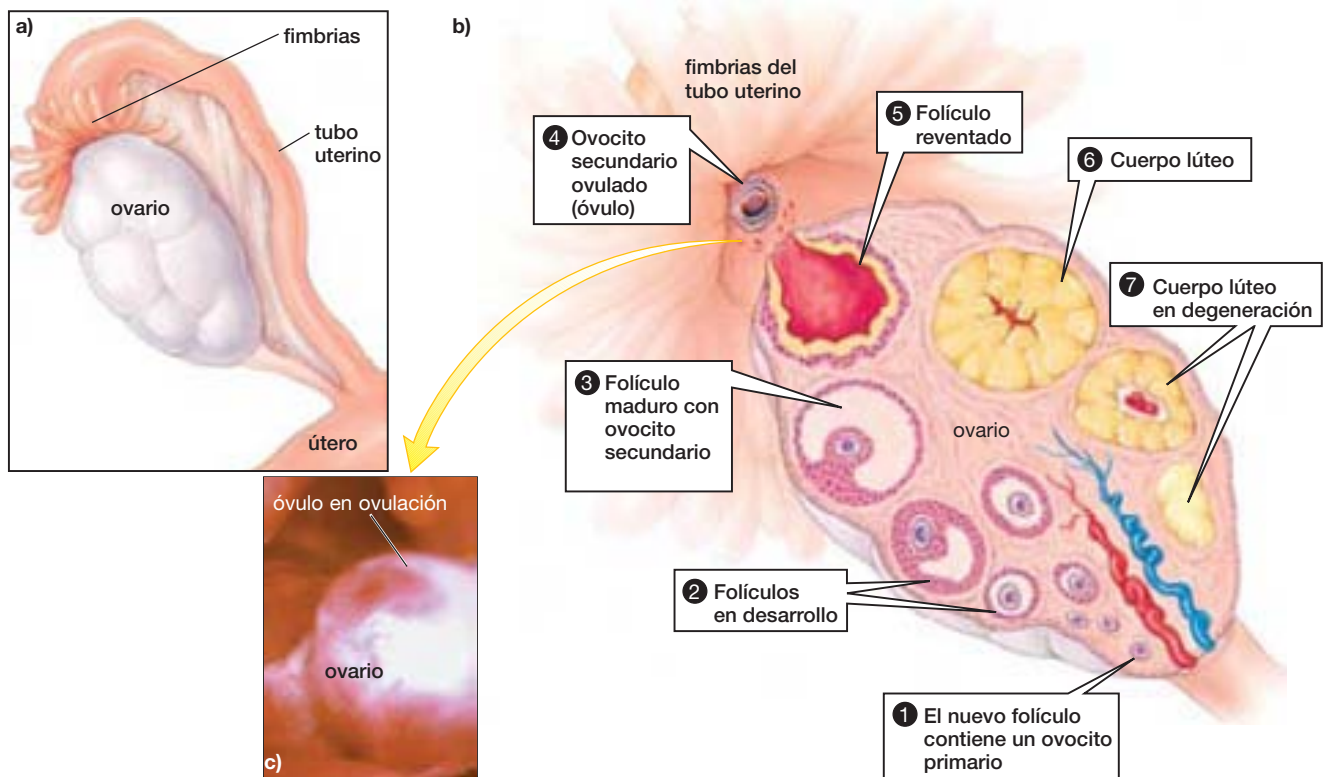


FIGURA 40-17 Estructuras que intervienen en la ovogénesis

a) Vista externa del ovario y el tubo uterino. b) Desarrollo de folículos en un ovario, representado en una secuencia temporal (según el giro de las manecillas del reloj, partiendo del extremo inferior derecho). ① Un ovocito primario comienza a desarrollarse dentro de un folículo. ②, ③ El folículo crece, suministrando tanto hormonas como nutrientes al ovocito en crecimiento. ④ Durante la ovulación, el óvulo irrumpe a través de la pared del ovario, rodeado por algunas células del folículo. ⑤, ⑥, ⑦ Las células del folículo restantes se convierten en el cuerpo lúteo, que secreta hormonas. Si no hay fecundación, el cuerpo lúteo se desintegra después de unos cuantos días. c) Dentro del ovario, un folículo libera un óvulo.

un cuerpo polar

FIGURA 40-18). Mientras tanto, las células accesorias del folículo se multiplican y secretan **estrógeno**. Al madurar el folículo, crece y finalmente irrumpe de la superficie del ovario para liberar el ovocito secundario en un proceso denominado **ovulación** (**FIGURA 40-17c**). Luego, el ovocito secundario viaja por el tubo que sale del ovario, llamado **tubo uterino** (que también se conoce como **oviducto** o **trompa de Falopio**). Por conveniencia, nos referiremos al ovocito secundario ovulado como el **óvulo**. Si el óvulo es fecundado, esto por lo general ocurre en el tubo uterino.

Algunas de las células del folículo acompañan al óvulo, pero casi todas permanecen en el ovario. Estas células crecen y se vuelven glandulares para formar el **cuerpo lúteo** (véase la **FIGURA 40-17b**), el cual secreta tanto estrógeno como una segunda hormona, **progesterona**. Si no hay fecundación, el cuerpo lúteo se desintegra unos cuantos días después.

Un hombre produce continuamente grandes cantidades de espermatozoides. En contraste, la mujer no produce gametos maduros (es decir, no ovula) si su útero no está debidamente preparado para recibir y nutrir al óvulo fecundado. El **ciclo menstrual** asegura que la ovulación se coordine con la preparación del útero, y está regulado por interacciones hormonales entre el hipotálamo, la hipófisis anterior y los ovarios, se describe en “De cerca: El control hormonal del ciclo menstrual”.

Las estructuras accesorias incluyen los tubos uterinos, el útero y la vagina

Cada ovario está alojado en el extremo abierto del tubo uterino (véase la **FIGURA 40-17a**), el cual tiene una orla de “dedos” ciliados llamados **fimbrias** que casi rodean al ovario. Los cilios crean una corriente que impulsa al nuevo óvulo hacia el tubo uterino, adonde los espermatozoides llegan luego de que ocurre la cópula. La fecundación por lo regular se efectúa dentro del tubo uterino. El **cigoto**, como se denomina al óvulo fecundado, baja por el tubo uterino impulsado por cilios batientes y llega al **útero** (también llamado **matriz**). Ahí se desarrollará durante nueve meses. La pared del útero tiene dos capas que corresponden a su doble función: nutrir al embrión en desarrollo y hacer posible el nacimiento del bebé. El revestimiento interior, o **endometrio**, tiene gran cantidad de vasos sanguíneos. Este revestimiento formará la contribución de la madre a la **placenta**, la estructura que transfiere oxígeno, dióxido de carbono, nutrientes y desechos entre la madre y el **feto** (un término que describe las etapas posteriores del desarrollo de los mamíferos), como veremos en el capítulo 41. La pared muscular exterior del útero se expande gradualmente conforme el nuevo ser en desarrollo crece, y luego se contrae con fuerza durante el parto para expulsar al bebé al mundo exterior.

Los folículos en desarrollo secretan estrógeno, que estimula al endometrio para que genere una extensa red de vasos

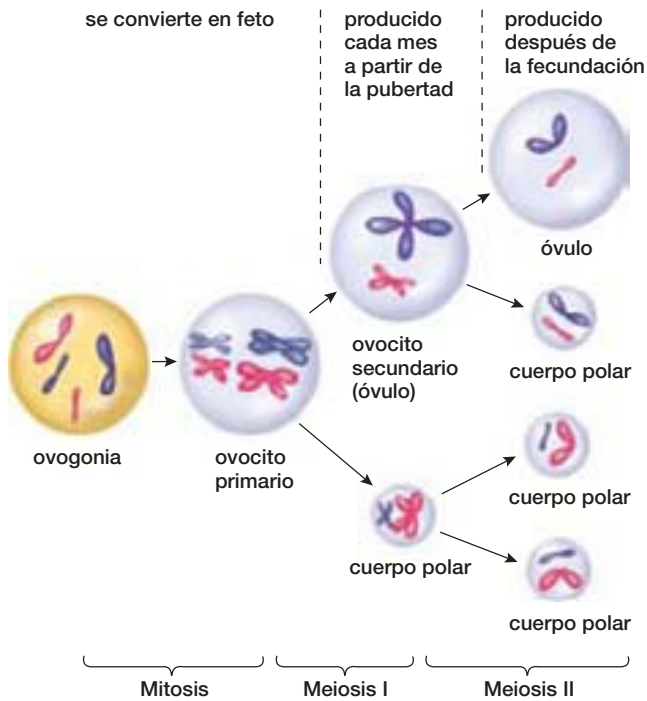


FIGURA 40-18 Los óvulos se forman por meiosis

La ovogonia experimenta mitosis y crece para formar el ovocito primario. En la meiosis I, casi todo el citoplasma está incluido en el ovocito secundario, dejando un pequeño cuerpo polar que contiene cromosomas, pero poco citoplasma. Durante la meiosis II, casi todo el citoplasma del ovocito secundario queda incluido en el óvulo, y un segundo cuerpo polar pequeño desecha los otros cromosomas "sobrantes". El primer cuerpo polar también podría sufrir la segunda división meiótica. En el ser humano, la meiosis II sólo se efectúa cuando un espermatozoide penetra en el óvulo.

sanguíneos y glándulas productoras de nutrimentos. Después de la ovulación, el estrógeno y la progesterona liberados por el cuerpo lúteo promueven el crecimiento ulterior del endometrio hasta formar un grueso envoltorio para el embrión. Así, de ser fecundado un óvulo, encontrará un entorno propicio para el crecimiento. Si el óvulo no se fecunda, el cuerpo lúteo se desintegra, los niveles de estrógeno y de progesterona declinan y el endometrio crecido también se desintegra. El útero se contrae (en ocasiones provocando dolores menstruales) para expulsar el tejido endometrial sobrante. Esto provoca un flujo de tejidos y sangre, que se conoce como **menstruación** (del latín *mensis*, que significa "mes").

El extremo exterior del útero casi está cerrado por el **cérvix** (o cuello de la matriz), un anillo de tejido conectivo que rodea una pequeña abertura. El cervix retiene al bebé en desarrollo en el útero y se expande sólo cuando se inicia el parto. Esto permite que la abertura central se expanda para que el bebé pueda pasar. Más allá del cervix está la **vagina**, que se abre al exterior. La vagina mantiene un pH ácido para reducir la posibilidad de infecciones y sirve como receptáculo para el pene durante el coito y como canal para el nacimiento (véase la figura 40-16).

La cópula permite la fecundación interna

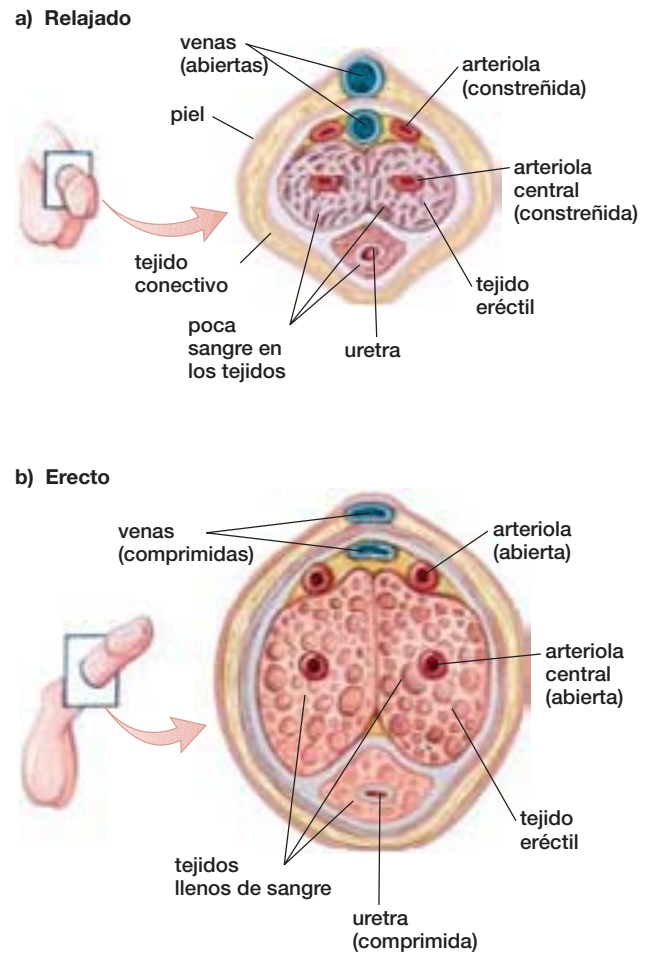


FIGURA 40-19 Cambios en el flujo de sangre dentro del pene causan erección

a) Normalmente, los músculos lisos que rodean a las arteriolas que desembocan en el pene están contraídos y limitan el flujo de sangre. b) Durante la excitación sexual, estos músculos se relajan y fluye sangre hacia los espacios dentro del pene. Al hincharse, el pene comprime las venas que salen de él, lo que aumenta la presión interna y hace que éste se alargue y se ponga firme.

entorno del tracto reproductor femenino. Durante la cópula, el pene se inserta en la vagina, donde se liberan los espermatozoides. Estos últimos nadan hacia arriba por el tracto reproductor femenino, desde la vagina, a través de la abertura del cervix al útero y hacia los tubos uterinos. Si la mujer ovuló uno o dos días antes, los espermatozoides se encontrarán con un óvulo en uno de los tubos uterinos. Sólo un espermatozoide logrará fecundar al óvulo e iniciar el desarrollo de un nuevo ser humano.

Durante la cópula, se depositan espermatozoides en la vagina de la mujer

El papel del hombre en la cópula inicia con la erección del pene. Antes de la erección, el pene está relajado (flácido) porque las arteriolas que lo abastecen de sangre están constreñidas y sólo permiten un pequeño flujo de sangre (**FIGURA 40-19a**

El ciclo menstrual es controlado por hormonas del hipotálamo (GnRH), la hipófisis o pituitaria anterior (FSH y LH) y los ovarios (estrógeno y progesterona). El ciclo se inicia con la llegada de la menstruación, ilustrada por la pérdida del endometrio como se muestra en la imagen inferior de la figura E40-1. Desde el punto de vista hormonal, el ciclo menstrual se inicia por la liberación espontánea de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH) por parte de las células del hipotálamo (imagen superior). Esta secreción es continua, a menos que otras hormonas la supriman, en especial la progesterona. El ciclo se inicia en el día 1 (que sigue luego del día 28 del ciclo) y es estimulado por el aumento en GnRH que se presenta alrededor del día 28. Sigamos ahora las descripciones del diagrama relacionando los números con la figura E40-1. (Los números están duplicados en la figura cuando la descripción se aplica a varias imágenes).

- ① La GnRH (imagen superior) estimula a la hipófisis anterior (segunda imagen) para que libere FSH (línea azul) y LH (línea roja). Estos aumentos se observan alrededor del día 28. El endometrio del útero se desprende durante la menstruación (imagen inferior).
- ② La FSH inicia el desarrollo de varios folículos, los cuales secretan estrógeno, dentro de los ovarios. Bajo la influencia combinada de la FSH, la LH y el estrógeno, los folículos crecen y el ovocito primario dentro de cada folículo comienza a desarrollarse. Por lo general, sólo un folículo completa el desarrollo cada mes.
- ③ Al crecer el folículo, secreta cantidades cada vez mayores de estrógeno (línea morada, cuarta imagen). Este estrógeno tiene tres efectos. Primero, promueve el desarrollo continuo del folículo y del ovocito primario que contiene (tercera imagen). Segundo, estimula el crecimiento del endometrio del útero (imagen inferior). Tercero, el estrógeno estimula al hipotálamo para que produzca más GnRH (véase la imagen superior).
- ④ La GnRH estimula un valor máximo de LH (y un pequeño aumento en la FSH) alrededor del día 14 del ciclo. El aumento de LH tiene tres consecuencias importantes. *Primera*, hace que se reanude la meiosis I en el ovocito para formar el ovocito secundario y el primer cuerpo polar.

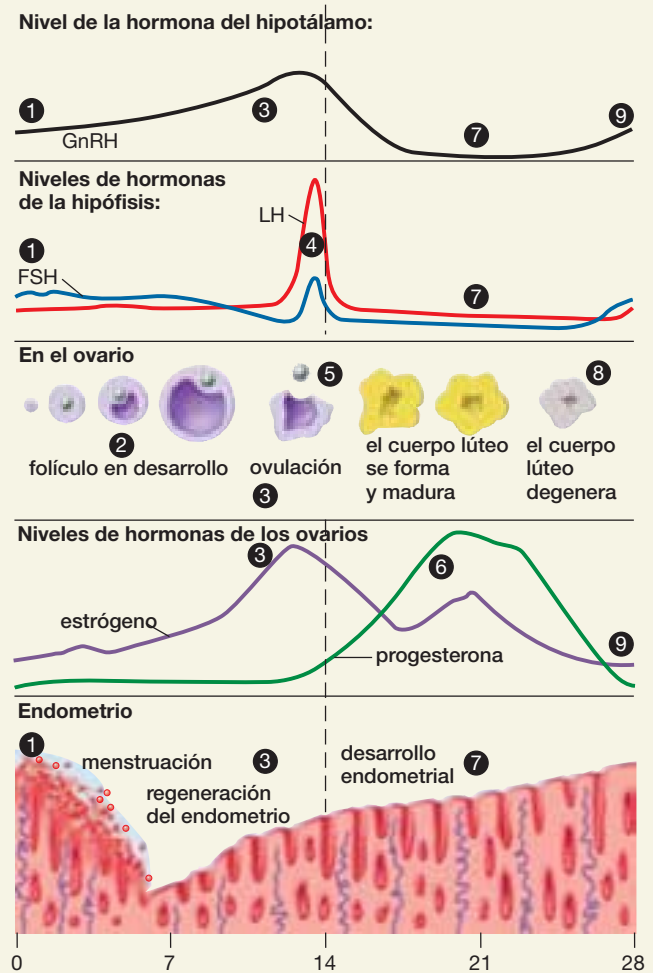


FIGURA E40-1 Control hormonal del ciclo menstrual

El ciclo menstrual es resultado de interacciones entre las hormonas del hipotálamo, la hipófisis anterior y los ovarios. Los números encerrados en círculos se refieren a las interacciones explicadas en el texto.

arteriolas). Al hincharse estos *tejidos eréctiles*, comprimen las venas que drenan el pene (**FIGURA 40-19b**). La presión sanguínea aumenta y provoca una erección. Una vez que el pene se inserta en la vagina, los movimientos estimulan todavía más a los receptores táctiles del pene, que provocan la eyaculación. La *eyaculación* se presenta cuando los músculos que rodean al epidídimo, el conducto deferente y la uretra se contraen y expulsan el semen del pene hacia la vagina. Aunque existe una gran variabilidad, en promedio se eyaculan 3 o 4 mililitros de semen, que contienen unos 300 millones de espermatozoides. El *orgasmo masculino* causa la eyaculación y una sensación intensa de placer y liberación de tensión.

En la mujer la excitación sexual hace que aumente el flujo sanguíneo en la vagina, en un par de pliegues de tejido llamados **labios** y en el **clítoris**, una pequeña estructura situada justo enfrente de la vagina (véase la figura 40-16). El clítoris, que se deriva del mismo tejido embrionario que la punta del pene, se inunda de sangre y presenta erección. La estimulación por parte del pene da como resultado el *orgasmo femenino*,

una serie de contracciones rítmicas de la vagina y el útero acompañadas por sensaciones de placer. El orgasmo femenino no es necesario para la fecundación.

El contacto íntimo durante la cópula crea una situación en la que se pueden transmitir fácilmente organismos patógenos, como se describe en “Guardián de la salud: Enfermedades de transmisión sexual”.

Durante la fecundación, los núcleos del espermatozoide y del óvulo se unen

Tanto los espermatozoides como los óvulos viven apenas unos días, así que la fecundación puede efectuarse sólo si la cópula ocurre dentro del plazo comprendido entre dos días antes y dos días después de la ovulación. Cuando el óvulo sale del ovario, está rodeado por células del folículo. Estas células, que ahora reciben el nombre de **corona radiada**, y una capa interna gelatinosa, la **zona pelúcida** (que significa “área clara”), forman una barrera entre los espermatozoides y el óvulo (**FIGURA 40-20a**). Investigaciones recientes apoyan la

- ⑤ *Segunda*, el incremento de LH hace que el folículo tenga un crecimiento explosivo final que culmina en la ovulación. *Tercera*, transforma el residuo del folículo en el cuerpo lúteo.
- ⑥ El cuerpo lúteo secreta progesterona (línea verde) y estrógeno (línea morada).
- ⑦ La combinación de estrógeno y progesterona inhibe la producción de GnRH y reduce la liberación de FSH y LH impidiendo el desarrollo de más folículos. Simultáneamente, el estrógeno y la progesterona estimulan al endometrio para que desarrolle una red de vasos sanguíneos y glándulas productoras de nutrientes. El endometrio llega a alcanzar un espesor de unos 4 milímetros.
- ⑧ Si no hay embarazo, el cuerpo lúteo comienza a desintegrarse aproximadamente 12 días después de la ovulación. La causa de esta desintegración es el cuerpo lúteo mismo, que secreta la progesterona que, a la vez, detiene la secreción de LH. Como el cuerpo lúteo sólo puede persistir mientras reciba estímulo de la LH (o por una hormona similar liberada por el embrión en desarrollo, como veremos más adelante), prácticamente induce su propia destrucción, en una especie de retroalimentación negativa.
- ⑨ Una vez desaparecido el cuerpo lúteo, los niveles de estrógeno y progesterona se desploman. Privado de la estimulación del estrógeno y la progesterona, el endometrio también muere en unos cuantos días, y su sangre y sus tejidos constituyen el flujo menstrual que se inicia el primer día del nuevo ciclo. El nivel reducido de progesterona en circulación deja de inhibir al hipotálamo, de manera que se reanuda la liberación espontánea de GnRH. Esta liberación estimula, a la vez,

la liberación de FSH y LH (de regreso al paso ①) e inicia el desarrollo de un nuevo conjunto de folículos para recomenzar el ciclo.

Durante el embarazo, el embrión mismo evita que se presenten estos cambios. Poco después de que la esfera de células (formada por el óvulo fecundado al dividirse) se incrusta en el endometrio, comienza a secretar una hormona parecida a la LH, llamada *gonadotropina coriónica* (CG). Esta hormona viaja por el torrente sanguíneo hasta el ovario, donde impide la desintegración del cuerpo lúteo. El cuerpo lúteo sigue secretando estrógeno y progesterona por varios meses, y el endometrio sigue creciendo y nutriendo al embrión. El embrión libera tanta CG que la hormona se excreta en la orina de la madre. De hecho, la mayor parte de las pruebas de embarazo se basan en la detección de CG en la orina para determinar si hay embarazo o no.

Aunque una retroalimentación negativa regula los niveles de la mayoría de las hormonas, los niveles hormonales del ciclo menstrual se regulan por retroalimentación tanto negativa como positiva. Durante la primera mitad del ciclo, las hormonas FSH y LH estimulan a los folículos para que produzcan estrógeno. Los niveles altos de estrógeno *estimulan* la máxima liberación de FSH y LH a la mitad del ciclo (retroalimentación positiva). Durante la segunda mitad del ciclo, el estrógeno y la progesterona *inhiben* la liberación de FSH y LH (retroalimentación negativa). La retroalimentación positiva inicial hace que las concentraciones de hormonas alcancen niveles altos y la retroalimentación negativa posterior vuelve a "apagar" el sistema, a menos que se presente un embarazo.

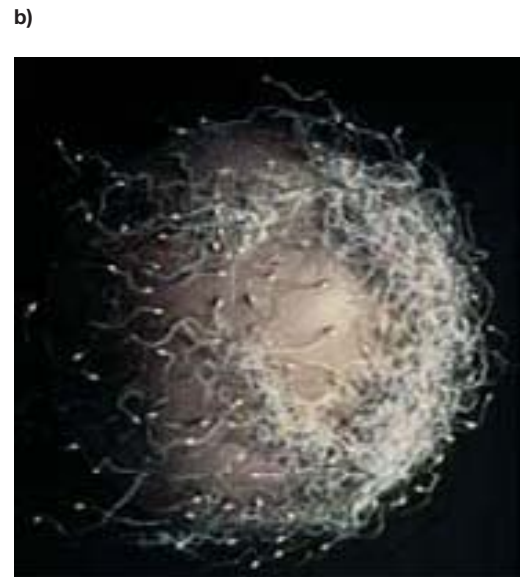
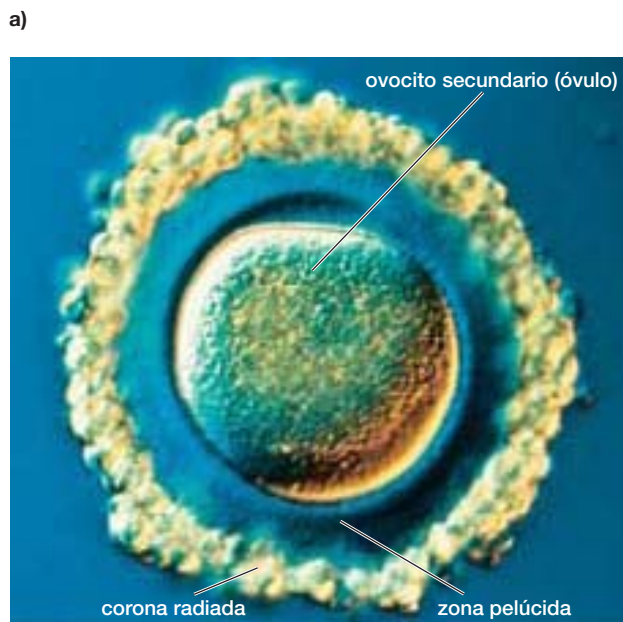


FIGURA 40-20 El ovocito secundario y la fecundación

a) Ovocito secundario humano poco después de la ovulación. Los espermatozoides deben abrirse camino por digestión a través de la corona radiada y la zona pelúcida para llegar al ovocito. b) Espermatozoides rodean al ovocito, atacando sus barreras defensivas. **PREGUNTA:** ¿Por qué el ovocito está tan bien protegido por las barreras circundantes?

Las **enfermedades de transmisión sexual (ETS)** se contraen primordialmente a través del contacto sexual. Causadas por virus, bacterias, protistas o artrópodos que infectan los órganos sexuales y el tracto reproductor, las ETS son un problema de salud grave y cada vez de mayor magnitud en todo el mundo.

INFECCIONES BACTERIANAS

La **gonorrea** es una ETS común, también conocida como blenorragia. La bacteria penetra en las membranas que recubren la uretra, el ano, el cérvix, el útero, los tubos uterinos y la garganta. En el hombre, la inflamación de la uretra hace que la micción sea dolorosa y haya una descarga de pus por el pene; en las mujeres, los síntomas a menudo son leves e incluyen flujo vaginal o micción dolorosa. Aunque la gonorrea puede tratarse con antibióticos, muchas personas infectadas tienen síntomas leves o ningún síntoma, por lo que fácilmente pueden diseminar la enfermedad. La gonorrea puede causar esterilidad al bloquear los tubos uterinos con tejido de cicatrización. La bacteria ataca los ojos de los bebés recién nacidos de madres infectadas y en otros tiempos fue una causa importante de ceguera. En la actualidad, casi todos los recién nacidos reciben de inmediato gotas oftálmicas con antibiótico de forma preventiva para matar a la bacteria.

La **sífilis** penetra en las membranas mucosas de genitales, labios, ano o mamas. Puesto que la bacteria de la sífilis no sobrevive mucho tiempo si se expone al aire, se propaga sólo por contacto íntimo. La sífilis inicia con una llaga en el punto de infección y se puede curar con antibióticos. Si no se trata, las bacterias de la sífilis se diseminan por todo el cuerpo, se multiplican y dañan muchos órganos como la piel, los riñones, el corazón y el cerebro, en algunos casos hasta provocar la muerte. La sífilis se puede transmitir al feto durante el embarazo; la piel, los dientes, los huesos, el hígado y el sistema nervioso central de esos bebés podrían sufrir daños.

La **clamidia** causa inflamación de la uretra en los hombres y de la uretra y el cérvix en las mujeres. En muchos casos no hay síntomas obvios, por lo que la infección no es tratada y se propaga. La bacteria de la clamidia puede infectar y bloquear los tubos uterinos y causar esterilidad. Una infección de clamidia causa inflamación de los ojos en bebés de madres infectadas y es una de las principales causas de ceguera en los países en desarrollo.

INFECCIONES VIRALES

El **síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA)** es causado por el virus de inmunodeficiencia humana (VIH), como vimos en el capítulo 36. Se contagia primordialmente por actividad sexual, transfusión de sangre infectada y uso de agujas contaminadas, así como de la madre infectada al hijo recién nacido.

El virus VIH ataca al sistema inmunitario y deja a la víctima vulnerable a diversas infecciones, que casi siempre resultan mortales. No hay cura, pero las combinaciones de ciertos fármacos pueden prolongar la vida considerablemente.

El **herpes genital** produce dolorosas vesículas en los genitales y la piel circundante; se transmite primordialmente cuando hay vesículas presentes. El virus del herpes nunca sale del cuerpo y se manifiesta a intervalos impredecibles, posiblemente como respuesta a la tensión. Los medicamentos antivirales reducen la gravedad de los brotes. Las mujeres embarazadas con herpes genital activo pueden transmitir el virus al feto en desarrollo y, en algunos casos, esta enfermedad provoca incapacidad mental o física importantes o parto de un bebé muerto. El herpes también se puede transmitir de la madre al bebé durante el parto.

El **virus del papiloma humano (VPH)** infecta a un 50 por ciento de los individuos sexualmente activos en algún momento de sus vidas. La mayoría no presenta síntomas y se recupera de la infección sin siquiera saber que la tuvo. El virus provoca excrecencias o protuberancias que aparecen en los genitales externos, la vagina, el cérvix o el ano en las mujeres, y en el pene, el escroto, la ingle o los muslos en los hombres. Las verrugas por lo regular desaparecen, o bien, pueden ser extirpadas. El VPH es un problema de salud porque puede provocar cáncer cervical, una enfermedad que cuesta la vida a unas 4000 mujeres cada año en Estados Unidos. En 2006 la Agencia de Fármacos y Alimentos (Food and Drug Administration, FDA) aprobó una vacuna contra las formas de VPH que causan la mayoría de los casos de verrugas genitales y cánceres cervicales. Si se administra a mujeres jóvenes antes de que inicien su vida sexual, la vacuna podría reducir considerablemente los índices de cáncer cervical en el futuro.

INFECCIONES DE PROTISTAS Y ARTRÓPODOS

La **tricomoniasis** es causada por un protista flagelado, que coloniza las membranas mucosas que recubren el tracto urinario y los genitales de hombres y mujeres. Los síntomas son un derrame causado por una inflamación en respuesta al parásito. El protista se propaga mediante el coito, pero también se adquiere usando ropa y artículos de tocador contaminados. Una infección prolongada sin tratamiento produce esterilidad.

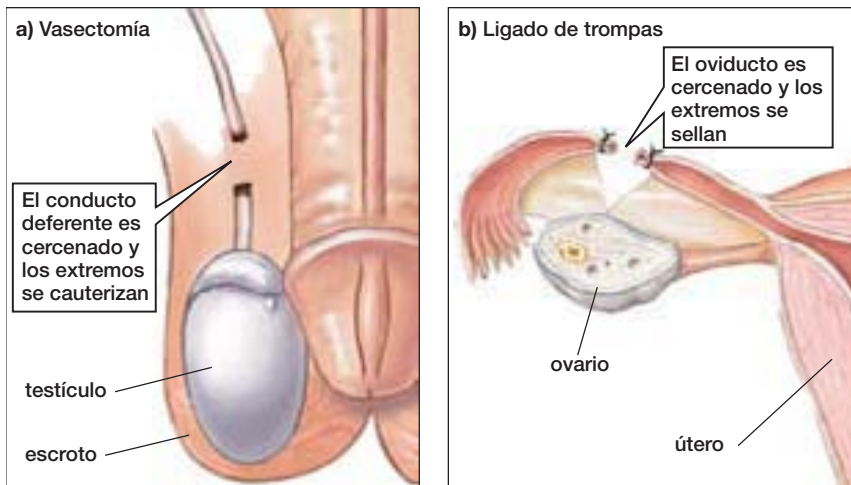
Las **ladillas**, también llamadas *piojos púbicos*, son arácnidos microscópicos (parientes de las arañas) que viven y ponen sus huevecillos en el vello púbico. Sus piezas bucales están adaptadas para penetrar en la piel y succionar sangre y líquidos corporales, proceso que causa intenso escozor. Las ladillas no sólo son irritantes, sino también pueden propagar enfermedades infecciosas. Se controlan con una higiene cuidadosa y tratamientos químicos.

hipótesis de que el óvulo humano libera un atrayente químico que incita a los espermatozoides a acercarse.

En el tubo uterino, cientos de espermatozoides llegan al óvulo, rodean a la corona radiada y liberan enzimas de su acrosoma (**FIGURA 40-20b**). Estas enzimas debilitan tanto la corona radiada como la zona pelúcida y permiten que penetre el espermatozoide, impulsado por las contorsiones de su flagelo, hasta el óvulo. Si no hay suficientes espermatozoides, la cantidad de enzimas liberadas no será suficiente y ninguno de los espermatozoides llegará al óvulo. Ésta podría ser la razón por la que la selección natural ha propiciado que se eyaculen tantos espermatozoides. Quizá uno de cada 100,000 llegará al tubo uterino y, de los que lo logran, uno de cada 20

encontrará al óvulo, de manera que sólo unos cuantos centenares de los 300 millones de espermatozoides que se eyacularon participarán en el ataque contra las barreras que rodean al óvulo.

Cuando el primer espermatozoide por fin entra en contacto con la superficie del óvulo, las membranas plasmáticas del óvulo y el espermatozoide se fusionan y la cabeza de este último se introduce en el citoplasma de aquél. Al entrar el espermatozoide, inicia dos cambios vitales en el óvulo: primero, vesículas cercanas a la superficie del óvulo liberan en la zona pelúcida sustancias que la refuerzan e impiden que otros espermatozoides ingresen en el óvulo; segundo, el óvulo sufre una segunda división meiótica y por fin produce un gameto haploide.

**FIGURA 40-21 Esterilización**

a) La vasectomía implica extirpar un tramo corto del conducto deferente y cauterizar los extremos cortados. Esto impide que los espermatozoides salgan del cuerpo. b) El ligado de trompas en la mujer implica eliminar una pequeña porción del oviducto y ligar los extremos; esto impide que los espermatozoides lleguen al ovocito y que éste llegue al útero.

La fecundación se lleva a cabo cuando los núcleos haploides del espermatozoide y el óvulo se fusionan para formar un núcleo diploide, el cual contiene todos los genes de un nuevo ser humano.

Anomalías en el aparato reproductor masculino o femenino pueden impedir la fecundación. Por ejemplo, un oviducto bloqueado impide que los espermatozoides lleguen al óvulo. Asimismo, los hombres que producen menos de 20 millones de espermatozoides por mililitro de semen por lo regular no pueden fecundar el óvulo de una mujer durante el coito porque son muy pocos los espermatozoides que llegan a él. Si los espermatozoides son normales en sus demás aspectos, estos hombres pueden tener hijos por *inseminación artificial*, en la que una gran cantidad de su semen se inyecta directamente en la vagina o útero durante la ovulación. En la actualidad, algunas parejas buscan ayuda de alta tecnología como la *fecundación in vitro* (véase “Guardián de la salud: Reproducción con alta tecnología”).

40.3 ¿CÓMO PODEMOS LIMITAR LA FERTILIDAD?

Durante casi toda la evolución humana, la mortalidad infantil fue elevada y la selección natural favoreció a las personas que producían suficientes hijos como para compensar esa alta tasa de mortalidad. En la actualidad, aunque la generalidad de los seres humanos no necesita tener muchos hijos para asegurar que unos cuantos sobrevivan hasta la edad adulta, aún conservamos los impulsos reproductores. Como resultado, cada año se agregan casi 74 millones de nuevos habitantes a nuestro superpoblado planeta, y el control de las tasas de natalidad se ha convertido en una necesidad ecológica. En el nivel individual, el control de la natalidad permite a las personas planear su familia para ofrecer las mejores oportunidades a sí mismas y a sus hijos.

Históricamente, no ha sido fácil limitar la fertilidad. En el pasado, algunas culturas emplearon técnicas tan ingeniosas como estrambóticas, como tragar espuma de la boca de un camello o colocar estiércol de cocodrilo en la vagina. Sin embargo, desde la década de 1970 se han desarrollado varias técnicas eficaces para la **anticoncepción**

elección de un método anticonceptivo siempre debe hacerse con base en una consulta con un profesional de la salud que esté capacitado para brindar mayor información y la mejor asesoría.

La esterilización es un método anticonceptivo permanente

A la larga, el método anticonceptivo que menor esfuerzo requiere es la **esterilización**, en la que se interrumpe el camino que han de recorrer los espermatozoides o el óvulo (**FIGURA 40-21**). En los hombres, el conducto deferente que sale de cada testículo se corta y luego los extremos se cauterizan (es decir, se sellan con calor) en una operación llamada *vasectomía*. Se seguirán produciendo espermatozoides, pero éstos no podrán llegar al pene durante la eyaculación. La cirugía se realiza con anestesia local y no se necesita suturar; no se conocen efectos de la vasectomía sobre la salud ni sobre el desempeño sexual. En un procedimiento novedoso, es posible colocar una abrazadera en el conducto deferente con un pequeño dispositivo de plástico.

La operación de *ligado de trompas de Falopio* o *salpingoclasia*, un poco más compleja, esteriliza a la mujer al cortar sus tubos uterinos u oviductos. Seguirá habiendo ovulación, pero los espermatozoides no podrán llegar al óvulo, ni éste podrá llegar al útero. Una alternativa consiste en insertar unas pequeñas estructuras con forma de resorte en cada oviducto a través de la vagina y el útero. El procedimiento no requiere de incisiones y sólo se aplica anestesia local. El resorte hace que el oviducto forme un tejido de cicatriz que bloquea el paso tanto de espermatozoides como de óvulos. En general, la esterilización es permanente, aunque un cirujano podría realizar una operación delicada y costosa para reconectar los conductos deferentes o los oviductos.

La anticoncepción y el aborto evitan o ponen fin al embarazo

La mayoría de los métodos anticonceptivos temporales evitan la ovulación o crean una barrera entre los espermatozoides y los óvulos. La **tabla 40-3** resume estos métodos.

Como hemos visto, la ovulación se pone en marcha mediante un incremento en el nivel de LH a la mitad del ciclo. Una forma obvia de impedir la ovulación es suprimir la liberación de LH proporcionando un abasto continuo de estrógeno

Tabla 40-3 Técnicas anticonceptivas no permanentes

Método	Técnica y mecanismo	Porcentaje de falla ¹	Protección contra ETS
Métodos hormonales: evitan la ovulación			
Píldora anticonceptiva	Píldora que contiene estrógeno y progesterona sintética (píldora combinada) o sólo progesterona (minipíldora). Se debe tomar diariamente.	0.1% al 3%	Ninguna
Parche anticonceptivo²	Un parche que se adhiere a la piel; contiene estrógeno y progesterona sintéticos. Se reemplaza semanalmente.	< 1%	Ninguna
Inyección para el control de la natalidad	Inyección de progesterona sintética que impide la ovulación. Se repite a intervalos de tres meses.	0.3%	Ninguna
Anillo vaginal	Anillo de plástico flexible impregnado con estrógeno y progesterona sintéticos. Se inserta en la vagina alrededor del cérvix; se reemplaza cada cuatro semanas.	0.3% al 8%	Ninguna
Métodos de barrera: evitan que los espermatozoides y los óvulos se encuentren			
Abstinencia	Decidir no tener actividad sexual.	0%	Excelente
Condón (masculino)	Vaina delgada y desechable de látex que se coloca sobre el pene antes del coito. Impide que los espermatozoides entren en la vagina. Es más efectivo si se lubrica con espermicida.	3% al 15%	Buena
Condón (femenino)	Bolsa de poliuretano lubricada que se inserta en la vagina; impide que los espermatozoides entren en el cérvix. Es más efectivo si se lubrica con espermicida.	5% al 21%	Probablemente buena (se dispone de pocos datos)
Esponja	Esponja desechable suave, con forma de domo, impregnada de espermicida que se inserta en la vagina; actúa durante 24 horas.	9% al 20% (los porcentajes de falla se duplican después de dar a luz)	Deficiente
Diafragma/capuchón cervical	Barreras flexibles reutilizables, con forma de domo, hechas de caucho o un material similar; se coloca espermicida en el domo y el dispositivo se instala sobre el cérvix antes del coito.	6% al 14%	Deficiente
Espermicida	Espuma espermicida que se coloca en la vagina antes del coito, como barrera química para los espermatozoides.	6% al 26%	Deficiente
Ritmo	Consiste en medir la temperatura corporal e identificar los cambios en el moco cervical para calcular el momento de la ovulación y evitar el coito durante el período fértil.	2% al 20% (pocas veces se efectúa correctamente)	Ninguna
Mecanismos de acción múltiple			
DIU (dispositivo intrauterino)³	Pequeño dispositivo de plástico tratado con hormonas o cobre, que un médico coloca en el útero a través del cérvix.	0.6% al 2%	Ninguna
“Píldora del día siguiente” (anticoncepción de emergencia)³	Dosis concentrada de las hormonas presentes en las píldoras anticonceptivas; se toma dentro de las 72 horas siguientes a la relación sexual.	25%	Ninguna

¹Porcentaje de mujeres que se embarazan al año. Las cifras baja y alta, respectivamente, indican las diferencias entre el uso consistente y correcto y el uso de una forma más típica, que no siempre es consistente o correcta.

²El parche es tan eficaz como la píldora y tiene mayor probabilidad de usarse adecuadamente; sin embargo, para las mujeres que pesan más de 90 kg, es menos eficaz.

³Aunque evitar la fecundación parece el principal mecanismo, los científicos no descartan que, en algunos casos, estos dos últimos métodos eviten la implantación después de la fecundación.

y progesterona. Ésta es la base de las píldoras anticonceptivas. En la actualidad se dispone de otras formas de presentación para el estrógeno y la progesterona, generalmente en forma sintética (véase la tabla 40-3).

Los *métodos de barrera* son más eficaces cuando se utilizan con espermicida (una sustancia que extermina los espermatozoides). El diafragma y el capuchón cervical son tapas de caucho que embonan bien sobre el cérvix e impiden que los espermatozoides entren en el útero. Los condones para el hombre y la mujer, que también ayudan a protegerse contra las enfermedades de transmisión sexual, evitan que los espermatozoides se depositen en la vagina. Existen técnicas menos confiables, como el uso de espermicidas y el *método del ritmo*

(la abstinencia de relaciones sexuales durante la ovulación). El método del ritmo tiene un alto porcentaje de falla por la falta de exactitud en la determinación del ciclo menstrual, que varía un poco de un mes a otro. El coito interrumpido (retirar el pene de la vagina justo antes de la eyaculación) y la ducha vaginal (expulsión de espermatozoides de la vagina por lavado antes de que hayan ingresado en el útero) no son formas confiables de evitar la concepción.

Otra técnica anticonceptiva es el uso del *dispositivo intrauterino (DIU)*, un pequeño dispositivo en forma de T que el médico inserta en el útero a través del cérvix. Las investigaciones indican que la principal forma en que funciona el DIU es evitando la fecundación. Recubrimientos de cobre o de



Aunque algunas tecnologías de reproducción asistida podrían utilizarse para salvar a ciertas especies animales de la extinción, la mayoría se emplea para ayudar a las parejas que sufren de infertilidad a tener hijos. Para las mujeres que no ovulan regularmente, existen fármacos de la fertilidad (que provocan la liberación de FSH y LH adicionales), lo que da por resultado múltiples ovulaciones. Como consecuencia de este procedimiento, la tasa de nacimientos múltiples —que suponen mayores riesgos tanto para la madre como para los bebés— ha aumentado drásticamente (**FIGURA E40-2**).

Mediante la inyección *intracitoplásmica de espermatozoides* (ICSI, por las siglas de *intracytoplasmic sperm injection*), incluso los hombres cuyos espermatozoides no son capaces de nadar y fertilizar al óvulo pueden tener hijos propios. En la ICSI, se extraen espermatozoides prematuros de los testículos y luego se inyectan directamente en el citoplasma del óvulo con la ayuda de una micropipeta (**FIGURA E40-3**).

En todo el mundo viven unos tres millones de personas que fueron concebidas en un recipiente de vidrio por medio de la *fertilización in vitro* (FIV, que literalmente significa “fecundación en vidrio”). Primero, la mujer recibe inyecciones diarias de fármacos para estimular múltiples ovulaciones. Luego, los cirujanos insertan una aguja larga y hueca en cada folículo maduro y extraen el ovocito por succión. Por lo regular, se colocan muchos ovocitos en un plato de vidrio al que se añaden espermatozoides recién obtenidos, y se incuban de uno a siete días. Luego, unos cuantos de estos embriones incipientes se toman con un tubo y se depositan muy suavemente en el útero. Trasplantar múltiples embriones eleva la tasa de éxito de la implantación, pero también eleva la probabilidad de que haya nacimientos múltiples, los cuales implican un riesgo mucho mayor que los partos individuales. Para las parejas que tienen trastornos genéticos graves, es posible retirar una célula de un embrión FIV para analizarla en busca de defectos en el DNA (**FIGURA E40-4**) antes de hacer la implantación en el útero.

Usando la tecnología de clasificación de los espermatozoides, los padres ahora pueden aumentar sus probabilidades de



FIGURA E40-2 Séptuples

hormonas en diferentes DIU y la reacción del útero a este objeto extraño crean un ambiente hostil para los espermatozoides, lo que interfiere con su avance por el oviducto.

La píldora “de la mañana siguiente” contiene hormonas similares a las de las píldoras anticonceptivas, pero en mayores dosis. Esta forma de *anticoncepción de emergencia* es más

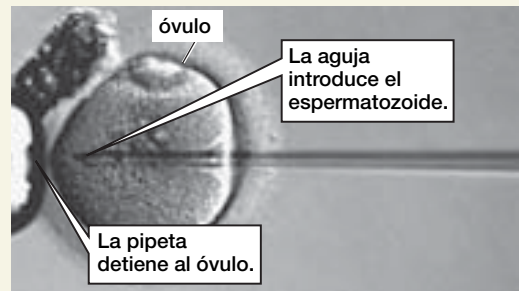


FIGURA E40-3 Un espermatozoide es inyectado en un óvulo. Un óvulo, sostenido por una pipeta, es inyectado con un solo espermatozoide que se coloca directamente en su citoplasma. Observa la corona radiada que rodea al óvulo. **PREGUNTA:** ¿Por qué el espermatozoide debe inyectarse en el óvulo, en vez de simplemente ponerlo en contacto con éste?

tener un niño o una niña. Los espermatozoides que portan un cromosoma X tienen un 2.8 por ciento más de DNA que los que portan un cromosoma Y. Esta diferencia sirve de base para elegir una muestra de espermatozoides e incrementar el porcentaje de espermatozoides X o Y, los cuales luego se colocan directamente en el útero de la madre. Esto es importante si los padres son portadores de trastornos vinculados con el sexo, aunque algunos utilizan esta técnica como una forma de equilibrar los hijos de uno y otro sexo en sus familias. Enriquecer las muestras de espermatozoides a favor de los espermatozoides X ha tenido mayor éxito.

En el mundo de la reproducción asistida, una viuda podría quedar embarazada con los espermatozoides de su esposo fallecido, previamente almacenados a temperaturas bajo cero. Hace poco, una mujer, cuyos ovarios no podían producir óvulos, tuvo gemelos. Sus hijos provinieron de óvulos donados que se habían conservado en congelación durante dos años. Una madre sustituta puede tener el hijo o la hija de una mujer a la que se extirpó el útero o que simplemente no quiere pasar por un embarazo. El óvulo y el espermatozoide que produjeron el feto que crece dentro de la madre sustituta quizá provengan de la pareja que la contrató, aunque también es posible que tanto el óvulo como el espermatozoide provengan de personas sin parentesco. De esta forma, existe la posibilidad de que en la actualidad un bebé tenga ¡hasta cinco “progenitores”!

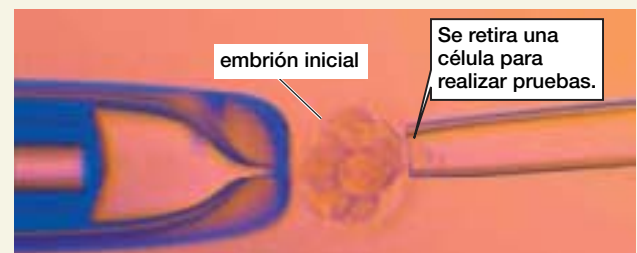


FIGURA E40-4 Una célula es extraída del embrión para efectuar pruebas genéticas

efectiva si se toma dentro de un plazo no mayor a las 72 horas posteriores a la relación sexual. Estas píldoras funcionan de diversas formas: podrían detener o retrasar la ovulación, interferir con la formación del cuerpo lúteo, interferir con el avance de los espermatozoides a través del oviducto, o evitar que el embrión se implante después de la fecundación.

Los únicos métodos temporales de control de la natalidad disponibles para los hombres son el condón y la abstinencia. Una razón es que los hombres producen unos 100 millones de espermatozoides al día, por lo que, incluso en el caso de que se terminara al 95 por ciento de ellos, quedarían suficientes para provocar un embarazo no deseado. Además, la investigación sobre los métodos anticonceptivos para los hombres se ha quedado rezagada en comparación con los métodos para las mujeres, en parte porque las principales empresas farmacéuticas creyeron que el mercado era demasiado pequeño para justificar los enormes gastos que implicarían la investigación, la producción y el lanzamiento al mercado de estos nuevos fármacos. Pero encuestas recientes en todo el mundo han mostrado que los hombres están dispuestos a asumir una mayor responsabilidad frente a la anticoncepción. Existen tres posibilidades para desarrollar métodos anticonceptivos no permanentes para hombres.

Bloqueo de conductos deferentes: Decenas de miles de hombres en China utilizan tapones de silicón que se colocan en el conducto deferente para bloquear la liberación de espermatozoides. En India se están haciendo pruebas clínicas en seres humanos con una sustancia (RISUG) que bloquea parcialmente el vaso deferente y daña los espermatozoides que logran pasar. Los tapones de silicón se retiran quirúrgicamente y el RISUG se disuelve con una solución que se inyecta en el vaso deferente.

Métodos hormonales: Administrar testosterona evita la formación de espermatozoides al impedir la liberación de LH y FSH mediante retroalimentación negativa (véase la figura 40-15). Un prometedor anticonceptivo a base de hormonas para los hombres (ahora en la fase de pruebas clínicas) combina inyecciones de testosterona, cada 4 o 6 semanas, con un implante de progesterona sintética que suprime la posterior liberación de FSH y LH.

Fármacos no hormonales: Se están realizando pruebas en animales para un fármaco que bloquea una proteína en el epidídimo que normalmente activa la capacidad de los flagelos de los espermatozoides para nadar. Con sus flagelos inmovilizados, los espermatozoides no serán capaces de nadar hacia el óvulo. Un segundo enfoque es una "vacuna" que hace que el organismo produzca anticuerpos para una proteína (*eppin*), la cual resulta crucial para producir espermatozoides funcionales. En los monos esta vacuna causó esterilidad temporal, que pudo mantenerse estable mediante inyecciones periódicas.

Aunque estos fármacos y otros en proceso de desarrollo no estarán disponibles en Estados Unidos todavía durante varios años, prometen diversificar las opciones de anticonceptivos masculinos en el futuro.

El aborto sustrae al embrión del útero

El aborto no se considera un método de anticoncepción ya que pone fin al embarazo, en vez de evitarlo. Por lo general, implica dilatar el cérvix y retirar al embrión mediante succión. La mayoría de los abortos se practican durante los tres primeros meses del embarazo. De manera alternativa, el aborto puede ser inducido durante las primeras siete semanas de embarazo mediante el fármaco RU-486 (mifepristone),

que se une a los receptores de progesterona y bloquea las acciones de esta hormona, la cual resulta esencial para conservar el endometrio durante el embarazo.

Quizá hayas notado que las técnicas de control natal están diseñadas principalmente para las mujeres. ¿Por qué? ¿Se están desarrollando anticonceptivos para el hombre? Para descubrirlo, lee la sección "Investigación científica: En busca de un anticonceptivo masculino".

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO



EL ZOOLOGICO CONGELADO



Aunque la tecnología reproductiva asistida (TRA) está encaminada a salvar especies en peligro de extinción, no resulta atractiva para todos los conservacionistas. Algunos sostienen que la única forma apropiada de preservar una especie es mantener suficientes hábitat naturales para dar sustento a una población en desarrollo lo bastante grande como para mantenerse a sí misma y conservar una diversidad genética razonable. Los defensores de la TRA están de acuerdo con lo anterior, pero apoyan los esfuerzos de alta tecnología como una acción paralela a la preservación de los hábitat, en particular para los animales en peligro crítico de extinción. El doctor Oliver Ryder, genetista y director del zoológico congelado de San Diego, explica: "[El zoológico congelado] representa un legado genético, un banco de DNA. En el futuro, los científicos tendrán mejores herramientas, pero no tendrán acceso a más genes". La doctora Betsy Dresser, quien preside el Centro Audubon para la

investigación de especies en peligro de extinción en Nueva Orleans, describe la TRA como "una red de seguridad". "Si congelamos 200 o 300 embriones, es más que sufi-

ciente para evitar que una población se extinga". Dresser, quien trabaja para desarrollar técnicas de transferencia de embriones entre especies que permitirán a las leonas



FIGURA 40-22 Un tigre de probeta

servir como madres sustitutas del tigre siberiano en peligro de extinción (**FIGURA 40-22**), afirma: "No quiero ver tigres sólo en los libros de texto algún día. Ni quiero que la gente que viva aquí dentro de 100 años mire hacia atrás y diga '¡Dios mío, tenían esa tecnología y dejaron que esos animales se extinguieran!'" Los partidarios de la TRA prevén un futuro en el que los hábitat naturales se hayan recuperado y estén protegi-

dos, de manera que las poblaciones de especies en peligro crítico de extinción que se criaron en los zoológicos (manteniendo tanta diversidad genética como sea posible) puedan ser liberadas para prosperar y reproducirse en sus ambientes naturales.

Piensa en esto Los tejidos congelados del último bucardo que quedaba en el mundo y del último po'ouli son la única esperanza de

que la Tierra algún día albergará estas especies únicas. Pero sólo la clonación producirá un nuevo bucardo o un nuevo po'ouli. Los animales producidos por clonación serán genéticamente idénticos y sufrirán otros problemas que se han presentado ya en los ejemplares clonados (véase el capítulo 11). ¿Se debería invertir dinero y el esfuerzo de los científicos para tratar de hacer resurgir estas especies? Argumenta tu respuesta.

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

40.1 ¿Cómo se reproducen los animales?

Los animales se reproducen sexual o asexualmente. En la reproducción sexual, los núcleos de los gametos haploides, por lo regular de dos progenitores distintos, se unen y producen un descendiente genéticamente diferente de cualquiera de los progenitores. La reproducción asexual, ya sea por gemación, fisión o partenogénesis, produce descendientes genéticamente idénticos al progenitor.

Durante la reproducción sexual, el gameto masculino (un espermatozoide móvil y pequeño) fecunda el gameto femenino (un óvulo grande y sin movimiento). Algunas especies son hermafroditas, pues producen tanto espermatozoides como óvulos, pero la mayoría de las especies tienen sexos separados. La fecundación puede tener lugar fuera del cuerpo de los animales (fecundación externa) o dentro del cuerpo de la hembra (fecundación interna). La fecundación externa debe efectuarse en agua para que los espermatozoides puedan nadar hacia el óvulo. La fecundación interna normalmente se realiza mediante la cópula, en la que el macho deposita espermatozoides directamente en el tracto reproductor de la hembra.

40.2 ¿Cómo funciona el aparato reproductor humano?

El tracto reproductor masculino consiste en un par de testículos, que producen espermatozoides y testosterona, y estructuras accesorias que llevan los espermatozoides al tracto reproductor de la hembra y secretan líquidos que activan el nado de los espermatozoides al tiempo que suministran energía. En el hombre, las hormonas FSH y LH, producidas por la hipófisis anterior, estimulan la espermatogénesis y la producción de testosterona. Estos dos procesos son casi continuos; se inician en la pubertad y perduran hasta la muerte.

El tracto reproductor femenino consiste en un par de ovarios, que producen óvulos además de las hormonas estrógeno y progesterona, y estructuras accesorias, que conducen los espermatozoides hacia el óvulo, además de recibir y nutrir al embrión durante el desarrollo prenatal. En la mujer, la ovogénesis, la producción de hormonas y el desarrollo del endometrio varían según un ciclo menstrual de un mes. El ciclo se controla con hormonas del hipotálamo (GnRH), la hipófisis anterior (FSH y LH) y los ovarios (estrógeno y progesterona).

Durante la cópula, el hombre eyacula semen en la vagina de la mujer. Los espermatozoides se desplazan por la vagina y el útero hasta el tubo uterino u oviducto, donde suele efectuarse la fecundación. El óvulo no fecundado está rodeado por dos barreras, la corona radiada y la zona pelúcida. Enzimas liberadas por el acrosoma en la cabeza del espermatozoide digieren estas capas y permiten al espermatozoide llegar al óvulo. Sólo un espermatozoide entra en el óvulo y lo fecunda.

La capacidad para reproducirse se inicia en la pubertad, cuando la hormona GnRH producida por el hipotálamo provoca la liberación de FSH y LH por parte de la hipófisis anterior. Estas hormonas, a la vez, estimulan a las glándulas sexuales para que produzcan testosterona (en el caso de los hombres) y estrógeno (en las mujeres), los cuales inducen el desarrollo de caracteres sexuales secundarios y la producción de espermatozoides y óvulos, respectivamente.

Web tutorial 40.1 El aparato reproductor masculino

Web tutorial 40.2 El aparato reproductor femenino

40.3 ¿Cómo podemos limitar la fertilidad?

La anticoncepción puede lograrse mediante la abstinencia o la esterilización; esta última consiste en cortar los conductos deferentes en el hombre (vasectomía) o los tubos uterinos en la mujer (ligado de trompas). También es posible bloquear los oviductos insertando un dispositivo con forma de resorte, el cual provoca que se forme tejido de cicatrización. Entre las técnicas anticonceptivas temporales están las que impiden la ovulación mediante estrógeno y progesterona; por ejemplo, las píldoras anticonceptivas, los parches anticonceptivos, el anillo vaginal y las inyecciones de hormonas. Los métodos de barrera, que impiden que los espermatozoides y el óvulo se junten, incluyen el diafragma, el capuchón cervical, la esponja y el condón, acompañados de espermicidas. Los espermicidas, por sí solos, son menos eficaces. El coito interrumpido y las duchas vaginales son técnicas poco efectivas. El método del ritmo, que tiene un alto porcentaje de falla, requiere abstinencia en los días cercanos a la ovulación. Los dispositivos intrauterinos impiden que los espermatozoides lleguen al óvulo. La anticoncepción de emergencia (o "píldora del día siguiente") tiene varios mecanismos de acción. El aborto causa la expulsión del embrión en desarrollo.

TÉRMINOS CLAVE

acrosoma *pág. 821*
anticoncepción *pág. 829*
célula intersticial *pág. 821*
células de Sertoli *pág. 821*

ciclo menstrual *pág. 824*
cigoto *pág. 824*
clamidia *pág. 828*
clítoris *pág. 826*

cópula *pág. 819*
corona radiada *pág. 826*
cuerpo lúteo *pág. 824*
cuerpo polar *pág. 824*

embrión *pág. 823*
endometrio *pág. 824*
enfermedad de transmisión sexual (ETS) *pág. 828*

- escroto** *pág. 820*
espermátida *pág. 821*
espermatozoides primarios *pág. 821*
espermatozoides secundarios *pág. 821*
espermatozoides *pág. 819*
espermatogénesis *pág. 821*
espermatogonias *pág. 821*
espermatozoides *pág. 817*
esterilización *pág. 829*
estrógeno *pág. 820*
fecundación *pág. 816*
fecundación externa *pág. 817*
fecundación interna *pág. 819*
feromona *pág. 818*
feto *pág. 824*
fisiología *pág. 816*
folículo *pág. 823*
gemación *pág. 816*
glándula bulbouretral *pág. 822*
gónada *pág. 820*
gonorrea *pág. 828*
hermafrodita *pág. 817*
herpes genital *pág. 828*
hormona estimuladora de folículos (FSH) *pág. 820*
hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) *pág. 820*
hormona luteinizante (LH) *pág. 820*
labios *pág. 826*
ladillas *pág. 828*
menstruación *pág. 825*
ovario *pág. 823*
ovocito primario *pág. 823*
ovocito secundario *pág. 823*
ovogénesis *pág. 823*
ovogonias *pág. 823*
ovulación *pág. 819*
óvulo *pág. 817*
partenogénesis *pág. 816*
pene *pág. 820*
placenta *pág. 824*
progesterona *pág. 824*
próstata *pág. 822*
pubertad *pág. 820*
regeneración *pág. 816*
reproducción asexual *pág. 816*
reproducción sexual *pág. 816*
semen *pág. 822*
sífilis *pág. 828*
síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA) *pág. 828*
testículo *pág. 820*
testosterona *pág. 820*
tricomoniasis *pág. 828*
tubo uterino *pág. 824*
túbulo seminífero *pág. 821*
uretra *pág. 822*
útero *pág. 824*
vagina *pág. 825*
vesícula seminal *pág. 822*
virus del papiloma humano (VPH) *pág. 828*
zona pelúcida *pág. 826*

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

Menciona las ventajas y desventajas de la reproducción asexual, la reproducción sexual, la fecundación externa y la fecundación interna, dando un ejemplo de animal que utilice cada mecanismo.

Compara las estructuras del óvulo y del espermatozoides. ¿Qué modificaciones estructurales tienen los espermatozoides que facilitan el movimiento, el uso de energía y la digestión?

¿Qué papel desempeña el cuerpo lúteo en el ciclo menstrual? ¿En las primeras etapas del embarazo? ¿Qué determina su supervivencia después de la ovulación?

Elabora una tabla de enfermedades de transmisión sexual comunes. Incluye el nombre de la enfermedad, la causa (organismo o virus), los síntomas y el tratamiento.

5. Menciona en orden las estructuras por las que un espermatozoides pasa en su camino desde los túbulos seminíferos del testículo hasta el tubo uterino de la hembra.

6. Menciona las tres glándulas accesorias del tracto reproductor masculino. ¿Qué funciones tienen las secreciones que producen?

7. Elabora un diagrama del ciclo menstrual y describe las interacciones de las hormonas secretadas por el hipotálamo, la hipófisis y los ovarios que originan el ciclo.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Comenta el método de control de la natalidad más eficaz o apropiado para cada una de estas parejas: la pareja A, que tiene relaciones sexuales tres veces a la semana, pero no quiere tener hijos nunca; la pareja B, que tiene relaciones una vez al mes y quizás quiera tener hijos algún día; y la pareja C, que tiene relaciones tres veces a la semana y quiere tener hijos algún día.
2. Un anticonceptivo hipotético que bloquea los receptores de FSH y LH ¿sería útil en los hombres? ¿Cómo funcionaría? ¿Qué efectos colaterales podría tener?
3. Piensa en todas las opciones de que una pareja dispone para tener hijos, como la fecundación *in vitro* empleando los óvulos y espermatozoides propios, la fecundación *in vitro* empleando óvulos o espermatozoides de un donador, e inseminación de una madre

sustituta con espermatozoides del esposo. Piensa en otras más. ¿Qué problemas éticos presentan estas diversas opciones? ¿Qué problemas legales y médicos podrían surgir?

4. Los fármacos de fertilidad han elevado considerablemente la incidencia de partos múltiples. Cuando más de dos embriones comparten el útero, la incidencia de partos prematuros y problemas del desarrollo aumenta considerablemente. El costo de cuidar a varios bebés prematuros es muy alto. Cuando los fármacos de fertilidad producen múltiples embriones, el médico puede eliminar selectivamente algunos de ellos en las primeras etapas del desarrollo, de manera que los demás tengan una mejor oportunidad de desarrollarse plena y normalmente. En vista de lo anterior, comenta las implicaciones éticas de tomar fármacos de fertilidad.

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Estabrook, B. "Staying Alive". *Wildlife Conservation*, junio de 2002. La tecnología reproductiva asistida ofrece esperanza para salvar especies en peligro de extinción.

Khamisi, R. "Sperm bounce Back After Male Contraception". *New Scientist*, 28 de abril de 2006. Ensayos clínicos muestran una rápida recuperación en la producción de espermatozoides después de que los hombres dejan de tomar anticonceptivos hormonales.

Kingsland, J. "Sperm Warfare". *New Scientist*, 10 de enero de 2004. La investigación en torno a anticonceptivos masculinos apunta a los espermatozoides.

Lanza, R. P., Dresser, B. L. y Damiani, P. "Cloning Noah's Ark". *Scientific American*, noviembre de 2000. Para algunas especies en peligro de extinción, la clonación podría ofrecer la mejor oportunidad de supervivencia.

Milius, S. "Battle of the Hermaphrodites". *Science News*, 16 de septiembre de 2006. Dos sexos en un cuerpo desarrollan comportamientos reproductivos interesantes.

Ness, E. "How to Breed a 2,000-pound Rhino". *Discover*, noviembre de 2001. El rinoceronte de Sumatra, en peligro de extinción, se reprodujo en cautiverio por primera vez en un siglo; sólo sobreviven unos 300 en vida silvestre.

Ojcius, D. M., Darville, T. y Bavoil, P. M. "Can Chlamydia Be Stopped?". *Scientific American*, mayo de 2005. La clamidia es la principal causa de ceguera susceptible de prevención en el mundo; nuevos avances podrían controlarla.

Riddle, J. M. y Estes, J. W. "Oral Contraceptives in Ancient and Medieval Times". *American Scientist*, mayo-junio de 1992. ¿Cómo controlaban su fertilidad las mujeres antes de que existiera la medicina moderna?

Whelan, J. "Reproduction Revolution: Sex for Fun, IVF for Children". *New Scientist*, 20 de octubre de 2006. Este artículo explora las opciones reproductivas de la alta tecnología.

Wright, K. "Male Contraception". *Discover*, octubre de 2002. El autor explora los desafíos y avances en el desarrollo de anticonceptivos masculinos.

Desarrollo animal



John, quien como adulto lucha con los efectos del síndrome de alcoholismo fetal (SAF), ha ayudado a su madre adoptiva Teresa Kellerman a advertir a las mujeres acerca de los riesgos de beber alcohol durante el embarazo. (Imagen en recuadro) Debbie ahora se arrepiente de haber bebido alcohol estando embarazada de su hija Sabrina, cuyo sistema nervioso resultó dañado.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: Los rostros del síndrome de alcoholismo fetal

41.1 ¿En qué difieren el desarrollo indirecto y el directo?

Durante el desarrollo indirecto, los animales sufren un cambio radical en la forma de su cuerpo

Los animales recién nacidos que tienen un desarrollo directo parecen adultos en miniatura

41.2 ¿Cómo procede el desarrollo animal?

Con la segmentación del cigoto se inicia el desarrollo

La gastrulación forma tres capas de tejidos

Las estructuras adultas se desarrollan durante la organogénesis

41.3 ¿Cómo se controla el desarrollo?

Cada célula contiene todos los planos genéticos del organismo

Investigación científica: La promesa de las células madre

La transcripción genética se regula con precisión durante el desarrollo

41.4 ¿Cómo se desarrollan los seres humanos?

Durante los primeros dos meses, la diferenciación y el crecimiento son muy rápidos

La placenta secreta hormonas y permite el intercambio de materiales entre la madre y el embrión

El crecimiento y el desarrollo continúan durante los últimos siete meses

El desarrollo culmina con el parto y el alumbramiento

Las hormonas del embarazo estimulan la secreción de leche

Guardián de la salud: La placenta sólo brinda una protección parcial

El envejecimiento es inevitable

Enlaces con la vida: ¿Por qué el parto es tan difícil?

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO
Los rostros del síndrome de alcoholismo fetal



ESTUDIO DE CASO

LOS ROSTROS DEL SÍNDROME DE ALCOHOLISMO FETAL

“LA SENSACIÓN DE CULPABILIDAD ES TREMENDA... lo hice una y otra vez... no sé cómo decírselo. Era algo que pude haber evitado”. Debbie, la joven madre de este caso, tiene siete hijos. A su hija Cory le diagnosticaron **síndrome de alcoholismo fetal (SAF)**, el tipo de daño más severo causado por el alcohol. Cuando Cory tenía tres años era hiperactiva, pero hablaba como si tuviera un año de edad. Los médicos creen que Sabrina (imagen en recuadro), la hija más pequeña de Debbie también es víctima de ese síndrome porque su carita muestra los rasgos característicos del SAF. A los siete meses de edad, mostraba debilidad y comenzaba a tener convulsiones; además, no podía ingerir alimentos sólidos porque no era capaz de cerrar el labio superior alrededor de la cuchara. Cuando Debbie bebía alcohol durante el embarazo, su hijo en desarrollo sufría los efectos. John (foto de ini-

cio del capítulo) es un joven adulto con el síndrome de alcoholismo fetal; su madre consumía alcohol cuando estaba embarazada y estaba bajo los efectos etílicos cuando dio a luz.

Los daños causados a los hijos cuando las madres sufren la enfermedad del alcoholismo son irreversibles. John tuvo la suerte de ser adoptado por una mujer verdaderamente admirable, Teresa Kellerman, quien realiza una importante labor educativa al advertir a la gente acerca de los peligros de consumir alcohol durante el embarazo. “Si uno no interviene, los chicos terminan sin hogar y sin trabajo, se vuelven drogadictos o son arrestados, tienen hijos no deseados, viven en la calle o mueren prematuramente”, dice Kellerman, quien fundó el Centro de Recursos Comunitarios para el Síndrome de Alcoholismo Fetal, en Tucson, Arizona. La madre de Sabrina empezó su rehabilita-

ción y tiene toda la intención de permanecer sobria y de ser una buena madre para todos sus hijos. Pero aun así, ni John, ni Sabrina, ni los miles de niños que nacen cada año con este síndrome tienen la más mínima probabilidad de sobrevivir si carecen de una estrecha supervisión. Decenas de miles de niños que presentan un daño menor a causa del alcoholismo de sus madres seguirán vivos, pero nunca desarrollarán todo su potencial.

¿Cómo resulta dañado un niño en desarrollo cuando la madre bebe alcohol estando embarazada? ¿Qué rasgos característicos buscan los médicos para diagnosticar el SAF? ¿Hay alguna cantidad de alcohol que una mujer pueda beber sin ningún riesgo durante el embarazo? ¿Existe un periodo en el desarrollo fetal durante el cual una mujer embarazada puede ingerir alcohol sin riesgo?

Los biólogos especializados en el desarrollo continúan investigando los asombrosos pormenores de cómo una sola célula —un cigoto formado a partir de la unión del espermatozoide y el óvulo— se transforma en un organismo tan complejo. Puesto que las células del embrión proliferan por medio de la mitosis, cada célula tiene un genoma idéntico. ¿Qué sustancias químicas hacen que las células genéticamente uniformes se transformen en diferentes componentes de los huesos, la sangre y el cerebro? A medida que los científicos adquieren más conocimientos, aumenta el optimismo acerca de que algún día será posible incrementar nuestra capacidad para dirigir la diferenciación celular y que, con el tiempo, se desarrollarán técnicas para reemplazar las células dañadas de los individuos enfermos o con discapacidades. Aquí exploramos los tipos y las etapas del desarrollo animal, un poco de lo que se conoce acerca de la diferenciación celular y las formas en las cuales las sustancias extrañas pueden interferir con este delicado proceso.

41.1 ¿EN QUÉ DIFIEREN EL DESARROLLO INDIRECTO Y EL DIRECTO?

Cuando pensamos en el desarrollo, con frecuencia vienen a nuestra mente las imágenes de un recién nacido. Es indudable que sus proporciones son distintas, pero los bebés son, en todos los aspectos importantes, versiones en miniatura de los humanos adultos. Las personas y otros mamíferos, así como las aves y los reptiles, nacen como “adultos en miniatura”, gracias a un proceso denominado **desarrollo directo**. Sin embargo, para la mayoría de las especies animales, la norma es el *desarrollo indirecto*.

Durante el desarrollo indirecto, los animales sufren un cambio radical en la forma de su cuerpo

En el **desarrollo indirecto**, el animal joven difiere de manera significativa del adulto y experimenta cambios radicales du-

rante el desarrollo, como cuando un gusano se transforma en mariposa. El desarrollo indirecto ocurre en la mayoría de los invertebrados —incluidos los insectos y equinodermos— y en los vertebrados anfibios. Los animales con desarrollo indirecto comúnmente producen grandes cantidades de huevecillos, y cada uno de ellos tiene sólo una pequeña cantidad de reserva de alimento llamada **vitelo** o **yema**, que nutre al embrión en desarrollo durante su transformación en un organismo, sexualmente inmaduro, llamado **larva** (FIGURA 41-1). Debido a que se produce sólo una pequeña cantidad de vitelo y a que la cría generalmente se vale por sí misma después de salir del huevo, el desarrollo indirecto no exige demasiado de la madre. Esto le permite producir grandes cantidades de crías, la mayoría de las cuales no llegan a la edad adulta. El empleo de este método de reproducción se ilustra por los depósitos de corales que se muestran en la figura 40-6.

Algunos animales en estado larvario no solamente se ven muy diferentes de los animales adultos, sino que también habitan en ambientes totalmente distintos. Además, la mayoría de las larvas se alimentan de organismos diferentes en relación con los adultos. Esta adaptación elimina la competencia entre los adultos y sus crías. Por ejemplo, la larva acuática de la libélula se alimenta de organismos acuáticos, como los renacuajos; pero la libélula adulta, que es terrestre, se alimenta de insectos (FIGURA 41-1b). Con el tiempo, la larva experimenta un cambio radical en la forma de su cuerpo, conocida como **metamorfosis**, para convertirse en un adulto sexualmente maduro.

Aunque tendemos a considerar la forma adulta como el “verdadero animal” y el estado larvario como la “etapa de preparación”, la mayor parte de la vida de algunos animales, especialmente los insectos, transcurre en la forma larvaria. Algunos tipos de moscas de mayo (también conocidas como moscas efímeras) pasan un año o más como larvas acuáticas, luego sufren metamorfosis para salir del agua dulce de arroyos, estanques y lagos en grandes enjambres. Las moscas de

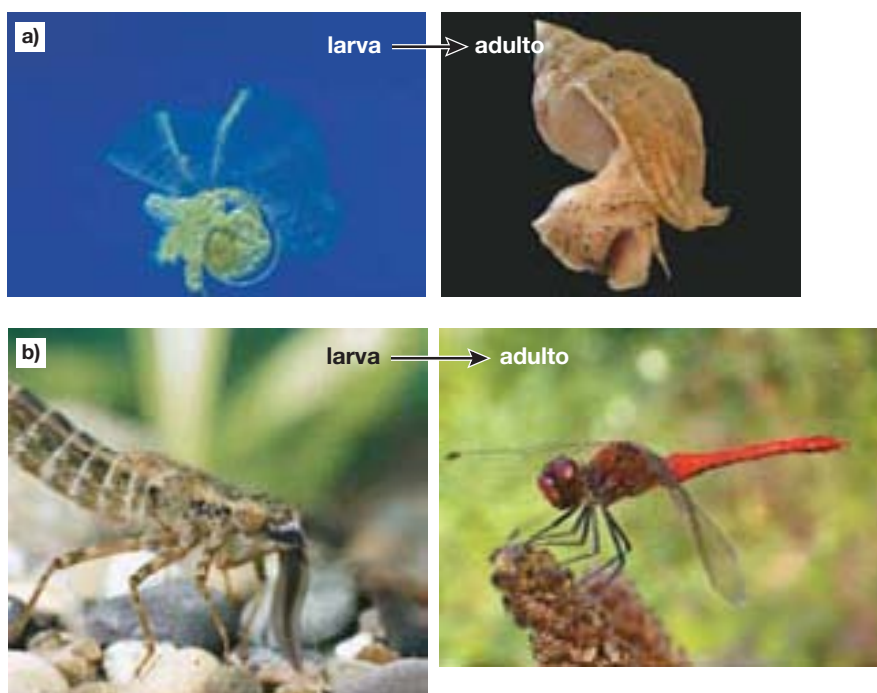


FIGURA 41-1 Desarrollo indirecto

Muchos moluscos marinos, como este caracol común, experimentan un desarrollo indirecto en el cual la larva casi microscópica es muy diferente del adulto en cuanto a tamaño, apariencia y estilo de vida. **b)** La larva de la libélula es acuática y se alimenta de renacuajos (como se muestra aquí) y de pececillos, mientras que la forma adulta es terrestre y se alimenta de otros insectos. **PREGUNTA:** Explica algunas ventajas y desventajas del desarrollo indirecto.

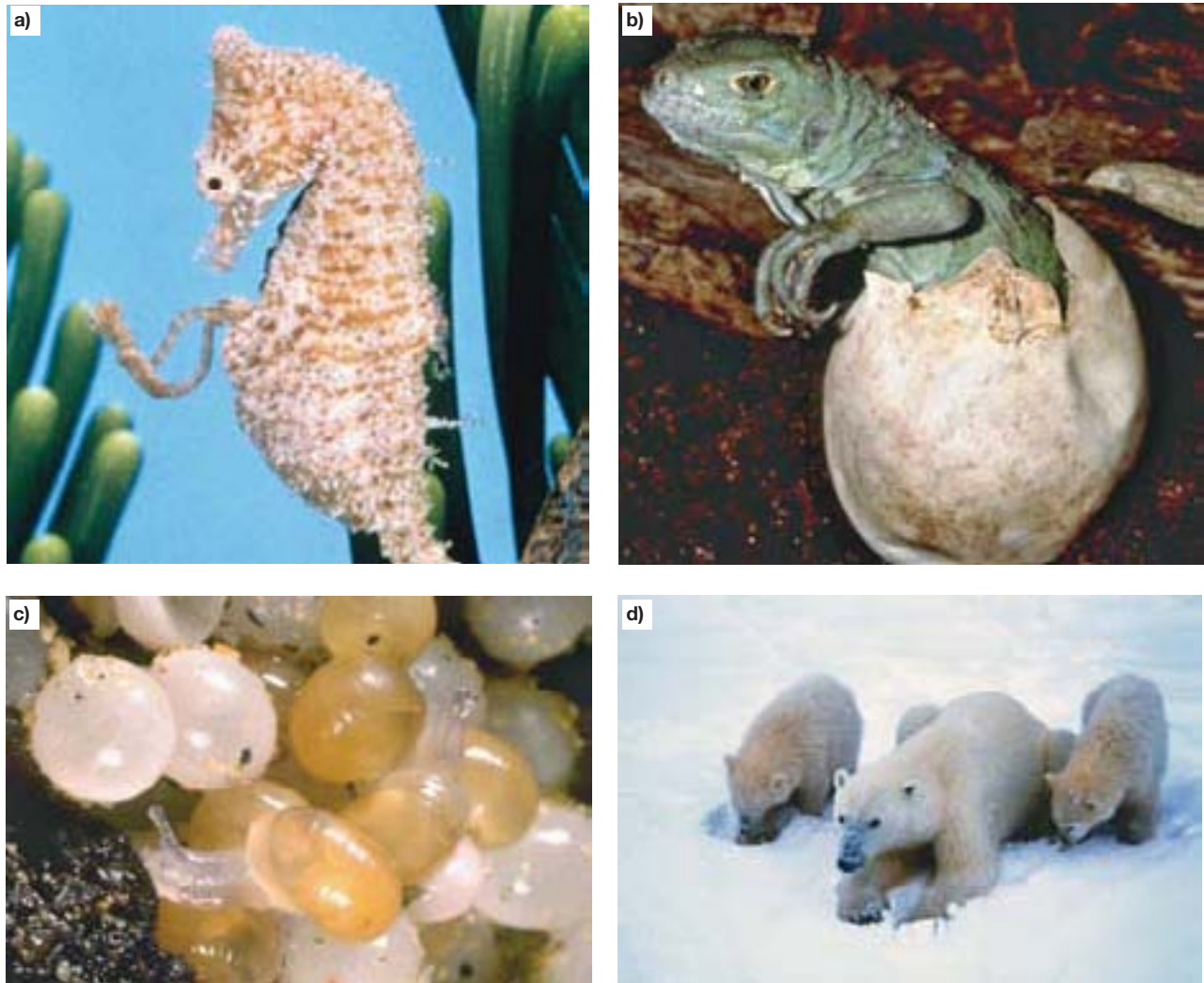


FIGURA 41-2 Desarrollo directo

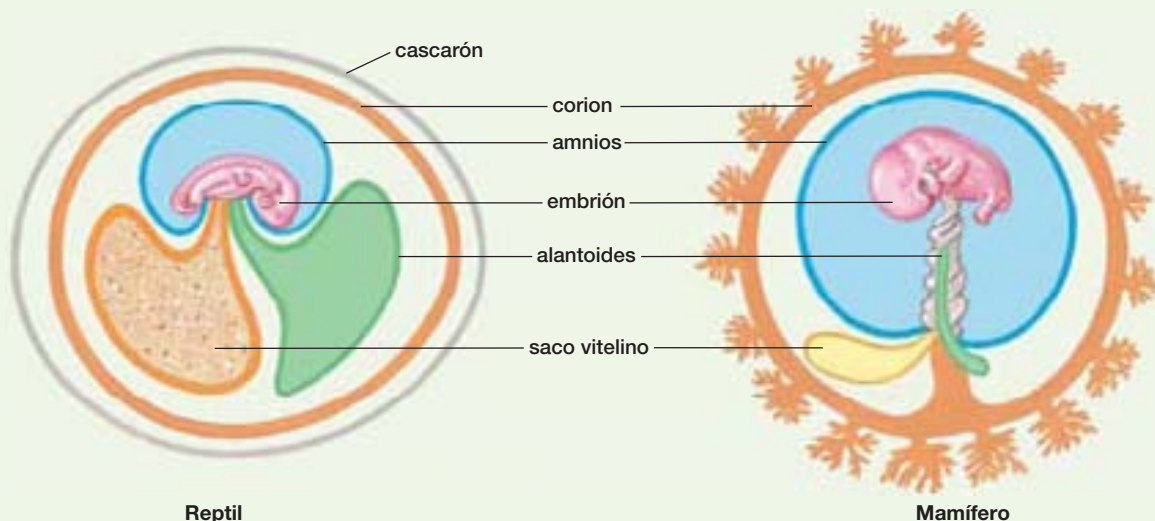
Las crías de los animales con desarrollo directo se parecen mucho a sus progenitores desde el momento en que nacen. Todos se alimentan por medio del vitelo (yema del huevo) o por nutrimentos en la sangre de la madre. **a)** Un caballito de mar macho alimenta a las crías que se han desarrollado de los huevecillos ricos en vitelo, colocados en su bolsa por la hembra. **b)** Los lagartos nacen de huevos grandes llenos de vitelo. **c)** Los caracoles nacen de huevos pequeños ricos en vitelo, **d)** Las madres de los mamíferos alimentan a sus crías en desarrollo dentro de sus cuerpos. **PREGUNTA:** Explica algunas ventajas y desventajas del desarrollo directo.

mayo adultas viven desde unas cuantas horas hasta algunos días. No se alimentan, y su única ocupación es aparearse y poner huevecillos. Cada hembra deposita miles de ellos sobre el agua; de los huevecillos salen larvas que continúan su ciclo.

Los animales recién nacidos que tienen un desarrollo directo parecen adultos en miniatura

Otros animales, incluidos diversos grupos como caracoles de tierra, reptiles, aves y mamíferos, experimentan un desarrollo directo, en el cual el recién nacido es una versión en miniatura del individuo adulto, aunque sexualmente inmaduro (**FIGURA 41-2**

Tabla 41-1 Membranas embrionarias de los vertebrados



Reptil

Mamífero

Embrión de reptil

Embrión de mamífero

Membrana	Embrión de reptil		Embrión de mamífero	
	Estructura	Función	Estructura	Función
Corion	Membrana que reviste el interior del cascarón	Actúa como superficie respiratoria; regula el intercambio de gases y agua entre el embrión y el aire	Aportación fetal a la placenta	Provee la superficie para el intercambio de gases, nutrimentos y desechos entre el embrión y la madre
Amnios	Bolsa que rodea al embrión	Encierra al embrión en líquido	Bolsa que rodea al embrión	Encierra al embrión en líquido
Alantoides	Bolsa conectada al tracto urinario del embrión; membrana rica en capilares que reviste el interior del corion	Almacena desechos (especialmente orina); actúa como superficie respiratoria	Bolsa membranosa que sale del intestino; varía en tamaño	Puede almacenar desechos metabólicos; proporciona los vasos sanguíneos del cordón umbilical
Saco vitelino	Membrana que rodea el vitelo	Contiene vitelo como alimento; digiere el vitelo y transfiere nutrimentos al embrión	Bolsa membranosa, pequeña y llena de líquido	Ayuda a absorber nutrimentos de la madre; forma células sanguíneas; contribuye al cordón umbilical

Reptiles, aves y mamíferos producen membranas extraembrionarias similares

Los anfibios fueron los primeros vertebrados en habitar en tierra firme, pero su reproducción está íntimamente vinculada con el agua, donde depositan los huevos y donde sus crías en estado larvario crecen y experimentan la metamorfosis para convertirse en adultos. La vida completamente terrestre de los vertebrados no fue posible sino hasta que la evolución produjo el **huevo amniótico** con cascarón. Esta innovación, que aloja al embrión en un espacio protegido lleno de líquido, surgió primero en los reptiles y persiste hasta ahora en ese grupo y en sus descendientes: las aves y los mamíferos. Permite a estos grupos completar su desarrollo para adquirir la forma adulta en su “estanco privado”. El huevo amniótico está formado de cuatro membranas, llamadas **membranas extraembrionarias**: *corion*, *amnios*, *alantoides* y *saco vitelino*. El **corion** reviste el cascarón y hace posible el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre el embrión y el ambiente externo del huevo. El **amnios** encierra al embrión en un ambiente acuoso; la **alantoides**

almacenado, o “yema de huevo”. Aunque los huevos de la mayoría de los mamíferos casi no contienen vitelo, existen las cuatro membranas extraembrionarias como remanentes del programa genético de desarrollo de los reptiles. La **tabla 41-1** compara las estructuras y funciones de estas membranas extraembrionarias de los reptiles y mamíferos.

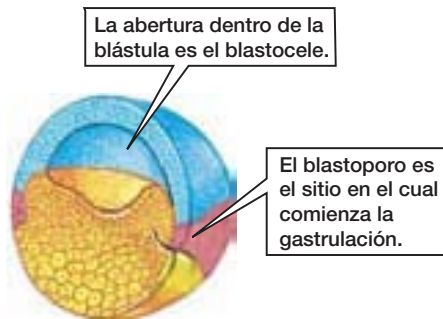
41.2 ¿CÓMO PROCEDE EL DESARROLLO ANIMAL?

La transformación a partir del óvulo fecundado —una sola célula— a un embrión multicelular diferenciado se realiza de una forma suave y continua mediante un maravilloso proceso. El desarrollo real es continuo y fluido; las etapas descritas son sólo “fotografías instantáneas” con fines ilustrativos. Las etapas iniciales son *segmentación*, *gastrulación*, *organogénesis* y *crecimiento*,

ectodermo mesodermo endodermo

**a) La blástula antes de la gastrulación.**

Todavía no se forman los tres tipos de tejido embrionario. Los colores indican el destino de las células después de iniciada la diferenciación en la gástrula.

**b) Las células migran al inicio de la gastrulación.**

Las células que inmigran forman las capas de endodermo y mesodermo de la gástrula; las células que permanecen en la superficie forman el ectodermo.

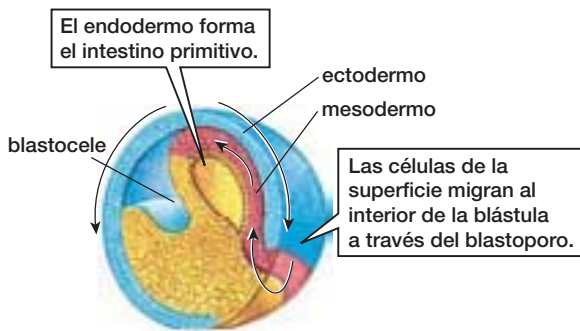
**c) Diferenciación del mesodermo.**

FIGURA 41-3 La blástula de una rana se convierte en gástrula

Con la segmentación del cigoto se inicia el desarrollo

La formación de un embrión se inicia con la **segmentación**, una serie de divisiones mitóticas de la célula grande del huevo fecundado o *cigoto*. No hay crecimiento entre las divisiones mitóticas, así que al progresar la segmentación, el citoplasma disponible en el cigoto grande se divide en células aun más pequeñas. Finalmente, se forma una esfera sólida de células pequeñas, la **mórula**

lulas se transforman en la cubierta externa de una estructura hueca llamada **blástula**. El espacio dentro de la blástula se denomina *blastocele* (**FIGURA 41-3a**).

Los detalles de la segmentación difieren según las especies. El patrón se determina primordialmente por la cantidad de vitelo presente, porque éste obstruye la *citocinesis* (división del citoplasma). Los huevos del erizo de mar que casi no contienen vitelo se dividen de forma simétrica, pero los huevos con gran cantidad de vitelo, como los de gallina, no se dividen en toda su extensión. No obstante, siempre se produce una blástula hueca; en los reptiles y las aves, está aplanada en la parte superior del vitelo.

La gastrulación forma tres capas de tejidos

En el siguiente paso del desarrollo, se forma una invaginación, llamada **blastoporo**, a un lado de la blástula. Las células de la blástula migran hacia dentro a través del blastoporo, como si tomáramos una pelota grande casi desinflada y la presiónáramos con el dedo (**FIGURA 41-3b**). Estas células forman tres capas de tejido embrionario. La migración de las células y la diferenciación que produce un embrión de tres capas se llama **gastrulación**, y el embrión resultante se conoce como **gástrula** (tabla 41-2). Las células de la invaginación, cada vez más profunda, se convertirán en el tracto digestivo y los órganos asociados; por ahora constituyen el **endodermo** (del griego, “piel interior”). Las células que permanecen en el exterior, que formarán la epidermis y el sistema nervioso, constituyen el **ectodermo** (“piel exterior”). Mientras tanto, algunas células migran entre el endodermo y el ectodermo, formando una tercera capa final, el **mesodermo** (“piel intermedia”). El mesodermo da origen a los músculos, el esqueleto (incluido el **notocordio**, un cilindro firme de sostén que se encuentra en cierta etapa de todos los cordados) y el sistema circulatorio (**FIGURA 41-3c**).

Las estructuras adultas se desarrollan durante la organogénesis

Gradualmente, el ectodermo, mesodermo y endodermo se reordenan para formar los órganos característicos de la especie animal por medio de un proceso llamado **organogénesis** (véase la tabla 41-2). En algunos casos, las estructuras adultas son “esculpidas” por el exceso de células muertas producidas durante el desarrollo embrionario. Algunas células están programadas para morir en momentos precisos durante el desarrollo; la muerte de las células está controlada al menos por dos mecanismos que funcionan en diferentes tejidos. Algunas

Tabla 41-2 Derivación de tejidos adultos a partir de capas celulares embrionarias

Capa embrionaria	Tejido adulto
Ectodermo	Epidermis de la piel, cabello, revestimiento de la boca y nariz, glándulas de la piel, sistema nervioso
Mesodermo	Dermis de la piel, músculos, esqueleto, sistema circulatorio, gónadas, riñones, capas externas de los tractos digestivo y respiratorio
Endodermo	Revestimiento de los tractos digestivo y respiratorio, hígado, páncreas



FIGURA 41-4 Una rana toro pierde su cola

células mueren durante el desarrollo a menos que reciban una “señal de supervivencia”. Los vertebrados embrionarios, por ejemplo, tienen muchas más neuronas motrices para los músculos esqueléticos en su médula espinal que los animales adultos. Estas neuronas sobreviven sólo si logran formar sinapsis con las células del músculo esquelético; las neuronas adicionales mueren.

En otros casos, se forman estructuras de embrión y luego desaparecen porque reciben una “señal de muerte” en alguna etapa del desarrollo. Por ejemplo, todos los vertebrados pasan por etapas embrionarias en las cuales tienen cola y membranas entre los dedos de las manos y los pies. En el ser humano, estas etapas pueden verse claramente en los embriones de seis semanas (véase la figura 41-12). Dos semanas después, las células de las membranas mueren para revelar dedos separados, mientras que la cola sufre una regresión conforme sus células mueren (véase la figura 41-13). En las ranas, la cola se pierde durante la metamorfosis de la larva o renacuajo. En este caso, la hormona tiroidea, que desencadena la metamorfosis, también estimula a las células de la cola para que produzcan enzimas, las cuales terminan por digerirla por completo (**FIGURA 41-4**).

41.3 ¿CÓMO SE CONTROLA EL DESARROLLO?

Piensa por un momento en el milagro biológico que transformó una sola célula —un cigoto— en el individuo que eres. Los biólogos emplean términos prosaicos para describir esta increíble serie de sucesos. **Desarrollo** es el proceso por medio del cual un organismo pasa de óvulo fecundado a adulto. **Diferenciación** es la especialización de las células embrionarias que las convierte en diferentes tipos de células, como musculares, cerebrales, entre muchas otras. ¿Cómo se diferencian las células unas de otras durante el desarrollo? Sabemos que el cigoto contiene todos los genes necesarios para dirigir la construcción del organismo entero. ¿Se pierde alguno de estos genes durante la diferenciación celular?

Cada célula contiene todos los planos genéticos del organismo

A principios de la década de 1950, los embriólogos norteamericanos Thomas King y Robert Briggs comenzaron a realizar experimentos que posteriormente continuaría el embriólogo británico John Gurdon. Trasplantaron el núcleo de una célula diferenciada tomada del intestino de un renacuajo a un óvulo de rana no fecundado, cuyo núcleo se había extirpado (**FIGURA 41-5**

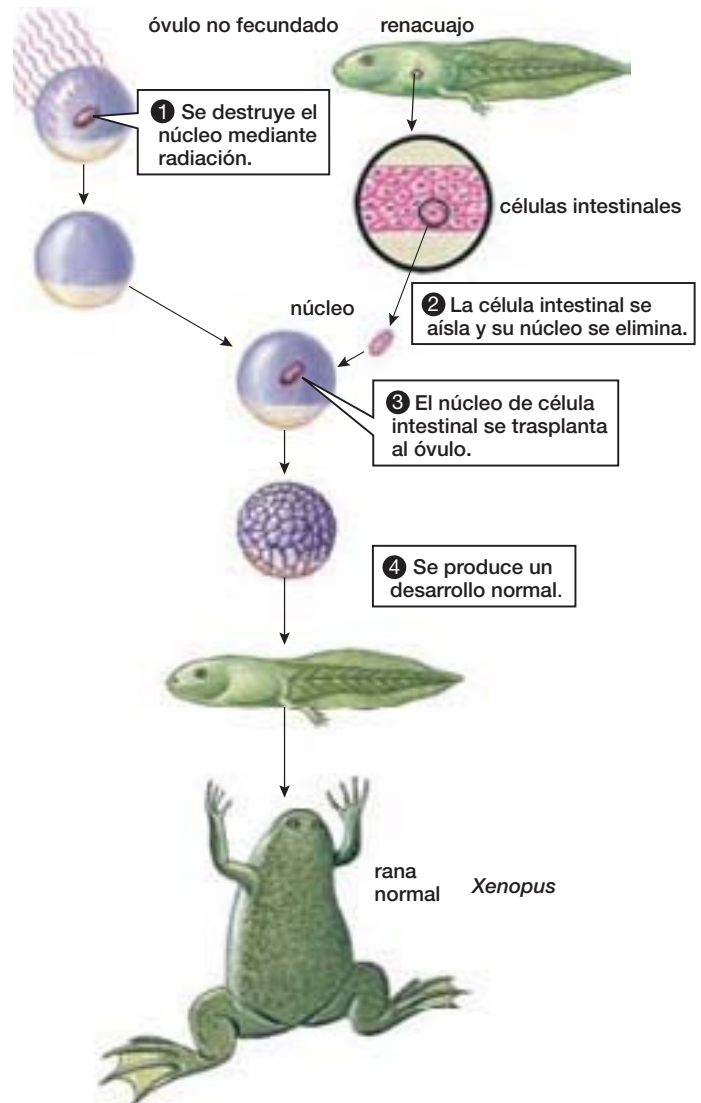


FIGURA 41-5 Las células conservan todos sus genes durante la diferenciación

Los investigadores destruyeron el núcleo del óvulo no fecundado de una rana, luego trasplantaron el núcleo de una célula intestinal de un renacuajo al óvulo. El “huevo” resultante se desarrolló para dar origen a una rana normal, lo que demuestra que las células intestinales conservan todos los genes necesarios para el desarrollo del organismo entero. **PREGUNTA:** En este experimento, ¿el trasplante del núcleo de cualquier célula de una rana adulta habría dado por resultado un desarrollo normal?

hubiera resultado imposible de lograr si se hubieran perdido los genes durante la diferenciación. Estos experimentos apoyaron la hipótesis de que cada célula diferenciada de un animal contiene la información genética necesaria para el desarrollo de todo el organismo. El conocimiento de que todas las células conservan los genes para producir un organismo adulto completo se emplea en la tecnología de células madre, como se describe en “Investigación científica: La promesa de las células madre”. Ahora sabemos que las células de diferentes partes de un organismo difieren porque se activan distintos genes que se transcriben a RNA mensajero y se traducen en proteínas.

INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

La promesa de las células madre

La capacidad de una sola célula para dar origen a los 200 o más tipos diferentes de células en un organismo adulto es una de las maravillas de la vida. Cada núcleo de una célula contiene toda la información genética para un organismo, y el hecho de que una célula llegue a ser muscular, ósea o cerebral está determinado por factores complejos en el ambiente celular que establecen cuáles genes son activos. Estos factores causan la *diferenciación* de la célula, es decir, asumen una forma y una función especializada. Una **célula madre** o **célula troncal** aún no se ha diferenciado, de manera que continúa dividiéndose y tiene el potencial para dar origen a más de un tipo de célula. Existen muchas esperanzas en torno a las implicaciones médicas de la tecnología de las células madre. Las víctimas de infartos al miocardio, accidentes cerebrovasculares, lesiones de la columna vertebral y enfermedades degenerativas desde la artritis hasta la enfermedad de Parkinson resultarían beneficiadas si los tejidos dañados pudieran regenerarse.

Las **células madre embrionarias (ESC)**, por las siglas de *embryonic stem cells* se derivan de la masa celular interna del blastocisto (véase la figura 41-10), un cúmulo de aproximadamente 100 células. En 1998, el doctor James Thomson y sus colaboradores de la Universidad de Wisconsin aislaron por primera vez las ESC humanas, las cultivaron en cajas de Petri y luego las diferenciaron en una variedad de tejidos humanos, como se ilustra en la **FIGURA E41-1**. La ventaja de las ESC es que pueden producir cualquier tipo de célula del cuerpo. Sin embargo, como el blastocisto es un embrión humano en una etapa temprana, algunos legisladores de Estados Unidos están debatiendo en torno a los problemas éticos que implica la asignación de fondos para las investigaciones sobre las células ESC.

Las investigaciones recientes han demostrado que la mayoría de los tejidos de un individuo adulto, incluidos los músculos, la piel, el hígado, el cerebro, el corazón y la sangre, contienen al menos pequeñas cantidades de células madre, llamadas **células madre adultas (ASC)**, por las siglas de *adult stem cells*. De hecho, las células madre de la médula ósea, la cual produce tanto glóbulos rojos como blancos, se han empleado durante décadas en trasplantes para tratar enfermedades como la leucemia. Aunque los científicos alguna vez pensaron que las células ASC podían diferenciarse sólo en unos cuantos tipos de células, los investigadores han sido capaces de transformarlas en más variedades de las que inicialmente se creyó posible. El descubrimiento reciente de que la placenta es rica en células madre sanguíneas ha creado gran entusiasmo entre los investi-

gadores, quienes abrigan la esperanza de que las células de esta fuente abundante podría estimularse para formar una variedad de tejidos además de la sangre.

Los tejidos que se derivan de las células madre de un individuo conservan los marcadores genéticos que hacen que los rechace el sistema inmunitario de un receptor diferente, si no se emplean fármacos inmunosupresores. Anticipándose a los nuevos adelantos de la terapia con células madre, algunos padres han solicitado que una muestra de la placenta del recién nacido se conserve por medio de la criogenia, de manera que se tengan disponibles células madre con la composición genética exacta del niño con el fin poder reparar cualquier tejido dañado a lo largo de su vida. En un futuro, los investigadores esperan emplear las técnicas de la ingeniería genética para modificar las proteínas superficiales celulares, de forma que las células madre cultivadas de un individuo puedan emplearse en otras personas sin que surjan problemas de rechazo.

La **clonación terapéutica** —que implica insertar un núcleo celular de un donador adulto, que necesita una reparación tisular, en un óvulo cuyo núcleo ha sido removido— permitiría crear células madre embrionarias que no se rechazarían. Como no se puede descartar que este proceso, si se desarrolla lo suficiente, pudiera utilizarse para producir un clon del donador, aún se encuentra en un estado de controversia.

Un escenario ideal sería estimular las células madre quiescentes (inactivas) que residen en el tejido dañado para que se reproduzcan. Por ejemplo, las células madre del músculo cardíaco podrían estimularse para que remplazaran el tejido muerto debido a un infarto del miocardio. De manera alternativa, los médicos podrían obtener células madre de una persona lesionada, tomándolas de un tejido como la médula ósea, donde abundan, y luego tratarlas con factores de diferenciación específicos e inyectarlas en la parte del cuerpo dañada. De forma ideal, ahí se reproduciría y remplazaría el tejido perdido.

Además de su enorme potencial para restaurar el tejido dañado y combatir las enfermedades, las células madre algún día podrán cultivarse en grandes cantidades y emplearse para probar nuevos fármacos. Los medicamentos que dañan a estas células embrionarias posiblemente dañen también al embrión en desarrollo, por lo que no deberían administrarse a mujeres embarazadas. Las células madre cultivadas podrían utilizarse también para investigar los procesos increíblemente complejos que controlan el desarrollo humano.

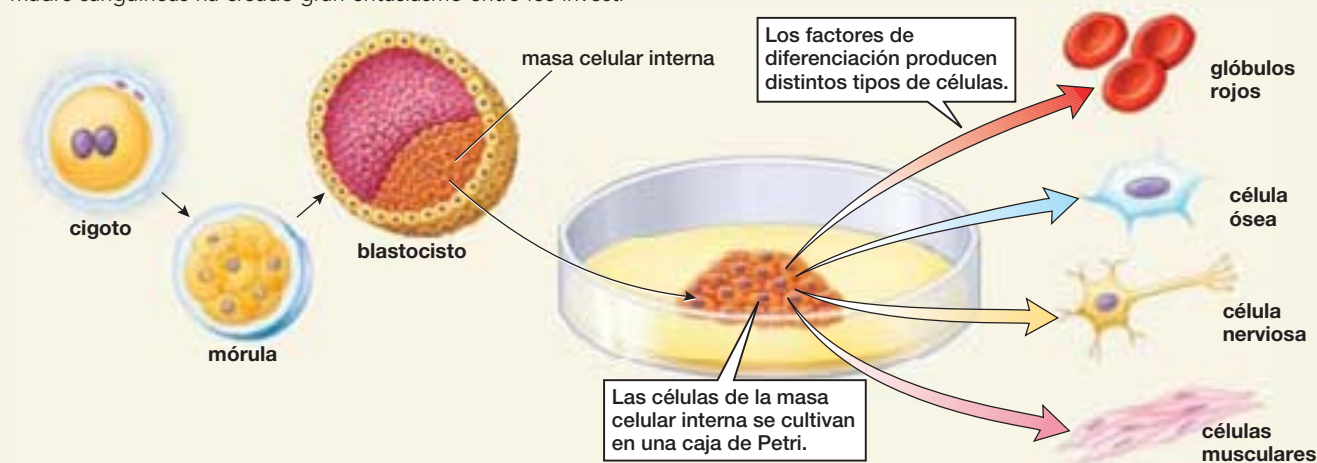


FIGURA E41-1 Cultivo de células madre de un blastocisto

La transcripción genética se regula con precisión durante el desarrollo

¿Cómo “decide” una célula que formará parte de un hueso, un músculo o del intestino? En cualquier célula, en un momento dado, sólo se emplea o transcribe una porción de sus genes. Recordarás del capítulo 10 que la *transcripción* es la producción del RNA mensajero utilizando un gen como patrón. La combinación particular de genes que se transcribe en una célula determina la forma, estructura y actividad bioquímica de esa célula. La diferenciación durante el desarrollo se lleva a cabo por medio de un proceso llamado **inducción**. La inducción es el proceso por medio del cual se estimulan células específicas para que sigan una ruta de desarrollo específica; por ejemplo, para que sean musculares u óseas bajo la influencia de mensajeros químicos producidos por otras células. Durante la inducción, los conjuntos de genes se activan de manera selectiva en grupos diversos de células, haciendo que adopten diferentes formas y asuman distintas funciones. En general, las moléculas que controlan la transcripción son proteínas (o proteínas combinadas con sustancias como las hormonas esteroides), que se enlazan a genes específicos y bloquean o promueven la transcripción.

En muchos invertebrados, varias sustancias que regulan los genes se concentran en diferentes partes del citoplasma del huevo, conforme éste se desarrolla. Al dividirse el cigoto, cada una de las células hijas recibe diferentes sustancias reguladoras de los genes; de esta forma, las células hijas tomarán distintas rutas de desarrollo. En contraste, cada una de las células producidas por la segmentación de los cigotos de vertebrados para formar la blástula puede dar origen a un individuo completo si tales células se separan, como ocurre en el caso de los gemelos humanos idénticos.

El destino general del desarrollo de la mayoría de los embriones de los anfibios se forma durante la gastrulación. En los embriones de los anfibios se forman células de inducción en el punto de invaginación cuando la blástula se transforma en gástrula. Esta área, llamada *labio dorsal del blastoporo*, controla el destino de las células que la rodean, como lo demostraron Hans Spemann y Hilde Mangold al llevar a cabo experimentos de trasplantes en la década de 1920 (FIGURA 41-6).

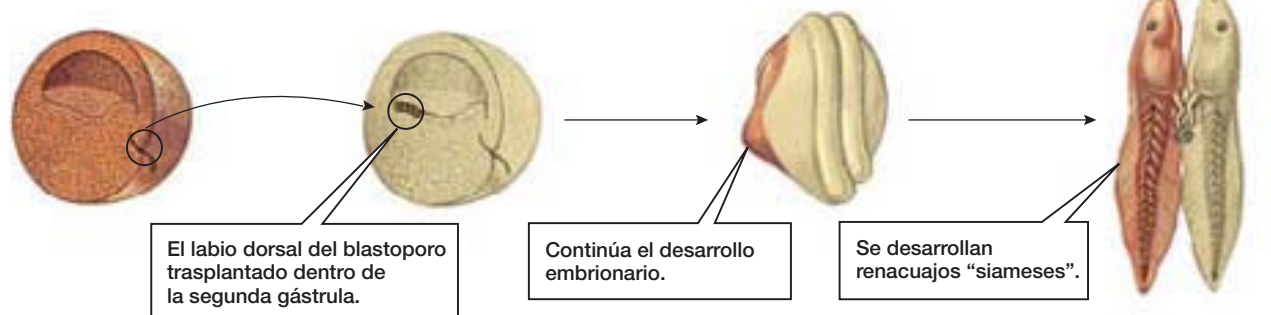
La migración celular puede ser guiada por contacto con las proteínas superficiales

Las células, guiadas por sustancias químicas, migran en el interior del embrión en desarrollo (véase la figura 41-3). El proceso por medio del cual las células llegan a sus sitios adecuados, como en la espina dorsal o un músculo del brazo, es tema de investigaciones profundas. Los receptores de proteínas superficiales asociadas con tipos de células específicos pueden responder a rutas químicas específicas trazadas por las células más próximas. Estas rutas químicas atraen a las células por medio de receptores específicos para que migren por ellas. Aunque aún no se comprenden del todo los mecanismos exactos, la producción de proteínas específicas para el tipo de célula y de caminos por los que esas células migran depende de la transcripción de genes específicos como resultado de la inducción.

Los segmentos del gen homeobox son importantes reguladores del desarrollo

¿Cómo “saben” las diferentes partes de un organismo cuáles genes deben expresar? Aún continúa la búsqueda de la respuesta a esta pregunta aparentemente sencilla; pero el *ho-*

a) El labio dorsal del blastoporo trasplantado induce la formación de un segundo renacuajo.



b) Futuras células de piel trasplantadas son inducidas a formar tejido neural.

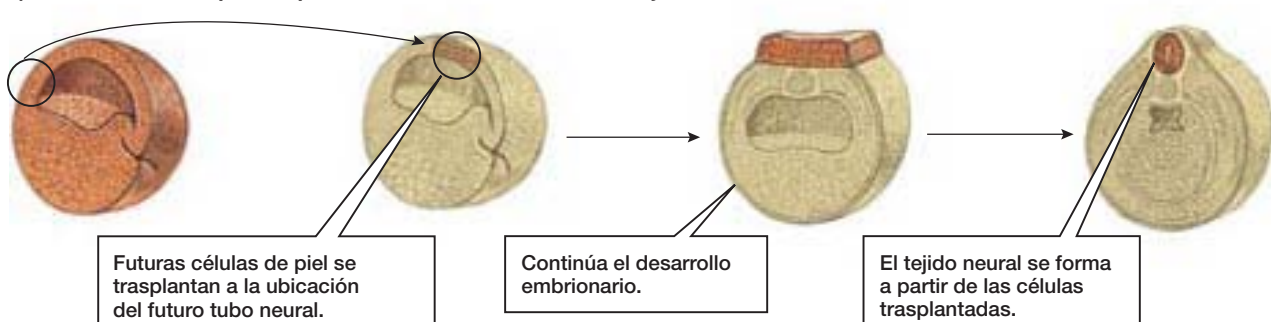




FIGURA 41-7 Los segmentos de gen homeobox regulan el desarrollo

Debido a una mutación en un gen homeobox, esta mosca de la fruta tiene patas perfectamente formadas en el lugar donde deberían estar las antenas.

meobox, descubierto en la mosca de la fruta a principios de la década de 1980, ofrece una pista importante. Los **homeoboxes** son secuencias cortas de DNA que se encuentran dentro de genes más grandes. Estas secuencias de DNA codifican las secuencias de los aminoácidos dentro de ciertas proteínas. Se han descubierto cientos de segmentos de gen homeobox, y muchos están implicados de alguna forma en el desarrollo inicial. Ligeras diferencias entre los homeoboxes les confieren funciones diversas, como dirigir la formación de las diferentes partes del cuerpo. Los científicos sostienen la hipótesis de que la secuencia de aminoácidos codificada por el segmento homeobox de ciertos genes permite a las proteínas codificadas por esos genes unirse con el DNA. La investigación sugiere que las proteínas de enlace del DNA con los segmentos homeobox son un tipo especial de *factor de transcripción*, una sustancia química que se enlaza a un gen y provoca que éste se “encienda” o se transcriba. Los factores de transcripción con los segmentos homeobox son especiales porque funcionan como reguladores maestros, que actúan sobre todos los genes necesarios para producir una parte específica del cuerpo, como una extremidad. Además, su acción es permanente, causando que los genes afectados se “enciendan” de forma permanente en las células y en su descendencia, comprometiéndolas para siempre a ser parte de una pata, ala u ojo. Si debido a una mutación se altera el segmento de homeobox, éste podría ordenar a una pata que aparezca donde debería aparecer la antena de una mosca de la fruta (**FIGURA 41-7**).

Los investigadores hicieron el inquietante descubrimiento de que secuencias de DNA homeobox muy similares están presentes en los animales, incluidas las esponjas, medusas, gusanos planos, insectos, ratones y seres humanos. Segmentos homeobox relacionados también se han encontrado en hongos y plantas. Si las secuencias de genes se conservan relativamente inalteradas durante quizá más de 500 millones de años







de evolución, ello sugiere que desempeñan un papel importante, como podríamos predecir para un gen regulador maestro que especifica la forma en que se desarrolla el cuerpo de un animal.






41.4 ¿CÓMO SE DESARROLLAN LOS SERES HUMANOS?

El desarrollo humano es controlado por los mismos mecanismos que controlan el desarrollo de otros animales. De hecho, nuestro desarrollo refleja notablemente nuestra herencia evolutiva. La **FIGURA 41-8** presenta un resumen del desarrollo embrionario y fetal del ser humano.

Durante los primeros dos meses, la diferenciación y el crecimiento son muy rápidos

El óvulo emite sustancias químicas que atraen a los espermatozoides, lo que aumenta sus oportunidades de ser fecundado. Un óvulo humano por lo regular se fecunda en el oviducto de la mujer y experimenta algunas divisiones en su trayecto hacia el útero, un viaje que toma aproximadamente cuatro días (**FIGURA 41-9**). Primero se forma una mórula, una esfera sólida de células, a medida que el cigoto comienza a dividirse. Aproximadamente seis días después de la fecundación, la mórula se convierte en una esfera hueca de células, el **blastocisto** (la versión de una blástula en los mamíferos; **FIGURA 41-10**). Dentro del blastocisto hay una región gruesa, la **masa de células internas** (figura 41-10; véase también la figura 41-9a). Dentro del útero, el blastocisto se introduce en el endometrio, un proceso llamado **implantación**. La capa celular externa se convierte en el corion, el cual será la aportación embrionaria a la placenta; la masa de células internas se convertirá en el embrión y en las otras tres membranas extraembrionarias.

semana 1	semana 2	semana 3	semana 4	semana 5	semana 6
cigoto a blastula tardía		embrión			
 <p>cigoto</p>	 <p>blastocisto</p>	 <p>1.5 a 2.5 mm</p>	 <p>3 a 5 mm</p>	 <p>7 a 9 mm</p>	 <p>8 a 11 mm</p>
<p>La segmentación del cigoto forma la mórula y luego la blastula, que se implanta en el útero.</p>	<p>La blastula se introduce en el endometrio; forma el saco vitelino, amnios y disco embrionario.</p>	<p>Ocurre la gastrulación; se forman el notocordio y el principio del tubo neural; el corazón late.</p>	<p>El tubo neural se cierra; se forman yemas de brazos, cola y hendiduras branquiales.</p>	<p>Se comienzan a formar los ojos; se forman yemas de piernas; el encéfalo crece.</p>	<p>Se forman los pabellones auriculares y dedos con membranas; desaparecen la cola y las hendiduras branquiales.</p>

semana 7	semana 8	semana 10	semana 12	semana 16
embrión		feto		
 <p>1.7 a 2.0 cm</p>	 <p>2.3 a 2.8 cm</p>	 <p>3.2 a 4.4 cm</p>	 <p>5 a 7.6 cm</p>	 <p>10.2 a 12.7 cm</p>
<p>Se forman dedos del pie con membranas; los huesos comienzan a endurecerse; la espalda se endereza; se forman los párpados.</p>	<p>Se empiezan a formar todos los órganos principales y los genitales masculinos; los brazos se pueden doblar; se distinguen los dedos; toman forma los rasgos faciales y las orejas.</p>	<p>Después de 8 semanas el embrión se llama feto. Se forman los glóbulos rojos; se separan los dedos de los pies; se acaban de desarrollar los párpados; están presentes las partes principales del cerebro; las manos pueden formar puños.</p>	<p>El cuello está bien delineado; están presentes todos los órganos, al igual que los genitales masculinos o femeninos; se mueven los brazos y las piernas; empiezan a formarse los dientes; se detectan los latidos cardíacos por medios electrónicos.</p>	<p>Ocurren movimientos para chupar y deglutir; el hígado y el páncreas comienzan a funcionar. El cuerpo crece en relación con la cabeza; los órganos principales continúan su desarrollo. La madre siente los movimientos; el feto pesa unos 140 gramos.</p>





semana 20	semana 24	semana 30	semana 36
feto			
 <p>15.2 a 17.8 cm</p>	 <p>20.3 a 22.9 cm</p>	 <p>38.1 a 40.6 cm</p>	 <p>40.6 a 48.3 cm</p>
<p>El feto se chupa el dedo; los brazos y piernas golpean; el cuerpo puede cambiar de posición. Se forman las uñas, se deposita grasa bajo la piel; aparecen cejas y pestañas.</p>	<p>El cerebro continúa su desarrollo, se desarrolla el sentido del oído; los ojos se pueden mover. El feto presenta hipo, puede entornar los ojos, sonreír y fruncir el ceño. El feto tiene pelo en la cabeza. Aparecen las huellas dactilares y del pie. Pesa entre 500 y 700 gramos.</p>	<p>Continúa el desarrollo del cerebro; los ojos se abren y se cierran y pueden ver la luz; el feto da patadas y se estira; ocurren los movimientos respiratorios, pero los pulmones no han madurado. Los huesos están presentes, sólo que son flexibles. El bebé podría sobrevivir si nace en este momento.</p>	<p>Los ojos se abren y se cierran según los ciclos de sueño y vigilia; aumenta la grasa corporal; los pulmones y otros órganos funcionan. El infante puede aspirar y orientarse hacia la luz. Pesa entre 2.3 y 2.7 kg, y ya no se le considera prematuro si nace en este momento. El término completo es de 38 semanas.</p>

FIGURA 41-8 Desarrollo del embrión humano

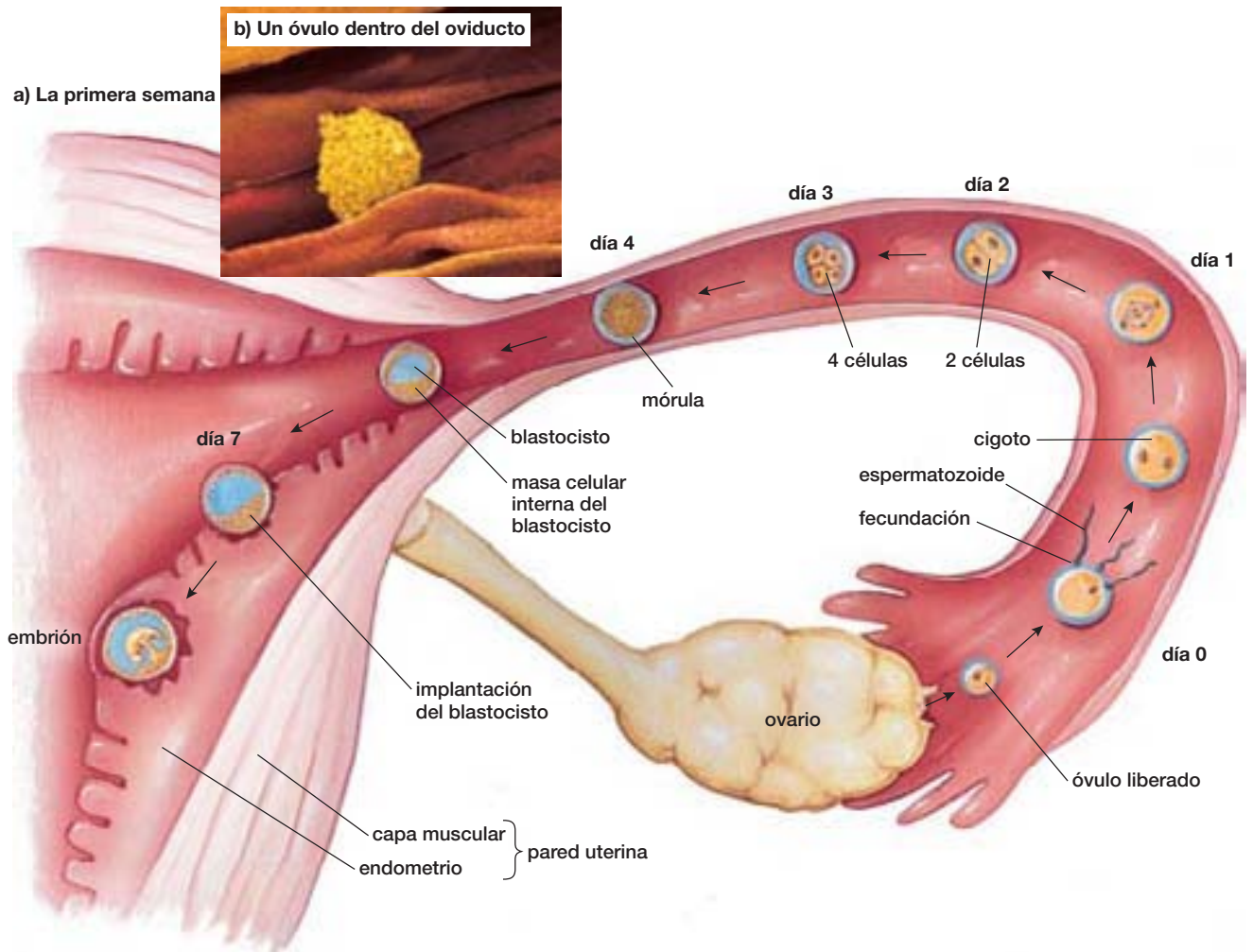


FIGURA 41-9 El recorrido del óvulo

a) El óvulo es fecundado en el tubo del útero (oviducto) y, al dividirse para formar una mórula, viaja hacia el útero; ahí, el blastocisto hueco se implanta en el endometrio y continúa el desarrollo. **b)** Fotografía del óvulo, rodeado de células del folículo de la corona radiada, que viaja dentro del oviducto hacia el útero.

Después de la implantación, la masa interior de células crece y se divide para formar dos bolsas llenas de líquido separadas por una doble capa de células llamada **disco embrionario** (figura 41-10b). Una bolsa, delimitada por el amnios, forma la cavidad amniótica. Con el tiempo, el amnios encerrará al embrión en el ambiente acuoso necesario para el desarrollo. El saco vitelino forma la segunda cavidad, aunque en la mayoría de los mamíferos (los que forman placenta, llamados *mamíferos placentarios*

bución del embrión para la placenta, extiende pequeñas prolongaciones llamadas **vellosidades coriónicas** hacia el endometrio del útero. Los vasos sanguíneos embrionarios invaden las vellosidades coriónicas, llevando la sangre bombeada por el corazón del embrión, el cual comienza a latir aproximadamente en el día 22. A medida que el embrión crece durante la cuarta semana (**FIGURA 41-11**), el endodermo forma un tubo —el intestino embrionario—, que se convertirá en el tracto digestivo. El cordón umbilical se forma a partir del tallo vitelino y el tallo corporal. El *tallo vitelino* conecta el saco vitelino con el intestino embrionario (un “remanente” evolutivo en los mamíferos del papel que desempeña el vitelo en la nutrición de los embriones de peces, aves y reptiles). El embrión está conectado al corion por medio del *tallo corporal* que incluye la alantoides y los vasos sanguíneos embrionarios. Dentro del embrión, el ectodermo forma estructuras que se convertirán en el cerebro y la espina dorsal. Para la cuarta semana, el embrión se pliega hacia el interior dentro de la cavi-

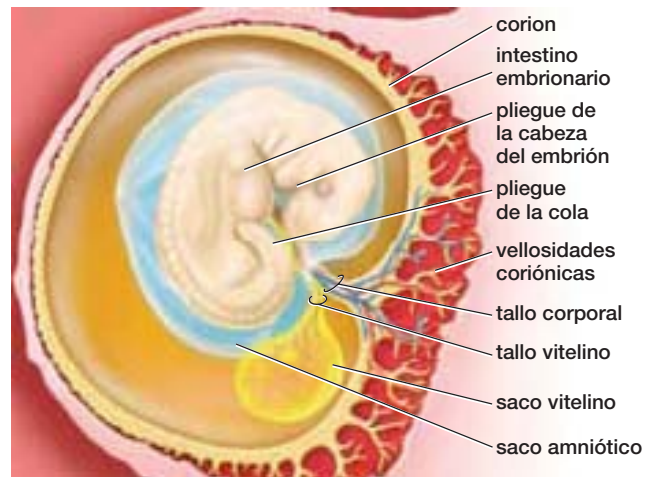
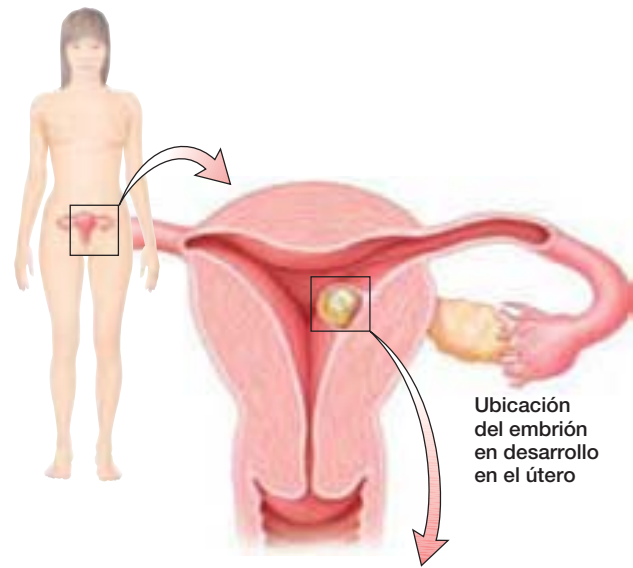
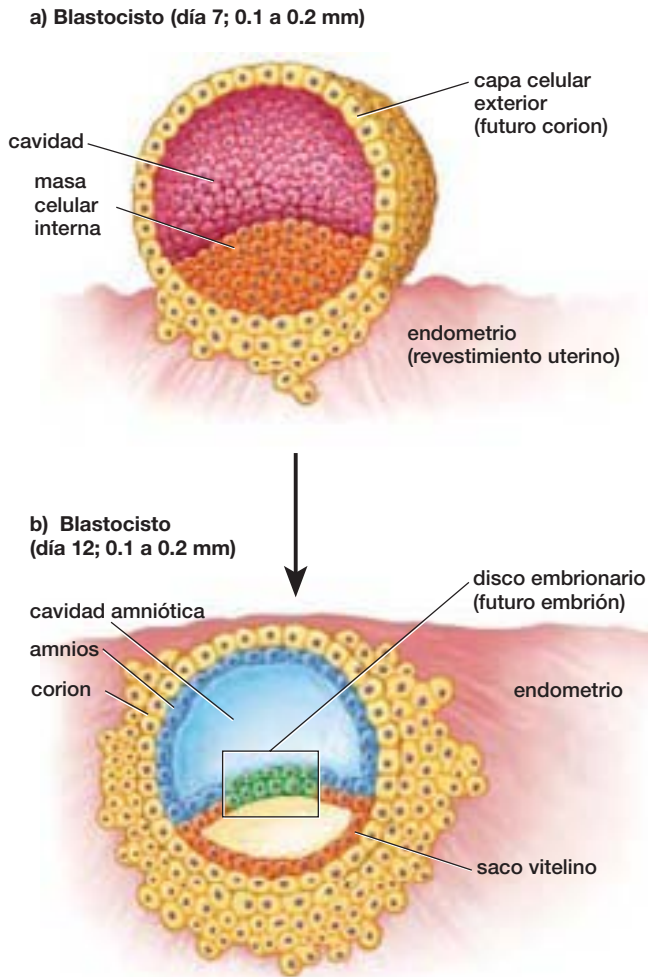


FIGURA 41-10 Un implante de blastocisto

Al meterse en el revestimiento uterino, la capa celular exterior del blastocisto forma el corion, la contribución embrionaria a la placenta. **b)** El blastocisto penetra profundamente en el endometrio. La masa celular interna forma el amnios, el saco vitelino y el disco embrionario (futuro embrión).

FIGURA 41-11 Embrión humano de cuatro semanas

El endodermo forma el intestino embrionario (futuro tracto digestivo), el cual está conectado al saco vitelino por el tallo vitelino. El tallo corporal lleva la sangre embrionaria a las vellosidades coriónicas.

dad uterina, rodeado completamente por el amnios. Está unido a la placenta por el *tallo umbilical* (el futuro cordón umbilical; véase la figura 41-11). Se distingue claramente la cola.

Durante la sexta semana, el embrión muestra con claridad sus características ancestrales de cordado (véase el capítulo 24 para más información sobre los cordados), pues para entonces ha desarrollado un notocordio, una cola prominente y *hendiduras faríngeas* (surcos en la parte posterior de la cabeza, que son equivalentes a las branquias desarrolladas que conservan los peces y algunos anfibios cuando son adultos; **FIGURA 41-12**). Estas estructuras desaparecen en las semanas que siguen. Aunque su longitud es de unos 2.5 centímetros, el embrión ya tiene los principios rudimentarios de ojos y un cerebro que se desarrolla rápidamente.

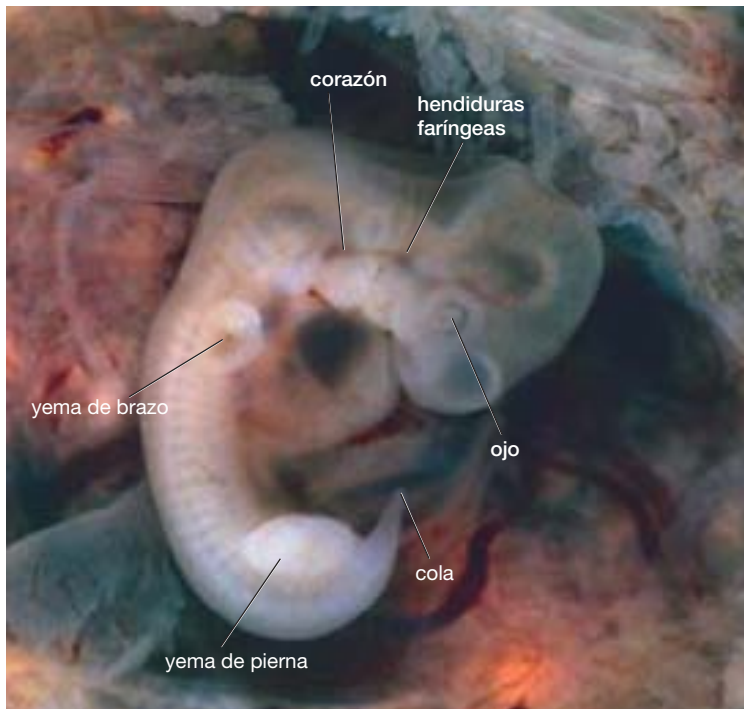
Cuando se acerca el final del segundo mes, se han formado casi todos los órganos principales (**FIGURA 41-13**). Aparecen las gónadas y se desarrollan en testículos u ovarios. Se secretan las hormonas sexuales: los testículos secretan testosterona y los ovarios, estrógeno. Estas hormonas afectarán el futuro

desarrollo de los órganos embrionarios, no solamente los reproductores, sino también ciertas regiones cerebrales. Después del segundo mes de desarrollo, el embrión recibe el nombre de **feto** y va adquiriendo una apariencia humana.

Los primeros dos meses del embarazo son una etapa de rápida diferenciación y crecimiento del embrión, y durante ese periodo existe un peligro considerable. Aunque el embrión es vulnerable durante todo su desarrollo, los órganos que están creciendo con rapidez son los más sensibles a las sustancias tóxicas, como las drogas (incluido el alcohol y la nicotina) y ciertos medicamentos que pudiera consumir la madre.

La placenta secreta hormonas y permite el intercambio de materiales entre la madre y el embrión

Durante la segunda semana del embarazo, el blastocisto se introduce en el revestimiento engrosado del útero y obtiene nutrientes del endometrio (véase la figura 41-10). La capa externa del blastocisto forma el corion, el cual comienza a pe-

**FIGURA 41-12** Embrión humano de seis semanas

Al iniciarse la sexta semana, la cabeza abarca cerca de la mitad del embrión humano. Se forman las yemas de piernas y brazos; se observan claramente la cola y las hendiduras faríngeas.

**FIGURA 41-13** Embrión humano de ocho semanas

El embrión ha adquirido apariencia humana y recibe el nombre de feto.

netrar en el endometrio con las *vellosidades coriónicas* en forma de dedos. Durante la tercera semana, la **placenta** comienza a formarse a partir de esta compleja red de tejidos del embrión y el endometrio del útero. La placenta desempeña dos funciones principales: secreta hormonas y permite el intercambio selectivo de materiales entre la madre y el feto.

Al desarrollarse durante los dos primeros meses del embarazo, la placenta comienza a secretar estrógeno y progesterona. El estrógeno estimula el crecimiento del útero de la madre

y las glándulas mamarias; la progesterona también estimula las glándulas mamarias e inhibe las contracciones prematuras del útero.

La placenta también regula el intercambio de materiales entre la sangre de la madre y la del feto, y no deja que se mezclen una con otra. Las vellosidades coriónicas contienen una densa red de capilares fetales y están bañadas por depósitos de sangre materna (**FIGURA 41-14**). El oxígeno se difunde; los nutrientes pasan por difusión o mediante transporte activo

de la sangre materna a los capilares del feto, para llegar después al feto por medio de la vena umbilical fetal. Las arterias umbilicales transportan el dióxido de carbono y los desechos, como la urea, del feto hacia la madre. El dióxido de carbono se libera de los pulmones de la madre, y la urea del feto se excreta a través de los riñones de la mamá.

Las membranas de los capilares y las vellosidades coriónicas, al permitir el intercambio por difusión, actúan como barreras para algunas proteínas grandes y la mayoría de las células. A pesar de esto, algunos organismos patógenos y muchas sustancias químicas dañinas, como el alcohol y la nicotina, logran penetrar la barrera de la placenta, como se describe en “Guardián de la salud: La placenta sólo brinda una protección parcial”.

El crecimiento y el desarrollo continúan durante los últimos siete meses

El feto continúa creciendo y desarrollándose durante otros siete meses. Aunque el resto del cuerpo trata de “alcanzar” a la cabeza en cuanto a tamaño, el encéfalo continúa desarrollándose rápidamente y la cabeza sigue siendo grande en relación con el resto del cuerpo. Casi todas las células nerviosas que se forman durante la vida humana se desarrollan durante la etapa embrionaria; por eso, el encéfalo en desarrollo es un blanco tan sensible para el alcohol y otras drogas que se consumen durante el embarazo. A medida que crecen la columna vertebral y el cerebro, comienzan a generar tipos específicos de comportamientos. Al iniciarse el tercer mes del embarazo, el feto empieza a moverse y a responder a los estímulos. Aparecen algunos comportamientos instintivos, como el

de succión, que permitirá al bebé alimentarse con la leche materna tan pronto como nazca. Las estructuras que necesitará el feto cuando salga del útero, como pulmones, estómago, intestinos y riñones, aumentan de tamaño y se vuelven funcionales en forma gradual, aunque no se utilizarán sino hasta después del nacimiento. Casi todos los fetos de 32 semanas de edad o más pueden sobrevivir fuera del vientre materno si reciben asistencia médica; las medidas heroicas que se toman a menudo salvan a los infantes que nacen a edad tan temprana como las 26 semanas, pero los fetos más maduros tienen mayores oportunidades de sobrevivir y de tener buena salud.

El desarrollo culmina con el parto y el alumbramiento

Por lo regular, durante los últimos meses del embarazo, el feto se acomoda con la cabeza hacia abajo en el útero, y la coronilla descansa contra el cérvix (que lo sostiene hacia arriba). El proceso del nacimiento por lo general comienza alrededor del término del noveno mes (FIGURA 41-15). El nacimiento es el resultado de una compleja interacción entre el estiramiento del útero causado por el crecimiento del feto y las hormonas fetales y maternas, lo que finalmente inicia el **parto** (contracciones del útero que dan como resultado el **alumbramiento**, es decir, la expulsión del feto por el útero).

A diferencia de los músculos esqueléticos, los músculos uterinos pueden contraerse de manera espontánea, y el estiramiento intensifica esa tendencia. A medida que el bebé crece, estira los músculos uterinos, los que ocasionalmente se contraen semanas antes del alumbramiento. Se desconocen los estímulos exactos que desencadenan el alumbramiento humano. El feto que cumple con su término completo sin du-

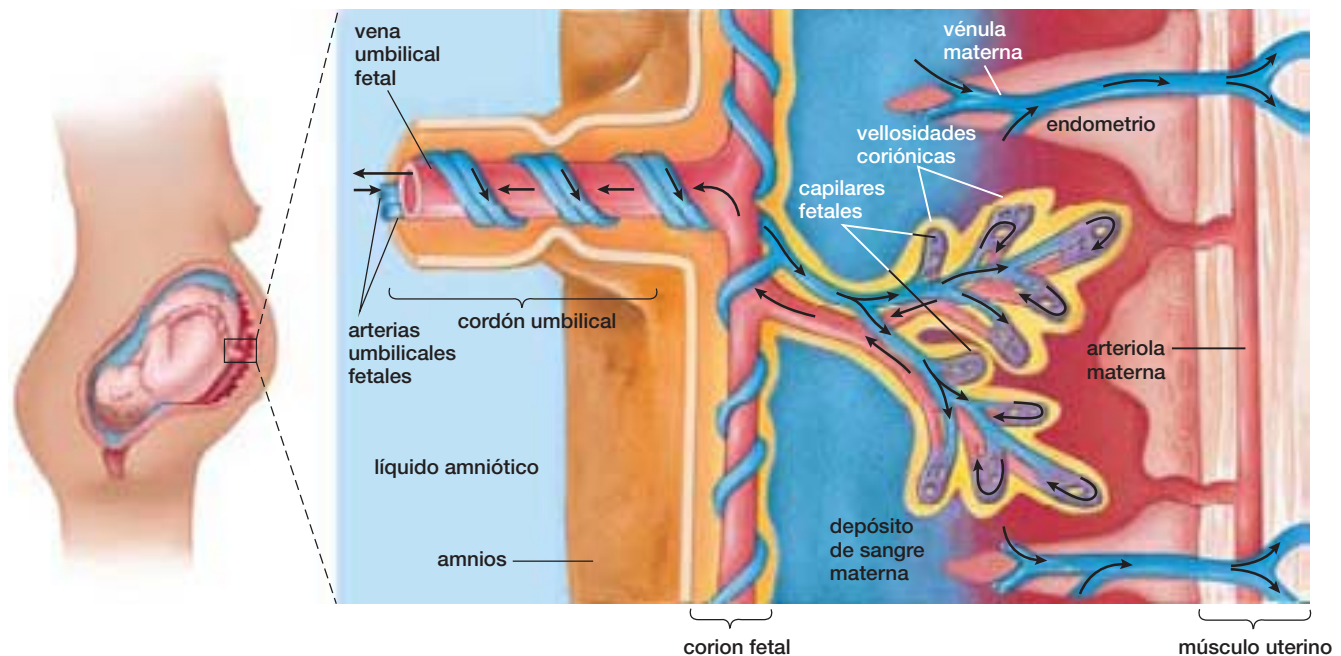


FIGURA 41-14 La placenta

La placenta se forma a partir tanto del corion del embrión como del endometrio de la madre. Los capilares del endometrio se rompen y liberan sangre para formar depósitos dentro de la placenta. Las vellosidades coriónicas que contienen los capilares embrionarios se prolongan hacia dentro de estos depósitos. La placenta permite el intercambio de desechos y nutrientes entre los capilares fetales y los depósitos de sangre materna, al tiempo que mantiene separados los suministros de sangre fetal y materna. Las arterias umbilicales conducen la sangre desoxigenada del feto hacia la placenta, y la vena umbilical lleva de regreso la sangre oxigenada hacia el feto. **PRE-GUNTA:** Unos cuantos tipos de mamíferos carecen de placenta. ¿Cuál sería tu predicción acerca de la naturaleza del desarrollo en los mamíferos que no tienen placenta?



FIGURA 41-15 El parto

da desempeña un papel importante en la secreción de sustancias que indican que ya está listo para nacer. Esas sustancias desencadenan una cascada de sucesos que hacen que el útero tenga aún más probabilidad de contraerse. Cuando la combinación de hormonas y estiramiento activa al útero más allá de cierto punto crítico, comienzan las contracciones fuertes que indican el inicio del trabajo de parto. A medida que siguen las contracciones, la cabeza del bebé empuja contra el cérvix de la madre, lo que causa que su diámetro se expanda (se dilate). Los receptores de dilatación de las paredes del cérvix envían señales al hipotálamo y provocan la liberación de oxitocina. Bajo el doble estímulo de la prostaglandina y la oxitocina, el útero se contrae todavía con mayor fuerza. Este ciclo de retroalimentación positiva finalmente cesa cuando el bebé sale de la vagina, o *canal de parto*.

La cabeza del infante es tan grande que apenas puede pasar por la pelvis de la madre. El cráneo se comprime hasta adquirir una forma ligeramente cónica a medida que pasa a través de la vagina. No sabemos si el alumbramiento resulta doloroso para el bebé, pero sin duda lo es para la madre (véase “Enlaces con la vida: ¿Por qué el parto es tan difícil?”). Al infante le espera un despertar rudo. La matriz es suave, tibia y acolchonada con líquido. De repente, el bebé tiene que respirar por sí solo, regular su temperatura corporal y succionar para obtener alimento.

Luego de un breve descanso después del parto, el útero reanuda sus contracciones y se encoge considerablemente. Durante estas contracciones la placenta se desprende de la pared uterina y es expelida a través de la vagina (lo que se conoce como *secundinas*). El cordón umbilical ahora libera prostaglandinas que provocan la contracción de los músculos que rodean los vasos sanguíneos fetales para detener el flujo de sangre. Aunque ligar el cordón umbilical es una práctica común, en realidad no es necesaria; si lo fuera, otros mamíferos no sobrevivirían después de nacer.

Las hormonas del embarazo estimulan la secreción de leche

rimenta la madre en las glándulas mamarias la preparan para que continúe alimentando al bebé después de nacido. Cuando ocurre el embarazo, grandes cantidades de estrógeno y de progesterona (las cuales actúan junto con otras hormonas) estimulan a las **glándulas mamarias** —que producen leche materna— y hacen que las mamas aumenten de volumen y desarrollen la capacidad para secretar la leche necesaria para alimentar al infante. Las glándulas mamarias están dispuestas en círculos alrededor del pezón, y cada glándula cuenta con un conducto lactífero que termina en el *pezón*, el cual es una proyección del tejido epitelial (FIGURA 41-16). La secreción real de leche, llamada **lactancia**, se activa por medio de la hormona hipofisiaria llamada *prolactina*.

El nivel de prolactina se eleva de manera uniforme desde aproximadamente la quinta semana de embarazo y llega a su

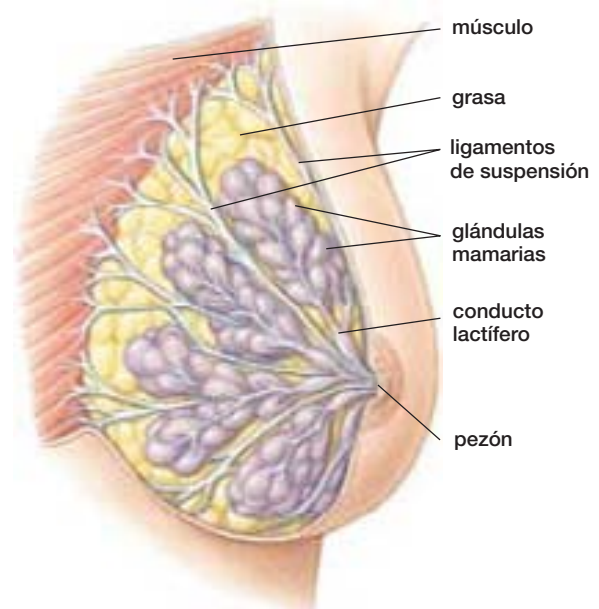


FIGURA 41-16 Estructura de las glándulas mamarias. Durante el embarazo, el tejido adiposo, las glándulas que secretan leche y los conductos lactíferos aumentan de tamaño.

6. ¿De qué partes se compone una semilla y cómo contribuye cada una al desarrollo de una plántula?
7. Describe las características que esperarías encontrar en flores polinizadas por el viento, escarabajos, abejas y colibríes, respectivamente. En cada caso, explica por qué se desarrollarían tales rasgos.
8. ¿Qué es el endospermo? ¿De qué célula del gameto femenino se deriva? ¿El endospermo es más abundante en la semilla madura de una monocotiledónea o de una dicotiledónea?
9. Describe tres mecanismos por los que se interrumpe el estado de latencia en diferentes tipos de semillas. ¿Qué relación tienen esos mecanismos con el ambiente normal de la planta?
10. ¿Cómo protegen las plántulas de las monocotiledóneas y las dicotiledóneas la delicada punta del vástago durante la germinación de la semilla?
11. Describe tres tipos de frutos y los mecanismos con que ayudan a dispersar sus semillas.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Un amigo te regala unas semillas para sembrarlas en el patio. Las siembras, pero nada sucede. ¿Qué podrías intentar para que germinen las semillas?
2. Charles Darwin describió en cierta ocasión una flor que producía néctar en el fondo de un tubo de 43 centímetros de profundidad y predijo que debía haber una polilla u otro animal con una lengua de 43 cm de longitud. Tenía razón. Tal especialización casi con toda seguridad implica que esta flor en particular sólo podía ser polinizada por esa polilla. ¿Qué ventajas y desventajas tiene semejante especialización?
3. Muchas plantas que llamamos yerbas fueron traídas de otro continente de forma accidental o deliberada. En un entorno nuevo, tie-

nen pocos competidores o depredadores animales, por lo que tienden a reproducirse en tales cantidades que desplazan a las plantas nativas. Piensa en varias formas en que los seres humanos podrían participar en la dispersión de las plantas. ¿Hasta qué grado crees que los seres humanos hayan alterado las distribuciones de las plantas? ¿En qué formas ha sido útil este cambio para el hombre? ¿En qué formas es una desventaja?

4. En los trópicos hay varias relaciones de coevolución entre planta y animal en las que ambos dependen de la relación para sobrevivir. En virtud de la rapidez con que se destruyen los ecosistemas tropicales, ¿cómo propicia este tipo de relaciones que ambos organismos sean especialmente vulnerables a la extinción?

PARA MAYOR INFORMACIÓN

Brown, Kathryn. "Patience Yields Secrets of Seed Longevity". *Science*, 9 de marzo de 2001. El estudio de la germinación de las plantas que realizó William Beal continúa 120 años después.

Eiseley, L. "How Flowers Changed the World". *National Wildlife*, abril-mayo de 1996. El filósofo y naturalista Loren Eiseley explica con gran elocuencia cómo la evolución de las flores ha cambiado la historia de la vida en la Tierra. Un documento bellamente escrito e ilustrado.

Milius, S. "The Science of Big, Weird Flowers". *Science News*, 11 de septiembre de 1999. Muchas flores gigantes expiden un olor a carroña y engañan a las moscas y los escarabajos para que las polinicen.

Milius, S. "Warm-Blooded Plants". *Science News*, 13 de diciembre de 2003. Algunas plantas se calientan para atraer y, en ocasiones, beneficiar a los polinizadores.

Milius, S. "Moss Express: Insects and Mites Tote Mosses' Sperm". *Science News*, 2 de septiembre de 2006. Recientes investigaciones sugieren que algunos musgos no dependen por completo del agua para transferir los espermatozoides, sino que quizá dependan también de diminutos artrópodos.

Mlot, C. "Where There's Smoke, There's Germination". *Science News*, 31 de mayo de 1997. Investigadores descubrieron que el dióxido de nitrógeno, como el que se libera en el humo, es un fuerte estímulo para la germinación de las semillas en algunas especies.

Moore, P. D. "The Buzz About Pollination". *Nature*, 7 de noviembre de 1996. El zumbido de las abejas podría contribuir a liberar el polen de ciertas flores especialmente adaptadas para ello, en una especie de "polinización sónica".

Pichersky, E. "Plant Scents". *American Scientist*, noviembre-diciembre de 2004. Los aromas de las flores no sólo podrían atraer a los polinizadores, sino también disuadir a los depredadores y organismos patógenos de atacarlas.

Seymour, R. S. y Schultz-Motel, P. "Thermoregulating Lotus Flowers". *Nature*, 26 de septiembre de 1996. La flor de loto genera una cantidad significativa de calor y regula su propia temperatura de manera eficiente. El calor podría servir para atraer a los polinizadores.

APÉNDICE I

Conversiones del sistema métrico

Para convertir unidades métricas:

Multiplica por:

Para obtener el equivalente en el sistema inglés:

	Longitud	
centímetros (cm)	0.3937	pulgadas (in)
metros (m)	3.2808	pies (ft)
metros (m)	1.0936	yardas (yd)
kilómetros (km)	0.6214	millas (mi)
Área		
centímetros cuadrados (cm ²)	0.155	pulgadas cuadradas (in ²)
metros cuadrados (m ²)	30.7639	pies cuadrados (ft ²)
metros cuadrados (m ²)	1.1960	yardas cuadradas (yd ²)
kilómetros cuadrados (km ²)	0.3831	millas cuadradas (mi ²)
hectáreas (ha) (10,000 m ²)	2.4710	acres (a)
Volumen		
centímetros cúbicos (cm ³)	0.06	pulgadas cúbicas (in ³)
metros cúbicos (m ³)	35.30	pies cúbicos (ft ³)
metros cúbicos (m ³)	1.3079	yardas cúbicas (yd ³)
kilómetros cúbicos (km ³)	0.24	millas cúbicas (mi ³)
litros (L)	1.0567	cuartos de galón (qt), EUA
litros (L)	0.26	galones (gal), EUA
Masa		
gramos (g)	0.03527	onzas (oz)
kilogramos (kg)	2.2046	libras (lb)
toneladas métricas (t)	1.10	toneladas (tn), EUA
Rapidez		
metros/segundo (m/s)	2.24	millas/hora (m/h)
kilómetros/horas (km/h)	0.62	millas/hora (m/h)

Para convertir unidades inglesas:

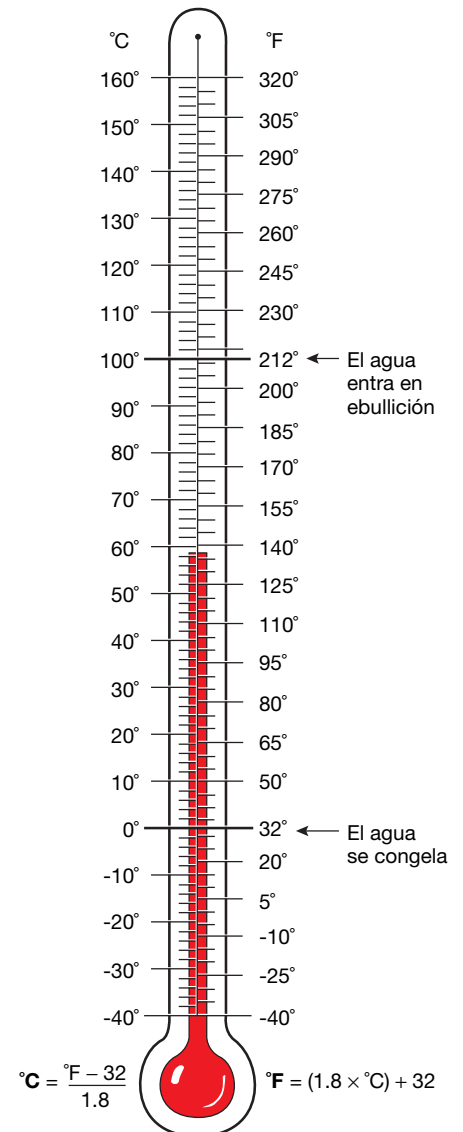
Multiplica por:

Para obtener el equivalente en el sistema métrico:

	Longitud	
pulgadas (in)	2.54	centímetros (cm)
pies (ft)	0.3048	metros (m)
yardas (yd)	0.9144	metros (m)
millas (mi)	1.6094	kilómetros (km)
Área		
pulgadas cuadradas (in ²)	6.45	centímetros cuadrados (cm ²)
pies cuadrados (ft ²)	0.0929	metros cuadrados (m ²)
yardas cuadradas (yd ²)	0.8361	metros cuadrados (m ²)
millas cuadradas (mi ²)	2.5900	kilómetros cuadrados (km ²)
acres (a)	0.4047	hectáreas (ha) (10,000 m ²)
Volumen		
pulgadas cúbicas (in ³)	16.39	centímetros cúbicos (cm ³)
pies cúbicos (ft ³)	0.028	metros cúbicos (m ³)
yardas cúbicas (yd ³)	0.765	metros cúbicos (m ³)
millas cúbicas (mi ³)	4.17	kilómetros cúbicos (km ³)
cuartos de galón (qt), EUA	0.9463	litros (L)
galones (gal), EUA	3.8	litros (L)
Masa		
onzas (oz)	28.3495	gramos (g)
libras (lb)	0.4536	kilogramos (kg)
toneladas (tn), EUA	0.91	toneladas métricas (t)
Rapidez		
millas/hora (mi/h)	0.448	metros/segundo (m/s)
millas/hora (mi/h)	1.6094	kilómetros/hora (km/h)

Prefijos métricos

Prefijo		Significado
giga-	G	10 ⁹ = 1,000,000,000
mega-	M	10 ⁶ = 1,000,000
kilo-	k	10 ³ = 1000
hecto-	h	10 ² = 100
deca-	da	10 ¹ = 10
		10 ⁰ = 1
deci-	d	10 ⁻¹ = 0.1
centi-	c	10 ⁻² = 0.01
mili-	m	10 ⁻³ = 0.001
micro-	μ	10 ⁻⁶ = 0.000001



APÉNDICE II

Clasificación de los principales grupos de organismos*

Dominio	Reino	Filum	Nombre común
Bacteria (procariotas, peptidoglicano en la pared celular)			bacterias
Archaea (procariotas, sin peptidoglicano en la pared celular)			arqueas
Eukarya (eucariotas)		Rhodophyta Chlorophyta euglenidos foraminíferos	algas rojas algas verdes euglenids forams
	Excavata	parabasálidos diplomónadas	excavados parabasalids diplomonads
	Amoebozoa	Gymnamoebae Acrasiomycota	amebozoos amibas lobosas mohos deslizantes celulares
	Alveolata	Apicomplexa Pyrrophyta Ciliophora	alveolados esporozoos dinoflagelados ciliados
	Stramenopila	Oomycota Phaeophyta Bacillariophyta	estramenópilos mohos acuáticos algas pardas diatomeas
	Plantae (multicelulares, fotosintetizadores)	Bryophyta Pteridophyta Coniferophyta Anthophyta	plantas musgos helechos plantas perennifolias plantas con flor
	Fungi (multicelulares, heterótrofos, absorben nutrimentos)	Chytridiomycota Zygomycota Ascomycota Basidiomycota	hongos quitridos zigomicetos hongos de saco hongos de clava
	Animalia (multicelulares, heterótrofos, ingieren nutrimentos)	Porifera Cnidaria Ctenophora Platyhelminthes Nematoda Annelida Oligochaeta Polychaeta Hirudinea Arthropoda Insecta Arachnida Myriapoda Crustacea Mollusca Gastropoda Pelecypoda Cephalopoda Echinodermata Chordata Urochordata Cephalochordata Myxini Vertebrata Pertromyzoantiformes Chondrichthyes Actinopterygii Actinistia Dipnoi Amphibia Reptilia Mammalia	animales esponjas hidras, anémonas de mar, medusas y corales ctenóforos gusanos planos gusanos cilíndricos gusanos segmentados lombrices de tierra gusanos tubulares sanguijuelas artrópodos (“patas articuladas”) insectos arañas, garrapatas milpiés y ciempiés cangrejos, langostas moluscos (“de cuerpo blando”) caracoles mejillones, almejas calamares, pulpos estrellas de mar, erizos y pepinos de mar cordados tunicados pez espada mixinos vertebrados lampreas tiburones, rayas peces óseos celacantos peces pulmonados ranas, salamandras tortugas, serpientes, lagartos, cocodrilos y aves mamíferos

* Esta tabla muestra sólo las categorías taxonómicas que se describen en el texto.

APÉNDICE III

Vocabulario de biología: raíces, prefijos y sufijos de uso común

La biología contiene un extenso vocabulario, a menudo derivado de los idiomas griego y latín. Por eso, en vez de tener que memorizar cada palabra como si fuera parte de un nuevo idioma, es más recomendable descubrir el significado de los nuevos términos a partir de las raíces, los prefijos y los sufijos de uso común en biología. A continuación incluimos los significados más comunes empleados en biología dejando a un lado las traducciones literales del griego o el latín. Para cada vocablo que aparece en la lista se da la siguiente información: significado, función de la palabra (si es raíz, prefijo o sufijo) y un ejemplo de su uso en biología.

a-, **an-**, **e-**: sin, carencia de (prefijo); *abiótico*, sin vida.
acro-: cima, lo más alto (prefijo); *acrosoma*, vesícula de enzimas en la punta de un espermatozoide.
ad-: a (prefijo); *adhesión*, propiedad de adherirse a algo.
alo-: otro (prefijo); *alopátrico* (literalmente, “patria diferente”), restringido a regiones diferentes.
anfi-: ambos, doble, dos (prefijo); *anfíbio*, clase de vertebrados que generalmente tienen dos etapas vitales (acuática y terrestre; por ejemplo, un renacuajo y una rana adulta.)
andro-: hombre, masculino (raíz); *andrógeno*, una hormona masculina como la testosterona.
antero-: al frente (prefijo o raíz); *anterior*, hacia el frente de.
anti-: contra (prefijo); *antibiótico* (literalmente “contra la vida”), una sustancia que mata las bacterias.
apic-: cima, lo más alto (prefijo); *meristemo apical*, conglomerado de células en división en la punta del vástago o la raíz de una planta.
artro-: articulación (prefijo); *artrópodo*, animales como las arañas, cangrejos e insectos, con exoesqueletos que incluyen patas articuladas.
-asa: enzima (sufijo); *proteasa*, enzima que digiere proteínas.
auto-: mismo (prefijo); *autotrófico*, que se alimenta a sí mismo (por ejemplo, los organismos fotosintéticos).
bi-: dos (prefijo); *bípodo*, que tiene dos pies.
bio-: vida (raíz); *biología*, el estudio de la vida.
blast: yema, precursor (raíz); *blástula*, etapa embrionaria del desarrollo, esfera hueca de células.
bronco-: tráquea (raíz); *bronquio*, ramificación de la tráquea que va al pulmón.
carcin, -o: cáncer (raíz); *carcinogénesis*, el proceso de desarrollar cáncer.
cardio: corazón (raíz); *cardíaco*, referente al corazón.
carni-: carne (prefijo o raíz); *carnívoro*, animal que se alimenta de otros animales.
centi-: un centésimo (prefijo); *centímetro*, unidad de longitud equivalente a la centésima parte de un metro.
cefalo-: cabeza (prefijo o raíz); *cefalización*, tendencia a localizar el sistema nervioso principalmente en la cabeza.
-cida: exterminador (sufijo); *pesticida*, sustancia química que aniquila a las “pestes” (por lo general, insectos).
cloro-: verde (prefijo o raíz); *clorofila*, en las plantas, el pigmento verde que absorbe la luz.
condro-: cartílago (prefijo); clase *Chondrichthyes* de vertebrados, incluidos los tiburones y las mantas, con esqueleto formado de cartílago.
romo-: (prefijo o raíz); *cromosoma*, estructura filamentosa de DNA y proteína en el núcleo de una célula (*cromosoma*, literalmente significa “cuerpo coloreado,” porque los cromosomas absorben algo de los tintes empleados comúnmente en la microscopía).
-clasto: romper, disolver (raíz o sufijo); *osteoclasto*, célula que disuelve el hueso.
co-: con o junto con (prefijo); *cohesión*, propiedad de reunirse o adherirse.
celo-: cavidad (prefijo o raíz); *celoma*, la cavidad corporal que separa los órganos internos de la pared corporal.
contra-: contra (prefijo); *contracepción*, acto que evita la concepción (o embarazo).
corteza (córTEX): tronco, capa exterior (raíz); *corteza*, capa externa del riñón.
cráneo-: cabeza (prefijo o raíz); *craneocerebral*, perteneciente al cráneo y el cerebro.

cuad-, **cuatri-**: cuatro (prefijo); *estructura cuaternaria*, el “cuarto nivel” de la estructura proteínica en la cual las múltiples cadenas peptídicas forman una estructura tridimensional compleja.
cuti-: piel (raíz); *cutícula*, cubierta exterior de una hoja.
cito-: célula (raíz o prefijo); *citocinina*, hormona vegetal que promueve la división celular.
des-: desde, remover (prefijo); *descomponedor*, organismo que desdobra (o descompone) la materia orgánica.
dendron-: en forma de árbol, ramificado (raíz); *dendritas*, estructuras que se ramifican a partir de las células nerviosas.
derma: piel, capa (raíz); *ectodermo*, la capa celular más externa del embrión.
deutero-: segundo (prefijo); *deuterostoma* (literalmente, “segunda abertura”), animal en el cual el celoma se deriva del intestino.
di-: dos (prefijo); *dicotiledónea*, angiosperma con dos cotiledones en la semilla.
diplo-: ambos, doble, dos (prefijo o raíz); *diploide*, que tiene pares de cromosomas homólogos.
dis-: difícil, doloroso (prefijo); *disfunción*, incapacidad para funcionar adecuadamente.
ecto-: afuera (prefijo); *ectodermo*, la capa más externa del embrión de los animales.
-elo: pequeño, chico (sufijo); *organelo* (literalmente, “órgano pequeño”), estructura subcelular que lleva a cabo una función específica.
endo-: dentro, interior (prefijo); *endocrino*, perteneciente a una glándula que secreta hormonas dentro del organismo.
epi-: fuera, exterior (prefijo); *epidermis*, la capa más externa de la piel.
equi-: igual (prefijo); *equidistante*, la misma distancia.
eritro-: rojo (prefijo); *eritrocito*, glóbulo rojo.
escler-, esclero-: duro, resistente (prefijo); *esclerénquima*, tipo de célula vegetal con una pared celular gruesa y dura.
esperma-, espermato-: semilla (raíz, por lo general); *gimnosperma*, tipo de planta que produce una semilla que no está encerrada en un fruto.
estasis- esta-: estacionario, fijo (sufijo o prefijo); *homeóstasis*, proceso fisiológico por medio del cual se mantienen constantes las condiciones internas a pesar de los cambios ambientales externos.
estoma: boca, orificio (prefijo o raíz); *estoma*, el poro ajustable en la superficie de una hoja que permite la entrada del dióxido de carbono.
eu-: verdadero, bueno (prefijo); *eucariótico*, perteneciente a una célula con núcleo verdadero.
ex- (o exo-): fuera de (prefijo); *exocrino*, perteneciente a una glándula que secreta una sustancia (por ejemplo, sudor) hacia el exterior del organismo.
extra-: fuera de (prefijo); *extracelular*, fuera de la célula.
fago-: comer (prefijo o raíz); *fagocito*, célula que come otras células (por ejemplo, algunos tipos de glóbulos rojos).
-fer: contener, llevar (sufijo); *conífera*, árbol que contiene conos.
filo-: amar (prefijo o sufijo); *hidrófilo* (literalmente, “amante del agua”), perteneciente a una molécula soluble en agua.
filo: hoja (raíz o sufijo); *clorofila*, pigmento verde que absorbe la luz en una hoja.
fito-: planta (raíz o sufijo); *gametofito* (literalmente, “planta gameto”), etapa en el ciclo vital de una planta en la que se producen gametos.
fobo-, -fobo: temer (prefijo o sufijo); *hidrófobo* (literalmente, “temor al agua”), perteneciente a una molécula insoluble en agua.
gastro-: estómago (prefijo o raíz); *gástrico*, perteneciente al estómago.
gen: producir (prefijo, sufijo o raíz); *antígeno*, sustancia que causa que el organismo produzca anticuerpos.
gine-: femenino (prefijo o raíz); *ginecología*, el estudio del tracto reproductor femenino.
haplo-: solo, individual (prefijo); *haploide*, que posee una sola copia de cada tipo de cromosoma.
hemo- (o hemato-): sangre (prefijo o raíz); *hemoglobina*, molécula de los glóbulos rojos que contiene oxígeno.
hemi-: mitad (prefijo); *hemisferio*, una de las mitades del cerebro.

hetero-: otro (prefijo); *heterotrófico*, organismo que se alimenta de otros organismos.

hom-, **homo-**, **homeo-**: lo mismo (prefijo); *homeostasis*, mecanismo que permite mantener constantes las condiciones internas de un organismo ante las condiciones externas cambiantes.

hidro-: agua (generalmente prefijo); *hidrofílico*, que es atraído por el agua.

hiper-: sobre, mayor que (prefijo); *hiperosmótico*, que tiene mayor fuerza osmótica (por lo general con una mayor concentración de soluto).

hipo-: debajo, menor que (prefijo); *hipodermis*, debajo de la piel.

inter-: entre (prefijo); *interneurona*, neurona que recibe información de una (o más) neuronas y la envía a otra neurona (o a muchas más).

intra-: dentro (prefijo); *intracelular*, se refiere a un suceso o sustancia dentro de la célula.

iso-: igual (prefijo); *isotónico*

itis: inflamación (sufijo); *hepatitis*, inflamación (o infección) del hígado.

leuco-: blanco (prefijo); *leucocito*, glóbulo blanco.

lipo-: grasa (prefijo o raíz); *lipido*

logos: estudio de (sufijo); *biología*

lisis: aflojar, separar (raíz o sufijo); *hidrólisis*, descomposición del agua.

macro-: grande (prefijo); *macrófago*, glóbulo blanco grande que destruye las células invasoras extrañas.

médula: médula, sustancia intermedia (raíz); *médula renal*, capa interior del riñón.

mero: segmento, sección corporal (sufijo); *sarcómero*, unidad funcional de una célula muscular del esqueleto de un vertebrado.

meso-: mitad (prefijo); *mesófilo*, capas intermedias de células en una hoja.

meta-: cambio, después de (prefijo); *metamorfosis*, cambio en la forma de un cuerpo (por ejemplo, de larva a una forma adulta).

micro-: pequeño (prefijo); *microscopio*, aparato que permite observar objetos diminutos.

mili-: un milésimo (prefijo); *milímetro*, unidad de medida de longitud equivalente a la milésima parte de un metro.

mito-: filamento (prefijo); *mitosis*, división celular (en la cual los cromosomas parecen cuerpos filamentosos).

mono-: uno, único (prefijo); *monocotiledónea*, tipo de angiosperma con un solo cotiledón en la semilla.

morfo-: forma, configuración (prefijo o raíz); *polimorfo*, que tiene múltiples formas.

multi-: muchos (prefijo); *multicelular*, perteneciente a un cuerpo compuesto por más de una célula.

mio-: músculo (prefijo); *miofibrilla*, filamento de proteína en las células musculares.

neo-: nuevo (prefijo); *neonatal*, aquello que se relaciona con un recién nacido.

nefro-: riñón (prefijo o raíz); *nefrona*, unidad funcional del riñón de mamífero.

neumo-: pulmón (raíz); *neumonía*, enfermedad del pulmón.

neuro-: nervio (prefijo o raíz); *neurona*, célula nerviosa.

oligo-: pocos (prefijo); *oligómero*, molécula formada de pocas subunidades (véase también *poli*).

omni-: todo (prefijo); *omnívoros*, animal que come tanto plantas como animales.

oo-, **ov-**, **ovo-**: huevo (prefijo); *ovocito*, una de las etapas del desarrollo de un huevo.

ops-: vista, visión (prefijo o raíz); *opsina*, parte proteínica del pigmento que absorbe la luz en el ojo.

opso-: alimento sabroso (prefijo o raíz); *opsonización*,

osis: condición o enfermedad (sufijo); *aterosclerosis*, enfermedad en la cual las paredes arteriales se engruesan y se endurecen.

oste-: hueso (prefijo o raíz); *osteoporosis*, enfermedad en la cual los huesos se vuelven esponjosos y frágiles.

pater-: padre (generalmente raíz); *paternal*, relacionado con el padre.

pato-: enfermedad (prefijo o raíz); *patología*, el estudio de la enfermedad y del tejido enfermo.

-patía: enfermedad (sufijo); *neuropatía*, enfermedad del sistema nervioso.

peri-: alrededor (prefijo); *periciclo*, la capa de células más externa del cilindro vascular de la raíz de una planta.

-plasma: sustancia formada (raíz o sufijo); *citoplasma*, material que está en el interior de la célula.

ploide: cromosomas (raíz); *diploide*, que tiene cromosomas apareados.

-pod: pie (raíz o sufijo); *gastropodo* (literalmente, “pie-estómago”), una clase de moluscos, principalmente caracoles, que reptan sobre su superficie ventral.

poli-: muchos (prefijo); *polisacárido*, un polímero carbohidrato compuesto de muchas subunidades de azúcares.

post-, **postero-**: detrás de (prefijo); *posterior*, perteneciente a la parte trasera.

pre-, **pro-**: antes, al frente de (prefijo); *mecanismo de aislamiento del pre-apareamiento*, mecanismo que evita el flujo de genes entre las especies e impide el apareamiento (por ejemplo, tener rituales o temporadas de apareamiento diferentes).

prim-: primero (prefijo); *pared celular primaria*, la primera pared celular formada entre las células de la planta durante la división celular.

pro-: antes (prefijo); *procariótica*, perteneciente a una célula sin núcleo (que evolucionó antes del desarrollo del núcleo).

proto-: primero (prefijo); *protocélula*, ancestro evolutivo hipotético de la célula primitiva.

pseudo-, **seudo-**: falso (prefijo); *pseudópodo* o *seudópodo* (literalmente, “falso pie”), extensión de la membrana plasmática por medio de la cual algunas células, como la ameba, se mueven y capturan la presa.

ren-: riñón (raíz); *adrenal*, glándula adherida al riñón en los mamíferos.

retro-: hacia atrás (prefijo); *retrovirus*, virus que usa el RNA como su material genético; este RNA debe copiarse “hacia atrás” del DNA durante la infección de una célula por el virus.

sarco-: músculo (prefijo); *retículo sarcoplásmico*, retículo endoplásmico modificado que almacena calcio y que se encuentra en las células musculares.

semi-: mitad (prefijo); *duplicación semiconservadora*, mecanismo de duplicación del DNA, por el cual una cadena de la doble hélice del DNA original se llega a incorporar en la nueva doble hélice del DNA.

-soma-, **somato-**: cuerpo (prefijo o sufijo); *sistema nervioso somático*, parte del sistema nervioso periférico que controla los músculos esqueléticos que mueven al cuerpo.

sub-: abajo, debajo de (prefijo); *subcutáneo*, debajo de la piel.

sim-: igual, el mismo (prefijo); *simpátrico* (literalmente, “el mismo padre”), que se encuentra en la misma región.

testis: testigo (raíz); *testículos*, órgano reproductor masculino (palabra derivada de la costumbre en la antigua Roma de que solamente los hombres podían ser testigos (*testis*) ante la ley; *testimonio* tiene la misma raíz).

termo-: calor (prefijo o raíz); *termorregulación*, proceso por el cual se regula la temperatura corporal.

trans-: a través (prefijo); *transgénico*, que tiene genes de otro organismo (generalmente de otra especie); los genes se movieron “a través” de especies.

tri-: tres (prefijo); *triploide*, que tiene tres copias de cada cromosoma homólogo.

trofo: alimento, nutriente (raíz); *autótrofo*, que se alimenta a sí mismo (por ejemplo, los organismos fotosintéticos).

-tropo: cambio, giro (sufijo); *fototropismo*, proceso por el cual las plantas se orientan hacia la luz.

ultra-: más allá (prefijo); *ultravioleta*, luz con longitudes de onda más allá del violeta.

uni-: uno (prefijo); *unicelular*, organismo compuesto de una sola célula.

vita: vida (raíz); *vitamina*, molécula indispensable en la dieta para preservar la vida.

-voro: comer (raíz, por lo general); *herbívoro*, animal que se alimenta de plantas.

zoo-: animal (raíz, por lo general); *zoología*, el estudio de los animales.

Glosario

abdomen: segmento corporal del extremo posterior de un animal segmentado; contiene la mayoría de las estructuras digestivas.

abiótico: no viviente; la porción abiótica de un ecosistema que comprende el suelo, las rocas, el agua y la atmósfera.

aborto: procedimiento para interrumpir un embarazo; se dilata el cuello uterino y se extrae el embrión y la placenta.

absorción: proceso mediante el cual se incorporan nutrientes a la célula.

accidente cerebrovascular: interrupción del flujo de sangre a una parte del cerebro causada por la ruptura de una arteria o la obstrucción de una arteria por un coágulo sanguíneo. La pérdida del suministro de sangre causa en poco tiempo la muerte del área afectada del cerebro.

aceite: lípido compuesto por tres ácidos grasos, algunos de los cuales son insaturados, unidos por enlaces covalentes a una molécula de glicerina; es líquido a temperatura ambiente.

acetilcolina: neurotransmisor localizado en el cerebro y de las sinapsis de las neuronas motrices que inervan el músculo esquelético.

ácido (adjetivo): que tiene una concentración de H^+ mayor que la de OH^- ; que libera H^+ .

ácido (sustantivo): sustancia que libera iones hidrógeno (H^+) en una solución; solución cuyo pH es menor de 7.

ácido abscisico: hormona vegetal que inhibe en general la acción de otras hormonas; induce letargo en semillas y brotes y hace que los estomas se cierren.

ácido desoxirribonucleico (DNA): molécula compuesta de nucleótidos de desoxirribosa; contiene la información genética de todas las células vivas.

ácido graso: molécula orgánica que se compone de una cadena larga de átomos de carbono con un grupo carboxílico ($COOH$) en un extremo; puede ser saturado (cuando sólo tiene enlaces sencillos entre los átomos de carbono) o insaturado (cuando hay uno o más dobles enlaces entre los átomos de carbono).

ácido graso esencial: ácido graso que es un nutriente indispensable; el organismo es incapaz de elaborar los ácidos grasos esenciales, por lo que es necesario suministrarlos en la dieta.

ácido nucleico: molécula orgánica compuesta por unidades de nucleótidos; los dos tipos comunes de ácidos nucleicos son el ácido ribonucleico (RNA) y el ácido desoxirribonucleico (DNA).

ácido ribonucleico (RNA): molécula formada por nucleótidos de ribosa, cada uno de los cuales consiste en un grupo fosfato, el azúcar ribosa y una de las bases adenina, citosina, guanina o uracilo; participa en la conversión de la información del DNA en proteínas; también es el material genético de algunos virus.

ácido úrico: producto de desecho nitrogenado de la descomposición de los aminoácidos; cristales blancos relativamente insolubles excretados por aves, reptiles e insectos.

acrosoma: vesícula localizada en el extremo del espermatozoide animal; contiene las enzimas necesarias para digerir las capas protectoras que envuelven el óvulo.

actina: importante proteína muscular cuya interacción con la miosina produce contracción;

está presente en los filamentos finos de la fibra muscular; véase también *miosina*.

adaptación: rasgo que aumenta la capacidad de un individuo para sobrevivir y reproducirse, en comparación con los individuos que carecen de ese rasgo.

adenina: base nitrogenada presente en el DNA y en el RNA; su abreviatura es A.

adrenalina: hormona que secreta la médula suprarrenal; se libera en respuesta al estrés y estimula diversas respuestas, como la liberación de glucosa del hígado y la aceleración del ritmo cardíaco; también se llama *epinefrina*.

aeróbico: que utiliza oxígeno.

aglutinación: aglomeración de sustancias extrañas o microbios, provocada por la unión con anticuerpos.

agresión: comportamiento antagonista, normalmente entre miembros de la misma especie, con frecuencia como resultado de la competencia por los recursos.

aislamiento de comportamiento: ausencia de apareamiento entre especies de animales que difieren en grado considerable en cuanto a sus rituales de cortejo y apareamiento.

aislamiento ecológico: ausencia de apareamiento entre organismos pertenecientes a poblaciones diferentes que ocupan hábitat distintos dentro de la misma región general.

aislamiento geográfico: separación de dos poblaciones por una barrera física.

aislamiento reproductivo: ausencia de apareamiento entre los organismos de una población con los miembros de otra; podría deberse a mecanismos aislantes previos o posteriores al apareamiento.

aislamiento temporal: incapacidad de los organismos para aparearse si tienen temporadas de celo muy distintas.

alantoides: una de las membranas embrionarias de los reptiles, aves y mamíferos; en los reptiles y las aves sirve como órgano para almacenar desechos; en los mamíferos forma la mayor parte del cordón umbilical.

aldosterona: hormona que secreta la corteza suprarrenal; ayuda a regular la concentración de iones en la sangre estimulando la reabsorción de sodio por los riñones y las glándulas sudoríparas.

alelo: una de varias formas alternativas de un gen específico.

alelos múltiples: alelos de cada gen, que pueden llegar a docenas y son resultado de diferentes mutaciones.

alergia: respuesta inflamatoria producida por el cuerpo ante la invasión con materiales extraños, como el polen, por ejemplo, que por sí solos son inofensivos.

alga: todo miembro fotosintetizador del reino eucariótico Protista.

almidón: polisacárido compuesto de cadenas ramificadas o no ramificadas de moléculas de glucosa; las plantas lo utilizan como molécula para almacenar carbohidratos.

alternancia de generaciones: ciclo vital, característico de las plantas, en el que una generación de esporofito diploide (productora de esporas) se alterna con una generación de gametofito haploide (productora de gametos).

altruismo: tipo de comportamiento que puede disminuir el éxito reproductivo del individuo que lo practica, pero beneficia al de otros individuos.

alveolado: miembro de los Alveolata, un gran grupo de protistas al que muchos sistemáticos le asignan la categoría de reino. Los alveolados, que se caracterizan por tener un sistema de sacos debajo de la membrana celular, incluyen a los ciliados, foraminíferos, dinoflagelados y apicomplexa.

alveolo: diminuto saco de aire del interior de los pulmones, rodeado de capilares, donde se lleva a cabo el intercambio de gases con la sangre.

amiba: tipo de protista, semejante a los animales, que utiliza un sistema de locomoción por corrientes mediante el cual extiende una prolongación celular llamada *seudópodo*.

amígdala: parte del prosencéfalo de los vertebrados que interviene en la generación de respuestas de comportamiento apropiadas ante los estímulos ambientales.

amilasa: enzima que está presente en la saliva y en las secreciones pancreáticas; cataliza la degradación del almidón.

aminoácido: subunidad individual que constituye las proteínas, compuesta de un átomo de carbono central unido a un grupo amino ($-NH_2$), un grupo carboxilo ($-COOH$), un átomo de hidrógeno y un grupo variable de átomos que se denota con la letra *R*.

aminoácido esencial: aminoácido que es un nutriente indispensable; el organismo es incapaz de elaborar los aminoácidos esenciales, por lo que es necesario suministrarlos en la dieta.

amniocentesis: procedimiento para tomar muestras del líquido amniótico que rodea al feto; se inserta una aguja esterilizada a través de la pared abdominal, el útero y el saco amniótico de una mujer embarazada; se extraen de 10 a 20 mililitros de líquido amniótico. Se pueden practicar diversas pruebas al fluido y a las células fetales suspendidas en él, con el fin de obtener información acerca de las características genéticas y el desarrollo del feto.

amnios: una de las membranas embrionarias de reptiles, aves y mamíferos; encierra una cavidad llena de líquido que envuelve al embrión.

amoniaco: NH_3 ; producto residual nitrogenado muy tóxico de la descomposición de los aminoácidos. En el hígado de los mamíferos se transforma en urea.

AMP cíclico: nucleótido cíclico que se forma en muchas células blanco como resultado de la recepción de derivados de aminoácidos u hormonas peptídicas e induce cambios metabólicos en la célula; a menudo se le llama segundo mensajero.

amplexus: en los anfibios, forma de fecundación externa en la que el macho sostiene a la hembra durante el desove y deposita el espermatozoide directamente sobre los óvulos.

amplificación biológica: acumulación creciente de una sustancia tóxica hasta niveles tróficos progresivamente más elevados.

ámpula: bulbo muscular que es parte del sistema hidrovascular de los equinodermos; controla el movimiento de los pies ambulacrales que se usan para la locomoción.

anaeróbico: que no utiliza oxígeno.

anaerobio: organismo cuya respiración no requiere oxígeno.

anafase: en la mitosis, etapa en que las cromátidas hermanas de cada cromosoma se separan

una de otra y se desplazan hacia polos opuestos de la célula; en la meiosis I, etapa en la que se separan los cromosomas homólogos, compuestos de dos cromátidas hermanas; en la meiosis II, etapa en la que las cromátidas hermanas de cada cromosoma se separan una de otra y se desplazan hacia polos opuestos de la célula.

andrógeno: hormona sexual masculina.

anemia drepanocítica o de células falciformes: enfermedad recesiva causada por la sustitución de un solo aminoácido en la molécula de la hemoglobina. Las moléculas de hemoglobina drepanocítica tienden a formar cúmulos y distorsionar la forma de los glóbulos rojos, lo que hace que rompan y obstruyan los capilares.

anfibio: miembro de la clase Amphibia de los cordados, que incluye ranas, sapos y salamandras, así como la culebra ciega, que carece de extremidades.

angina de pecho: dolor pectoral asociado con una reducción del flujo sanguíneo hacia el músculo cardíaco, provocada por la obstrucción de las arterias coronarias.

angiosperma: planta vascular con flores.

angiotensina: hormona que interviene en la regulación del agua en los mamíferos estimulando cambios fisiológicos que aumentan el volumen sanguíneo y la presión arterial.

anillo anual: patrón alternante de xilema claro (temprano) y oscuro (tardío) de los tallos y raíces leñosos, que se forma como resultado de la desigual disponibilidad de agua en las diferentes estaciones del año, por lo general en primavera y verano.

anillo de hada: distribución circular de hongos que se forma cuando las estructuras reproductoras son arrojadas violentamente desde las hifas subterráneas de un hongo de clava que ha estado creciendo hacia fuera en todas direcciones a partir de su ubicación original.

antera: parte superior del estambre donde se forma el polen.

anteridio: estructura en la que se producen células sexuales masculinas; está presente en las briofitas y en ciertas plantas vasculares sin semilla.

anterior: extremo frontal o de la cabeza de un animal.

anticodón: secuencia de tres bases de un RNA de transferencia que es complementaria respecto a las tres bases de un codón de RNA mensajero.

anticoncepción: prevención del embarazo.

anticuerpo: proteína producida por células del sistema inmunitario, que se combina con un antígeno específico y generalmente facilita su destrucción.

anticuerpo monoclonal: anticuerpo producido en el laboratorio clonando células de hibridoma; cada clon de células produce un solo anticuerpo.

antígeno: molécula compleja, por lo general una proteína o un polisacárido, que estimula la producción de un anticuerpo específico.

aparato de Golgi: pila de sacos membranosos, presente en casi todas las células eucarióticas, donde se procesan y separan los componentes de la membrana y los materiales de secreción.

aprendizaje: cambio adaptativo en la conducta como resultado de la experiencia.

aprendizaje por discernimiento: forma compleja de aprendizaje que requiere la manipulación de conceptos mentales para llegar a un comportamiento adaptativo.

aprendizaje por ensayo y error: proceso mediante el cual se aprenden respuestas adaptati-

vas a través de recompensas o castigos proporcionados por el entorno.

árbol genealógico (pedigrí): diagrama que muestra relaciones genéticas entre un conjunto de individuos, normalmente con respecto a un rasgo genético específico.

Archaea: uno de los tres dominios de la vida; comprende los procariotas que tienen un parentesco lejano con los miembros del dominio Bacteria.

arqueonio: estructura en la que se producen las células sexuales femeninas; está presente en las briofitas y en ciertas plantas vasculares sin semilla.

arrecife de coral: bioma creado por animales (corales) y plantas en aguas tropicales cálidas.

arteria: vaso de paredes musculares y elásticas que conduce la sangre del corazón al resto del cuerpo.

arteria renal: la arteria que lleva sangre a cada riñón.

arteriola: arteria pequeña que vierte su sangre en capilares. La contracción de la arteriola regula el flujo sanguíneo hacia diversas partes del cuerpo.

articulación: región flexible entre dos unidades rígidas de un exoesqueleto o endoesqueleto, que permite el movimiento entre las unidades.

articulación en bisagra: articulación en la que los músculos mueven uno de los huesos y el otro permanece fijo, como en la rodilla, el codo o los dedos; permite el movimiento únicamente en dos dimensiones.

articulación esfera-cavidad (diartrosis): articulación en la que el extremo redondo de un hueso encaja en la depresión hueca de otro, como en la cadera, por ejemplo; permite el movimiento en varias direcciones.

asa de Henle: porción especializada del túbulo de la nefrona en las aves y los mamíferos que crea un gradiente de concentración osmótica en el fluido que la rodea. A la vez, este gradiente hace posible la producción de orina más concentrada osmóticamente que el plasma sanguíneo.

asca: estructura con forma de saco donde elaboran sus esporas los miembros de la división fúngica Ascomycota.

ataque cardíaco: reducción u obstrucción grave del flujo de sangre a través de una arteria coronaria, que priva a una parte del músculo cardíaco de suministro de sangre.

aterosclerosis: enfermedad que se caracteriza por la obstrucción de arterias por depósitos de colesterol y el engrosamiento de las paredes arteriales.

átomo: la partícula más pequeña de un elemento que conserva las propiedades de éste.

aurícula: cámara del corazón que recibe la sangre venosa y la transfiere a un ventrículo.

autofecundación: unión de espermatozoides y óvulos del mismo individuo.

autosoma: cromosoma dispuesto en pares homólogos tanto en machos como en hembras y que no porta los genes que determinan el sexo.

autótrofo: "que se alimenta por sí mismo"; generalmente un organismo fotosintetizador; un productor.

auxina: hormona vegetal que influye en muchas de las funciones de las plantas, como el fototropismo, la dominancia apical y la ramificación de las raíces; por lo general estimula el alargamiento de las células y, en ciertos casos, la división y diferenciación celulares.

axón: extensión larga de las neuronas que va del cuerpo celular a las terminaciones sinápticas en otras neuronas o músculos.

azúcar: molécula de carbohidrato simple; puede ser un monosacárido o un disacárido.

bacilo: bacteria con forma de bastón.

bacteria: organismo que consiste de una sola célula procariótica rodeada por una cubierta compleja de polisacárido.

Bacteria: uno de los tres dominios de la vida; comprende los procariotas que tienen un parentesco lejano con los miembros del dominio Archaea.

bacteria desnitrificante: bacteria que descompone los nitratos y libera nitrógeno gaseoso a la atmósfera.

bacteria fijadora de nitrógeno: bacteria capaz de tomar nitrógeno (N₂) de la atmósfera y combinarlo con hidrógeno para producir amonio (NH₄⁺).

bacteriófago: virus que se especializa en atacar bacterias.

banda de Caspary: banda cérea e impermeable, situada en las paredes celulares entre las células endodérmicas de las raíces, que impide la entrada y salida de agua y minerales del cilindro vascular, a través del espacio extracelular.

barrera hematoencefálica: capilares relativamente impermeables del encéfalo que protegen las células cerebrales contra las sustancias químicas potencialmente nocivas que entran en el torrente sanguíneo.

base: (1) sustancia capaz de combinarse con los iones H⁺ de una solución y neutralizarlos; solución cuyo pH es mayor que 7. (2) En genética molecular, una de las estructuras nitrogenadas de uno o dos anillos que representan la diferencia entre un nucleótido y otro. En el DNA, las bases son adenina, guanina, citosina y timina.

básica: sustancia que tiene una concentración de H⁺ menor que la de OH⁻; se combina con H⁺.

basidio: célula diploide, con forma característica de maza o clava, que forman los miembros de la división fúngica Basidiomycota; produce basidiosporas por meiosis.

basidiospora: espora sexual que forman los miembros de la división fúngica Basidiomycota.

basófilo: tipo de leucocito que libera sustancias que inhiben la coagulación sanguínea y compuestos químicos que participan en las reacciones alérgicas y en las respuestas al daño tisular y a la invasión microbiana.

bazo: órgano del sistema linfático en el que se producen linfocitos y se filtra la sangre haciéndola pasar por linfocitos y macrófagos para eliminar partículas extrañas y glóbulos rojos viejos.

biblioteca de DNA: juego completo, fácilmente accesible y reproducible, de todo el DNA de un organismo específico, por lo general clonado en plásmidos bacterianos.

bicapa fosfolipídica: doble capa de fosfolípidos que constituye la base de todas las membranas celulares. Las cabezas de los fosfolípidos, que son hidrofílicas, dan hacia el agua del fluido extracelular o del citoplasma; las colas, que son hidrofóbicas, están en la parte media de la bicapa.

bilis: secreción líquida que se produce en el hígado, se almacena en la vesícula biliar y se libera en el intestino delgado durante la digestión; mezcla compleja de sales biliares, agua, otras sales y colesterol.

biocapacidad: estimación de los recursos sustentables y la capacidad realmente disponible de absorción de los desechos en la Tierra. Es un concepto relacionado con capacidad de carga

que se explica en el capítulo 26. Los cálculos de la huella ecológica y de la biocapacidad están sujetos a cambios conforme las nuevas tecnologías modifican la forma en que la gente utiliza los recursos.

biodegradable: capaz de descomponerse en sustancias inocuas por la acción de agentes de descomposición.

biodiversidad: número total de especies que integran un ecosistema y la complejidad resultante de las interacciones entre ellas.

biología de la conservación: aplicación del conocimiento de la ecología y otras áreas de la biología para preservar la biodiversidad.

bioma: ecosistema terrestre que ocupa una extensa área geográfica y se caracteriza por un tipo específico de comunidad vegetal; por ejemplo, los desiertos.

biomasa: peso seco del material orgánico de un ecosistema.

biosfera: parte de la Tierra habitada por organismos vivos; incluye componentes tanto animados como inanimados.

biotecnología: todo uso o alteración industrial o comercial de organismos, células o moléculas biológicas para alcanzar metas prácticas específicas.

biótico: viviente.

blastocisto: etapa temprana del desarrollo embrionario de los mamíferos; es una esfera hueca de células que encierra una masa de ellas adherida a su superficie interna, la cual se convierte en el embrión.

blastoporo: sitio en el que la blástula se invagina para formar una gástrula.

blástula: en los animales, la etapa embrionaria que se alcanza al final de la segmentación, en la que normalmente el embrión es una esfera hueca con una pared de una o varias células de espesor.

boca: abertura de un sistema digestivo tubular por la que entra el alimento.

bocio: hinchazón del cuello provocada por una deficiencia de yodo que afecta el funcionamiento de la glándula tiroidea y de sus hormonas.

bomba de sodio-potasio: conjunto de moléculas de transporte activo que utilizan energía de ATP para bombear iones sodio hacia afuera de la célula y iones potasio hacia dentro para mantener los gradientes de concentración de estos iones a través de la membrana.

bosque caducifolio de clima templado: bioma en el que los inviernos son fríos y la precipitación pluvial veraniega proporciona suficiente humedad para que crezcan árboles cuya sombra impide el crecimiento de pastos.

bosque caducifolio tropical: bioma con estaciones húmeda y seca pronunciadas y plantas que deben perder sus hojas durante la temporada de sequía para reducir al mínimo la pérdida de agua.

bosque de clima templado lluvioso: bioma en el que no hay escasez de agua líquida en todo el año y está dominado por coníferas.

bosque septentrional de coníferas (bosque boreal): bioma con inviernos largos y fríos y apenas unos cuantos meses de clima cálido; poblado casi totalmente por coníferas siempre verdes; también se denomina *taiga*.

bradicinina: sustancia química que se forma cuando los tejidos sufren lesiones; se une a las moléculas receptoras de las terminaciones nerviosas del dolor y origina la sensación de dolor.

branquia: en los animales acuáticos, tejido ramificado con abundante provisión de capilares, en torno al cual circula el agua para llevar a cabo el intercambio de gases.

briofitas: planta no vascular simple de la división Bryophyta; las briofitas comprenden los musgos y las hepáticas.

bronquio: tubo que conduce aire de la tráquea a cada pulmón.

bronquiolo: tubo estrecho, formado por ramificaciones repetidas de los bronquios, que conduce aire hasta los alveolos.

bronquitis crónica: infección pulmonar persistente que se caracteriza por tos, inflamación del revestimiento del tracto respiratorio, mayor producción de moco y reducción del número y la actividad de los cilios.

buche: órgano de las lombrices de tierra y de las aves en el que se almacena temporalmente el alimento ingerido antes de hacerlo pasar a la molleja, donde es pulverizado.

buffer: sustancia que reduce al mínimo los cambios de pH tomando o liberando iones H⁺.

bulbo raquídeo: en los vertebrados, parte del rombencéfalo que controla las actividades automáticas como la respiración, la deglución, el ritmo cardíaco y la presión arterial.

burbuja de duplicación: la porción desarrollada de las dos cadenas del DNA progenitor, separada por DNA helicasa, en la duplicación de DNA.

cabeza: el segmento anterior de un animal con segmentación.

cadena alimentaria: relación lineal de alimentación de una comunidad, con base en un solo representante de cada nivel trófico.

cadena molde: cadena de la doble hélice del DNA a partir de la cual se transcribe el RNA.

calcitonina: hormona que secreta la glándula tiroidea; inhibe la liberación de calcio de los huesos.

calentamiento global: elevación gradual de la temperatura atmosférica del planeta, como resultado de una amplificación del efecto de invernadero natural que se debe a las actividades humanas.

calor de fusión: energía que es preciso extraer de un compuesto líquido para transformarlo en un sólido a su temperatura de congelación.

calor de vaporización: energía que es preciso suministrar a un compuesto líquido para transformarlo en un gas a su temperatura de ebullición.

calor específico: cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de una sustancia en 1°C.

caloría: cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en 1 grado Celsius.

Caloría (con mayúscula): unidad de energía en la que se mide el contenido energético de los alimentos; cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 litro de agua en un grado Celsius; también recibe el nombre de *kilocaloría* y equivale a 1000 calorías.

calostro: líquido amarillento, rico en proteínas y que contiene anticuerpos, que producen las glándulas mamarias antes que se inicie la secreción de leche.

cambium (pl., *cambia*): meristemo lateral, paralelo al eje longitudinal de las raíces y los tallos, que da origen al crecimiento secundario de tallos y raíces de plantas leñosas. Véase *cambium suberígeno*; *cambium vascular*.

cambium suberígeno: meristemo lateral de las raíces y los tallos leñosos que da origen a células suberosas.

cambium vascular: meristemo lateral situado entre el xilema y el floema de una raíz o un tallo leñoso y que da origen al xilema y floema secundarios.

camuflaje: coloración y/o forma que hace a un organismo menos llamativo en su ambiente.

canal auditivo: conducto dentro del oído externo que lleva el sonido desde el pabellón auricular hasta el tímpano.

cáncer: enfermedad en la que algunas de las células del cuerpo escapan a los procesos de control celular y se dividen sin control.

capa de abscisión: capa de células de pared delgada que se localiza en la base del peciolo de las hojas y produce una enzima que digiere la pared celular que sujeta la hoja al tallo, lo que permite que la hoja caiga.

capa de ozono: la capa enriquecida en ozono de la atmósfera superior, que filtra parte de la radiación ultravioleta del Sol.

capa electrónica: región en cuyo interior se mueven los electrones que corresponden a un nivel de energía fijo a cierta distancia del núcleo del átomo.

capa germinal: capa de tejido que se forma durante el inicio del desarrollo embrionario.

capacidad de carga: tamaño máximo de población que un ecosistema puede mantener de forma indefinida; está determinada principalmente por la disponibilidad de espacio, nutrientes, agua y luz.

capilar: el tipo más pequeño de vaso sanguíneo; comunica las arteriolas con las vénulas. Las paredes de los capilares, a través de las cuales se lleva a cabo el intercambio de nutrientes y desechos, tienen sólo una célula de espesor.

cápsula: cubierta de polisacárido o proteína que ciertas bacterias patógenas secretan al exterior de su pared celular.

cápsula de Bowman: parte de la nefrona con forma de taza, en la que se recoge el filtrado de la sangre por el glomérulo.

capuchón cervical (diafragma): dispositivo anticonceptivo que consiste en un capuchón de caucho que se ajusta sobre el cuello del útero para impedir que los espermatozoides entren en él.

carbohidrato: compuesto de carbono, hidrógeno y oxígeno cuya fórmula química aproximada es (CH₂O)_n; los azúcares y los almidones son carbohidratos.

cariotipo: preparación que muestra el número, el tamaño y la forma de todos los cromosomas de una célula y, por lo tanto, del individuo o especie de donde ésta proviene.

carnívoro: literalmente, “que come carne”; organismo depredador que se alimenta de herbívoros o de otros carnívoros; consumidor secundario (o superior).

carotenoide: pigmento rojo, anaranjado o amarillo que está presente en los cloroplastos y sirve como molécula recolectora de luz auxiliar en los fotosistemas de los tilacoides.

carpelo: estructura reproductora femenina de las flores; se compone de estigma, estilo y ovario.

cartilago: forma de tejido conectivo que constituye partes del esqueleto; se compone de condrocitos y su secreción extracelular de colágeno; se asemeja al hueso flexible.

casquete radical (piloriza): cúmulo de células en la punta de una raíz en crecimiento, derivado del meristemo apical; evita que la punta sufra daños al penetrar en el suelo.

catalizador: sustancia que acelera una reacción química sin sufrir ella misma cambios permanentes durante el proceso; reduce la energía de activación de la reacción.

catástrofo: hipótesis de que la Tierra ha experimentado una serie de catástrofes geológicas, probablemente impuestas por un ente

sobrenatural, que explican la multitud de especies, tanto extintas como modernas. El catastrofismo sostiene el creacionismo.

causalidad natural: principio científico de que los sucesos naturales son resultado de causas naturales anteriores.

cavidad gastrovascular: cámara con apariencia de saco con funciones digestivas que está presente en los invertebrados simples; una sola abertura sirve como boca y ano a la vez. La cámara permite el acceso directo de los nutrientes a las células.

cefalización: tendencia de los órganos sensoriales y el tejido nervioso a concentrarse en la región de la cabeza a lo largo del tiempo evolutivo.

celoma: espacio o cavidad que separa la pared corporal de los órganos internos.

célula: la unidad más pequeña de vida; se compone, como mínimo, de una membrana exterior que encierra un medio acuoso en el que hay moléculas orgánicas, incluido el material genético compuesto de DNA.

célula acompañante: célula adyacente a un elemento del tubo criboso del floema, que interviene en el control y la nutrición del elemento del tubo criboso.

célula amiboide: protista o célula animal que se desplaza extendiendo una prolongación celular llamada pseudópodo.

célula asesina natural: tipo de glóbulo blanco que destruye algunas células infectadas por virus y células cancerosas al ponerse en contacto con ellas; forma parte de la defensa interna inespecífica del sistema inmunitario contra las enfermedades.

célula B: tipo de linfocito que participa en la inmunidad humoral; da origen a las células plasmáticas que secretan anticuerpos en el sistema circulatorio y a las células de memoria.

célula B de memoria: tipo de glóbulo blanco que se produce como resultado de la unión de un anticuerpo de una célula B a un antígeno de un microorganismo invasor. Las células B de memoria persisten en el torrente sanguíneo y brindan inmunidad futura ante invasores que llevan ese antígeno.

célula blanco: célula en la que una hormona dada ejerce su efecto.

célula de lámina de haz: miembro de un grupo de células que rodean las venas de las plantas; en las plantas C_4 (pero no en las C_3), las células de vaina de haz contienen cloroplastos.

célula de Sertoli: en el túbulo seminífero, célula grande que regula la espermatogénesis y nutre al espermatozoide en desarrollo.

célula de tubo: célula más exterior de un grano de polen; crea por digestión un tubo polínico a través de los tejidos del carpelo y finalmente penetra en el gametofito femenino.

célula diferenciada: célula madura especializada en una función determinada; en las plantas, generalmente las células diferenciadas no se dividen.

célula en collar (coanocito): célula especializada que recubre los canales internos de las esponjas. Presenta flagelos que se extienden desde un collar criboso y crean una corriente de agua que atrae organismos microscópicos a través del collar y al interior del cuerpo, donde quedan atrapados.

célula en empalizada: célula mesoflítica columnar que contiene cloroplastos y está inmediatamente por debajo de la epidermis superior de las hojas.

célula endospermica primaria: célula central del gametofito femenino de una planta con flo-

res; contiene los núcleos polares (normalmente dos); después de la fertilización, sufre divisiones mitóticas repetidas para producir el endospermo de la semilla.

célula epitelial: tipo de célula que forma el tejido epitelial.

célula esponjosa: célula del mesófilo de forma irregular que contiene cloroplastos, situada inmediatamente por encima de la epidermis inferior de las hojas.

célula fagocítica: tipo de célula del sistema inmunitario que destruye microbios invasores mediante fagocitosis, envolviendo y digiriendo los microbios.

célula flamígera: en los gusanos planos, célula especializada que tiene cilios pulsátiles y dirige el agua y los residuos a través de los tubos ramificados que sirven como sistema excretor.

célula ganglionar: tipo de células, de las cuales está compuesta la capa más interna de la retina de los vertebrados, cuyos axones forman el nervio óptico.

célula generadora: en las plantas con flor, una de las células haploides del grano de polen; sufre mitosis para formar dos espermatozoides.

célula glial: célula del sistema nervioso que brinda soporte y aislamiento a las neuronas.

célula intersticial: en los testículos de los vertebrados, célula productora de testosterona que se localiza entre los túbulos seminíferos.

célula madre: célula indiferenciada capaz de dividirse para dar origen a uno o más tipos distintivos de células diferenciadas.

célula madre de megasporas: célula diploide, dentro del óvulo de una planta con flor, que sufre meiosis para producir cuatro megasporas haploides.

célula madre de microsporas: célula diploide contenida en una antera de una planta con flor y que sufre meiosis para producir cuatro microsporas haploides.

célula madre embrionaria: célula derivada de una etapa temprana del embrión que es capaz de diferenciarse para convertirse en cualquier tipo de célula de un adulto.

célula meristemática: célula no diferenciada que conserva la capacidad para dividirse durante toda la vida de una planta.

célula neurosecretora: célula nerviosa especializada que sintetiza y libera hormonas.

célula pilosa: tipo de célula receptora del oído interno que produce una señal eléctrica cuando se doblan sus rígidos cilios parecidos a pelos que salen de la superficie de la célula. Las células pilosas en la cóclea responden a las vibraciones sonoras; las que se localizan en el sistema vestibular responden al movimiento y la gravedad.

célula plasmática: descendiente de una célula B, que secreta anticuerpos.

célula suberosa: célula protectora de la corteza de los tallos y las raíces leñosos; en la madurez, las células suberosas están muertas y su pared celular es gruesa e impermeable.

célula T: tipo de linfocito que reconoce y destruye células o sustancias ajenas específicas o que regula a otras células del sistema inmunitario.

célula T citotóxica: tipo de célula T que, al entrar en contacto con células extrañas, las destruye directamente.

célula T de memoria: tipo de glóbulo blanco que se produce como resultado de la unión de un receptor de una célula T con un antígeno de un microorganismo invasor. Las células T de memoria persisten en el torrente sanguíneo y brindan inmunidad futura ante invasores que llevan ese antígeno.

célula T facilitadora: tipo de célula T que ayuda a otras células del sistema inmunitario a reconocer y a actuar contra los antígenos.

células de islote: grupo de células de la parte endocrina del páncreas que produce insulina y glucagón.

células oclusivas: par de células epidérmicas especializadas que rodean la abertura central de los estomas de las hojas; regulan el tamaño de la abertura.

celulasa: enzima que cataliza la descomposición del carbohidrato celulosa en las moléculas de glucosa de que se compone; prácticamente sólo está presente en microorganismos.

celulosa: carbohidrato insoluble compuesto de subunidades de glucosa; forma la pared celular de los vegetales.

centriolo: en las células animales, anillo corto con forma de barril compuesto de nueve tripletes de microtúbulos; estructura que contiene microtúbulos y está situada en la base de cada cilio y flagelo; da origen a los microtúbulos de los cilios y flagelos e interviene en la formación del huso durante la división celular.

centro de reacción: en el complejo recolector de luz de un fotosistema, la molécula de clorofila a la que las moléculas antena (pigmentos que absorben luz) transfieren energía luminosa: la energía capturada expulsa un electrón de la clorofila del centro de reacción, el cual se transfiere al sistema de transporte de electrones.

centro respiratorio: cúmulo de neuronas, situado en el bulbo raquídeo, que envía ráfagas rítmicas de impulsos nerviosos a los músculos respiratorios y da como resultado la respiración.

centrómero: región de los cromosomas duplicados donde las cromátidas hermanas se mantienen unidas hasta que se separan durante la división celular.

cera: lípido compuesto por ácidos grasos unidos por enlaces covalentes a alcoholes de cadena larga.

cerebelo: parte posterior del encéfalo de los vertebrados que se encarga de coordinar los movimientos del cuerpo.

cerebro: parte del sistema nervioso central de los vertebrados que se encuentra dentro del cráneo.

cerebro medio (meséncéfalo): durante el desarrollo, la porción central del cerebro; contiene un importante centro de retransmisión, la formación reticular.

chaparral: bioma que se localiza en las regiones costeras, y que recibe muy poca precipitación pluvial anual; se caracteriza por arbustos y pequeños árboles.

cianobacteria: célula procariótica fotosintética que utiliza clorofila y desprende oxígeno como producto de la fotosíntesis; también se conoce como *alga verde-azul*.

ciclo biogeoquímico: también conocido como *ciclo de los nutrientes*; es el proceso por el que se transfiere un nutriente específico de un ecosistema entre los organismos vivos y el depósito del nutriente en el ambiente inanimado.

ciclo C_3 : serie cíclica de reacciones mediante las cuales se fija dióxido de carbono en carbohidratos durante las reacciones independientes de la luz de la fotosíntesis; también recibe el nombre de *ciclo de Calvin-Benson*.

ciclo cardíaco: alternancia de contracción y relajación de las cámaras del corazón.

ciclo celular: secuencia de procesos que se dan en la vida de una célula, de una división a la siguiente.

ciclo de auge y decadencia: ciclo demográfico que se caracteriza por un rápido crecimiento exponencial seguido de una mortandad masiva repentina; se observa en las especies estacionales y en ciertas poblaciones de roedores pequeños, como los lemmings, por ejemplo.

ciclo de Calvin-Benson: véase *ciclo C₃*.

ciclo de Krebs: serie cíclica de reacciones que se efectúan en la matriz de las mitocondrias y en el que el grupo acetilo de las moléculas de ácido pirúvico producidas por la glucólisis se descomponen hasta llegar a CO₂, acompañado por la formación de ATP y portadores de electrones; también se llama *ciclo del ácido cítrico*.

ciclo de los nutrientes: descripción de las rutas que sigue un nutriente específico (como carbono, nitrógeno, fósforo o agua) a través de las partes viva e inanimadas de un ecosistema. También se conoce como ciclo biogeoquímico.

ciclo de población: cambios cíclicos que se presentan regularmente en el tamaño de la población.

ciclo del ácido cítrico: véase *ciclo de Krebs*.

ciclo hidrológico: ciclo del agua, impulsado por la energía solar; ciclo de nutrientes en el que el depósito principal de agua es el océano y la mayor parte del agua permanece como tal durante todo el ciclo (en vez de ser utilizada en la síntesis de otras moléculas).

ciclo menstrual: en las mujeres, complejo ciclo de 28 días durante el cual interacciones hormonales entre el hipotálamo, la hipófisis y los ovarios coordinan la ovulación y la preparación del útero para recibir y nutrir al huevo fertilizado. Si no hay embarazo, el revestimiento uterino se expulsa durante la menstruación.

ciclo vital: sucesos en la vida de un organismo, de una generación a la siguiente.

cigospora: espora de hongo, producida por la división Zygomycota, que está rodeada por una pared gruesa y resistente y se forma a partir de un cigoto diploide.

cigoto: en la reproducción sexual, célula diploide (óvulo fecundado) que se forma por la fusión de dos gametos haploides.

ciliado: protozoario que se caracteriza por tener cilios y una estructura unicelular compleja que incluye organelos parecidos a arpones, llamados tricocistos. Los miembros del género *Paramecium* son ciliados muy conocidos.

cilindro vascular: tejido conductor central de una raíz joven; consiste en xilema y floema primarios.

cilio: prolongación de la superficie de ciertas células eucarióticas, parecida a un pelo, que contiene microtúbulos en una disposición de 9 + 2. El movimiento de los cilios impulsa las células en un medio líquido o mueve los líquidos sobre la capa superficial estacionaria de las células.

cinetocoro: estructura proteica que se forma en la región del centrómero de los cromosomas; uno los cromosomas al huso.

circunvolución: pliegue de la corteza cerebral del encéfalo de los vertebrados.

citocina: cualquiera de las moléculas químicas mensajeras que liberan las células para facilitar la comunicación con otras células y transferir señales dentro de varios sistemas del cuerpo y entre éstos. Las citocinas son importantes en la diferenciación celular y el sistema inmunitario.

citocinesis: división del citoplasma y los organelos en dos células hijas durante la división celular; generalmente se lleva a cabo durante la telofase de la mitosis.

citocinina: hormona vegetal que promueve la división celular, el crecimiento del fruto y el

brote de yemas laterales; previene el envejecimiento de ciertas partes de la planta, especialmente de las hojas.

citoesqueleto: red de fibras proteínicas del citoplasma que da forma a la célula, sostiene y mueve los organelos y por lo regular participa en el movimiento celular.

citoplasma: material contenido dentro de la membrana plasmática de la célula, con exclusión del núcleo.

citosina: base nitrogenada presente en el DNA y en el RNA; su abreviatura es C.

clamidia: enfermedad de transmisión sexual causada por bacterias, que provoca la inflamación de la uretra en los varones y de la uretra y el cuello del útero en las mujeres.

clase: categoría taxonómica compuesta de órdenes emparentados. Las clases que guardan una relación estrecha constituyen una división o filum.

clima: patrones meteorológicos que prevalecen de un año a otro o incluso de un siglo a otro en una región específica.

clitoris: estructura externa del sistema reproductor femenino; se compone de tejido eréctil; es un punto sensible de estimulación durante la respuesta sexual.

clon: descendencia producida por mitosis, por lo tanto, genéticamente idéntica entre sí.

clonación: procedimiento por el que se producen muchas copias idénticas de un gen; también se llama así a la producción de muchas copias genéticamente idénticas de un organismo.

clorofila: pigmento presente en los cloroplastos que captura energía luminosa durante la fotosíntesis; absorbe la luz violeta, azul y roja y refleja la luz verde.

cloroplasto: organelo de las plantas y de los protistas semejantes a plantas, donde se lleva a cabo la fotosíntesis; lo envuelve una doble membrana y alberga un extenso sistema de membranas internas que contiene clorofila.

cnidocito: en los miembros del filum Cnidaria, célula especializada que alberga el aparato que actúa como aguijón.

coagulación sanguínea: proceso complejo mediante el cual las plaquetas, la proteína fibrina y los eritrocitos obstruyen una superficie irregular del interior o de la superficie del cuerpo (por ejemplo, un vaso sanguíneo lesionado) para cerrar la herida.

cóclea: tubo enroscado, óseo y lleno de líquido que se encuentra en el oído interno de los mamíferos; contiene receptores (células pilosas) que responden a la vibración del sonido.

código genético: conjunto de codones de RNAm, cada uno de los cuales dirige la incorporación de un aminoácido específico en una proteína durante la síntesis de proteínas.

codominancia: relación entre dos alelos de un gen, según la cual ambos alelos se expresan fenotípicamente en los individuos heterocigóticos.

codón: secuencia de tres bases de RNA mensajero que especifica un aminoácido determinado que debe ser incorporado en una proteína; ciertos codones también señalan el comienzo o el final de la síntesis de una proteína.

codón de inicio: el primer codón AUG de una molécula de RNA mensajero.

codón de terminación: codón del RNA mensajero que detiene la síntesis de proteínas y hace que la cadena proteica terminada se libere del ribosoma.

coenzima: molécula orgánica que está unida a ciertas enzimas y es necesaria para el buen funcionamiento de éstas; por lo común, es un nucleótido unido a una vitamina hidrosoluble.

coevolución: evolución de adaptaciones en dos especies que se debe a la intensa interacción entre ambas, de tal manera que cada especie actúa como una importante fuerza de selección natural sobre la otra.

cohesión: tendencia de las moléculas de una sustancia a mantenerse unidas.

coito interrumpido: extracción del pene de la vagina justo antes de la eyaculación en un intento por evitar el embarazo; método anticonceptivo poco eficaz.

cola post-anal: cola que se extiende más allá del ano; la presentan todos los cordados en alguna etapa de su desarrollo.

colágeno: proteína fibrosa del tejido conectivo, como hueso y cartilago, por ejemplo.

colecistocinina: hormona digestiva producida por el intestino delgado y que estimula la liberación de enzimas pancreáticas.

colénquima: tipo de célula vegetal poligonal alargada con paredes celulares primarias engrosadas de forma irregular, que está viva en la madurez y sostiene el cuerpo de la planta.

coleóptilo: vaina protectora que envuelve los brotes de las semillas monocotiledóneas y permite que el vástago aparte las partículas de suelo a medida que crece.

colon: la parte más larga del intestino grueso, con exclusión del recto.

coloración de advertencia: coloración brillante para advertir a los depredadores que la presa potencial tiene sabor desagradable o que incluso es venenosa.

coloración de sobresalto: forma de mimetismo en la que un organismo presa exhibe repentinamente un patrón de colores (que en muchos casos se asemeja a grandes ojos) cuando se aproxima un depredador.

columna vertebral: columna de unidades esqueléticas (vértebras) dispuestas en serie, las cuales encierran a la médula espinal en los vertebrados; la espina dorsal.

combustible fósil: combustible como la hulla, el petróleo y el gas natural, formado a partir de los restos de organismos antiguos.

comensalismo: relación simbiótica en la que una especie se beneficia al tiempo que otra especie ni se daña ni se beneficia.

compartimiento intermembranas: espacio lleno de líquido que está comprendido entre las membranas interna y externa de las mitocondrias.

competencia: interacción entre individuos que intentan utilizar un recurso (por ejemplo: alimento o espacio) que está limitado en relación con la demanda.

competencia de lucha: contienda desesperada entre individuos de la misma especie por obtener recursos limitados.

competencia interespecífica: competencia entre individuos de especies diferentes.

competencia por concurso: mecanismo para resolver la competencia intraespecífica mediante interacciones sociales o químicas.

complejo colector de luz: en los fotosistemas, el conjunto de moléculas de pigmento (clorofila y pigmentos accesorios) que absorben energía luminosa y la transfieren a los electrones.

complejo mayor de histocompatibilidad (MHC): proteínas, situadas normalmente en las superficies de las células corporales, que identifican a la célula como parte del individuo; también son importantes para estimular y regular la respuesta inmunitaria.

complemento: grupo de proteínas que transporta la sangre y que participan en la destruc-

ción de las células extrañas a las que se han unido los anticuerpos.

comportamiento: toda actividad observable de un animal vivo.

compuesto: sustancia cuyas moléculas están formadas de diferentes tipos de átomos; puede descomponerse en sus elementos constitutivos por medios químicos.

comunicación: acto de producir una señal que provoca que otro animal, normalmente de la misma especie, modifique su conducta en un sentido que es provechoso para uno de los participantes o para ambos.

comunidad: todas las poblaciones que interactúan dentro de un ecosistema.

comunidad clímax: comunidad diversa y relativamente estable que constituye el punto final de la sucesión.

comunidad de los respiraderos hidrotérmicos: comunidad de organismos fuera de lo común que viven en las grandes profundidades del océano, cerca de los respiraderos hidrotérmicos y que dependen de las actividades quimio-sintéticas de las bacterias de azufre.

concavidad: área de las paredes celulares entre dos células vegetales en la que no se formaron paredes secundarias, de tal manera que las dos células están separadas sólo por una pared primaria relativamente delgada y porosa.

concentración: número de partículas de una sustancia disuelta en una unidad de volumen dada.

conclusión: operación final del método científico; decisión que se toma acerca de la validez de una hipótesis sobre la base de los datos experimentales.

condensación: compactación de cromosomas eucarióticos en unidades discretas, como preparación para la mitosis o la meiosis.

condicionamiento operante: procedimiento de adiestramiento en laboratorio en el que un animal aprende a responder de cierta manera (por ejemplo, presionar una palanca) mediante recompensas o castigos.

condón: funda anticonceptiva que se pone sobre el pene durante el coito para impedir que se deposite esperma en la vagina.

condrocito: célula viva del cartílago. Los condrocitos forman cartílago junto con sus secreciones extracelulares de colágeno.

conducto: tubo o abertura por el que se emiten secreciones exocrinas.

conducto auditivo: conducto que conecta el oído medio con la faringe y que permite que la presión se equilibre entre el oído medio y el exterior (también se conoce como trompa de Eustaquio).

conducto colector: tubo conductor del interior del riñón que recolecta la orina de muchas nefronas y la conduce a través de la médula renal hasta la pelvis renal. En presencia de hormona antidiurética (ADH), la orina se concentra en los conductos colectores.

conducto deferente: tubo que conecta el epidídimo del testículo con la uretra.

conífera: miembro de las traqueofitas (Coniferophyta) que se reproduce mediante semillas que se forman dentro de conos y conserva sus hojas durante todo el año.

conjugación: en los procariotas, la transferencia del DNA de una célula a otra por medio de una conexión temporal; en los eucariotas unicelulares, el intercambio de material genético entre dos células unidas temporalmente.

conjugación bacteriana: intercambio de material genético entre dos bacterias.

cono: célula fotorreceptora de forma cónica de la retina de los vertebrados; no es tan sensible

a la luz como los bastones. Los tres tipos de conos son más sensibles a diferentes colores de la luz y permiten la visión cromática; véase también *bastón*.

consumidor: organismo que se alimenta de otros organismos; un heterótrofo.

consumidor primario: organismo que se alimenta de productores; un herbívoro.

consumidor secundario: organismo que se alimenta de consumidores primarios; un carnívoro.

consumidor terciario: carnívoro que se alimenta de otros carnívoros (consumidores secundarios).

control: parte de un experimento en la que se mantienen constantes todas las variables posibles, en contraste con la parte "experimental", en la que se altera una variable específica.

convergencia: condición en la que un gran número de neuronas aportan estímulos a un número menor de células.

copulación: comportamiento reproductivo en el que se inserta el pene del macho en el cuerpo de la hembra, donde libera los espermatozoides.

corazón: órgano muscular que se encarga de bombear la sangre del sistema circulatorio por todo el cuerpo.

cordón nervioso: estructura nerviosa apareada en la mayoría de los animales que conduce señales nerviosas a los ganglios y desde éstos; en los cordados, estructura nerviosa que se extiende a lo largo de la parte dorsal del cuerpo; se llama también médula espinal.

corion: la membrana embrionaria más externa de reptiles, aves y mamíferos; en aves y reptiles, su función es principalmente el intercambio de gases; en los mamíferos, forma la mayor parte de la porción embrionaria de la placenta.

córnea: cubierta exterior transparente del ojo, por delante de la pupila y el iris.

coroides: capa de tejido con pigmentación oscura que está detrás de la retina y contiene vasos sanguíneos y un pigmento que absorbe la luz dispersa.

corona radiada: capa de células que rodean al óvulo después de la ovulación.

corredores de vida silvestre: franjas de tierra protegidas que vinculan áreas más extensas. Permiten a los animales desplazarse de manera libre y segura entre los hábitat que, de otra forma, quedarían aislados por las actividades humanas.

corteza: **1** capa externa de un tallo leñoso, compuesta de floema, cambium suberoso y células suberosas. **2** parte de la raíz o tallo primario, que se encuentra entre la epidermis y el cilindro vascular.

corteza cerebral: capa delgada de neuronas de la superficie del cerebro de los vertebrados, donde se lleva a cabo la mayor parte del procesamiento neural y la coordinación de las actividades.

corteza renal: la capa externa del riñón, donde se encuentran las nefronas.

corteza suprarrenal: parte externa de la glándula suprarrenal; secreta hormonas esteroideas que regulan el metabolismo y el equilibrio de sales.

cortisol: hormona esteroide que libera la corteza suprarrenal en el torrente sanguíneo en respuesta al estrés. El cortisol ayuda al cuerpo a enfrentar los estresores a corto plazo elevando los niveles de glucosa en la sangre; también inhibe la respuesta inmunitaria.

cotiledón: estructura parecida a una hoja que se encuentra dentro de la semilla y absorbe moléculas de alimento del endosperma para transferirlas al embrión en crecimiento; también se llama *hoja seminal*.

creacionismo: hipótesis según la cual todas las especies de la Tierra fueron creadas fundamentalmente en su forma actual por un ente sobrenatural; sostiene también que no pueden ocurrir modificaciones importantes de esas especies, como su transformación en nuevas especies mediante procesos naturales.

crecimiento exponencial: aumento continuamente acelerado del tamaño de una población.

crecimiento primario: crecimiento en longitud y desarrollo de las estructuras iniciales de las raíces y vástagos de las plantas, provocado por la división celular de meristemos apicales y la diferenciación de las células hijas.

crecimiento secundario: crecimiento en el diámetro de un tallo o raíz provocado por la división celular en meristemos laterales y la diferenciación de sus células hijas.

cresta: pliegue de la membrana interior de las mitocondrias.

crystalino: estructura flexible o móvil de los ojos que sirve para enfocar la luz en una capa de células fotorreceptoras.

cromátida: cada una de las dos cadenas idénticas de DNA y proteína que constituyen un cromosoma replicado. Las dos cromátidas hermanas están unidas en el centrómero.

cromatina: complejo de DNA y proteína que constituye los cromosomas eucarióticos.

cromista: miembros de los Chromista, un gran grupo de protistas al que muchos sistemáticos le asignan la categoría de reino. Los cromistas incluyen a las diatomeas, las algas pardas y los mohos acuáticos.

cromosoma: conjunto de una doble hélice individual de DNA y las proteínas que ayudan a organizar el DNA.

cromosoma duplicado: cromosoma eucariótico que se produce después de la duplicación del DNA; se compone de dos cromátidas hermanas unidas en los centrómeros.

cromosomas sexuales: el par de cromosomas que normalmente determina el sexo de un organismo; por ejemplo, los cromosomas X y Y en los mamíferos.

cruza de prueba: experimento de crianza en el cual un individuo que presenta el fenotipo dominante se aparee con un individuo que es homocigoto recesivo para el mismo gen. La proporción de progenie con fenotipo dominante *versus* el recesivo puede usarse para determinar el genotipo del individuo con el fenotipo dominante.

cubierta seminal: cubierta más exterior de una semilla; es delgada, resistente e impermeable y se forma a partir de los tegumentos del óvulo.

cuello de botella de población: forma de deriva genética en la que una población se vuelve extremadamente pequeña; podría dar pie a diferencias en las frecuencias alélicas en comparación con otras poblaciones de la especie y a una pérdida de variabilidad genética.

cuello del útero: anillo de tejido conectivo situado en el extremo exterior del útero y que conduce hacia la vagina.

cuerda vocal: cada una de las dos bandas de tejido elástico que se extienden transversalmente en la abertura de la laringe y producen sonido cuando se hace pasar aire forzado entre ellas. Ciertos músculos alteran la tensión de las cuerdas vocales y controlan el tamaño y la forma de la abertura, lo que a la vez determina si se produce o no sonido y qué tono tendrá.

cuerpo basal:

cuerpo calloso: banda de axones que comunica los dos hemisferios cerebrales de los vertebrados.

cuerpo celular: parte de la neurona que contiene la mayoría de los organelos celulares comunes; por lo general es un sitio de integración de los estímulos que llegan a la neurona.

cuerpo de Barr: cromosoma X inactivado de las células de los mamíferos hembra, que tienen dos cromosomas X; normalmente se observa como una mancha oscura en el núcleo.

cuerpo fructífero: estructura reproductora formadora de esporas de ciertos protistas, bacterias y hongos.

cuerpo lúteo: en el ovario de los mamíferos, estructura que se forma a partir del folículo después de la ovulación y que secreta las hormonas estrógeno y progesterona.

cuerpo polar: en la ovogénesis, célula pequeña que contiene un núcleo, pero prácticamente ningún citoplasma; se produce en la primera división meiótica del ovocito primario.

curva de supervivencia: curva que se obtiene cuando el número de individuos de cada edad en la población se grafica contra su edad, que por lo regular se expresa como un porcentaje de su esperanza de vida máxima.

curva J: curva de crecimiento, con forma de J, de una población en crecimiento exponencial en la que números crecientes de individuos se unen a la población durante cada periodo sucesivo.

curva S: curva de crecimiento, con forma de S, que describe a una población de organismos longevos que se introducen en una área nueva; consiste en un periodo inicial de crecimiento exponencial seguido de un índice de crecimiento decreciente y, por último, estabilidad relativa en torno a un índice de crecimiento de cero.

cutícula: recubrimiento céreo o graso de las superficies expuestas de las células epidérmicas de muchas plantas terrestres; favorece la retención de agua.

danza ondulante: forma simbólica de comunicación empleada por las abejas recolectoras para comunicar la ubicación de una fuente de alimentos a sus compañeras de colmena.

de vida libre: no parásito.

deficiencia inmunitaria combinada grave (SCID): trastorno en el que no se forman células inmunitarias, o se forman muy pocas; el sistema inmunitario no puede responder adecuadamente a la invasión de organismos patógenos y el individuo es muy vulnerable a infecciones comunes.

deforestación: tala excesiva de árboles, principalmente en las selvas tropicales, para desmontar tierras destinadas a la agricultura.

demografía: estudio de los cambios en la población humana. Los demógrafos, con la ayuda de complejas tablas de vida, miden y comparan diversos aspectos de las poblaciones humanas en distintos países y regiones del mundo.

dendrita: ramificación que se extiende hacia afuera desde el cuerpo celular de una neurona; se especializa en responder a las señales provenientes del medio externo o de otras neuronas.

dependiente de la densidad: todo factor, como la depredación, que limita el tamaño de una población con más eficacia a medida que la densidad de población aumenta.

deposición ácida: sedimentación de ácido nítrico o sulfúrico, ya sea disuelto en la lluvia (lluvia ácida) o en forma de partículas secas, como resultado de la producción de óxidos de nitrógeno o dióxido de azufre por combustión, principalmente de combustibles fósiles.

depredación: el acto de matar y comer otro organismo vivo.

depredador: organismo que mata y come otros organismos.

deriva genética: cambio en la frecuencia de los alelos de una población pequeña por razones puramente fortuitas.

dermis: capa de piel que está debajo de la epidermis; se compone de tejido conectivo y contiene vasos sanguíneos, músculos, terminaciones nerviosas y glándulas.

desarrollo: proceso por el cual un organismo se convierte en adulto a partir de un óvulo fecundado y que concluye con la muerte.

desarrollo directo: ruta de desarrollo en la que el hijo nace como una versión en miniatura del adulto y su forma corporal no cambia radicalmente al crecer y madurar.

desarrollo indirecto: ruta de desarrollo en la que un descendiente sufre cambios radicales en su forma corporal a medida que madura.

desarrollo sustentable: actividades humanas que satisfacen necesidades presentes para obtener una calidad razonable de vida sin exceder los límites de la naturaleza y sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades.

descomponedor: organismo, generalmente un hongo o una bacteria, que digiere material orgánico secretando enzimas digestivas en el medio; al mismo tiempo, el proceso libera nutrientes hacia el medio.

desertificación: propagación de los desiertos como resultado de las actividades humanas.

desierto: bioma en el que caen menos de 25 a 50 centímetros (de 10 a 20 pulgadas) de lluvia cada año.

desmosoma: fuerte empalme de una célula con otra que fija células adyacentes entre sí.

desnaturalización: disrupción de la estructura secundaria y/o terciaria de una proteína, dejando intacta su secuencia de aminoácidos. Las proteínas desnaturalizadas ya no pueden desempeñar sus funciones biológicas.

desove: método de fecundación externa en el que los progenitores (macho y hembra) liberan gametos en el agua, y los espermatozoides deben nadar para llegar a los óvulos.

detritívoro: miembro de un variado grupo de organismos, que comprende desde gusanos hasta buitres, que vive de los desperdicios y restos muertos de otros organismos.

deuterostoma: animal que presenta una modalidad de desarrollo embrionario en la que el celoma se forma a partir de evaginaciones del intestino, como en los equinodermos y los cordados.

diabetes mellitus: enfermedad que se caracteriza por defectos en la producción, liberación o recepción de insulina y por altos niveles de glucosa en la sangre que fluctúan con la ingesta de azúcar.

diafragma 1 en el sistema respiratorio, músculo con forma de domo que constituye el piso de la cavidad torácica y que, cuando se contrae, tira de sí mismo hacia abajo para agrandar la cavidad torácica e introducir aire en los pulmones. **2** En un sentido reproductivo, capuchón de caucho anticonceptivo que ajusta perfectamente sobre el cuello del útero e impide la entrada de espermatozoides, con lo cual se imposibilita el embarazo.

diálisis: difusión pasiva de sustancias a través de una membrana semipermeable artificial.

diatomea: protista que incluye formas fotosintetizadoras con cubiertas externas vítreas compuestas de dos partes; las diatomeas son

importantes organismos fotosintetizadores de aguas dulces y saladas.

dicotiledónea: planta con flores que se caracteriza por tener embriones con dos cotiledones, u hojas seminales, modificados para almacenar alimento.

diferenciación: proceso mediante el cual células relativamente poco especializadas, en particular de embriones, se especializan para convertirse en tipos de tejidos determinados.

difosfato de adenosina (ADP): molécula compuesta del azúcar ribosa, la base adenina y dos grupos fosfato; componente del ATP.

difusión: desplazamiento neto de partículas de una región de alta concentración de ellas a una región de baja concentración, inducido por el gradiente de concentración; puede llevarse a cabo dentro de un fluido en su totalidad, o a través de una barrera, como una membrana, por ejemplo.

difusión facilitada: difusión de moléculas a través de una membrana, asistida por poros de naturaleza proteínica o transportadores integrados a la membrana.

difusión simple: difusión de agua, gases disueltos o moléculas solubles en lípidos a través de la bicapa fosfolipídica de una membrana celular.

digestión: proceso de degradación física y química de los alimentos para convertirlos en moléculas capaces de ser absorbidas por las células.

digestión extracelular: degradación física y química del alimento que se lleva a cabo fuera de una célula, normalmente en una cavidad digestiva.

digestión intracelular: degradación química del alimento dentro de células individuales.

dinoflagelado: protista que incluye formas fotosintetizadoras con dos flagelos que se proyectan a través de placas que semejan una armadura; los dinoflagelados son abundantes en los océanos; se reproducen con rapidez y dan origen a las "mareas rojas".

dioico: término que se aplica a los organismos en que los gametos masculino y femenino son producidos por individuos diferentes, no por uno solo.

diploide: célula que tiene pares de cromosomas homólogos.

disacárido: carbohidrato que se forma por el enlace covalente de dos monosacáridos.

disco embrionario: en el desarrollo embrionario de los humanos, es el grupo de células planas y de dos capas que separa la cavidad amniótica del saco vitelino.

disco intervertebral: cojincillo de cartílago entre dos vértebras que actúa como amortiguador de impactos.

disolvente: líquido capaz de disolver (dispersar de manera uniforme) otras sustancias en sí mismo.

dispositivo intrauterino (DIU): pequeña espira, objeto curvo de forma irregular o escudo de cobre o plástico que se inserta en el útero; método anticonceptivo que actúa irritando el revestimiento del útero para que no reciba el embrión.

disruptores endocrinos: contaminantes ambientales que interfieren con la función endocrina, en muchos casos trastornando la acción de las hormonas sexuales.

distribución aleatoria: distribución característica de poblaciones en la que la probabilidad de encontrar un individuo es igual en todas las partes de una área.

distribución independiente: véase *ley de distribución independiente de los caracteres*.

distribución agrupada: distribución característica de las poblaciones en las que los individuos se asocian en grupos; éstos pueden ser sociales o estar basados en la necesidad de un recurso localizado.

distribución uniforme: distribución característica de una población que tiene un reparto relativamente regular de los individuos, comúnmente como resultado de un comportamiento territorial.

divergencia: condición en la que un número reducido de neuronas aportan estímulos a un número mayor de células.

división: categoría taxonómica comprendida dentro de un reino y constituida por clases afines de plantas, hongos, bacterias o protistas parecidos a plantas.

división celular: división de una célula en dos; es el proceso de reproducción celular.

división celular meiótica: meiosis seguida de citocinesis.

división celular mitótica: mitosis seguida de citocinesis.

división parasimpática: división del sistema nervioso autónomo que produce respuestas en buena parte involuntarias relacionadas con el mantenimiento de funciones normales del cuerpo, como la digestión.

división simpática: división del sistema nervioso autónomo que produce respuestas en gran medida involuntarias para preparar al cuerpo ante situaciones de tensión o que demandan mucha energía.

DNA helicasa: enzima que ayuda a desenroscar la doble hélice de DNA durante la duplicación de este último.

DNA ligasa: enzima que une los azúcares y fosfatos en una cadena de DNA para formar un esqueleto continuo de azúcar-fosfato.

DNA polimerasa: enzima que enlaza los nucleótidos de DNA para formar una cadena continua, con base en una cadena de DNA preexistente que se usa como plantilla o molde.

DNA recombinante: DNA que ha sido alterado por la recombinación de genes de un organismo distinto, por lo regular de otra especie.

doble enlace covalente: enlace covalente en el que dos átomos comparten dos pares de electrones.

doble hélice: forma de la molécula de DNA de doble cadena; es como una escalerilla retorcida a lo largo con forma de sacacorchos.

dominancia apical: fenómeno mediante el cual el extremo de un brote en crecimiento inhibe el retoño de yemas laterales.

dominancia incompleta: patrón hereditario en el cual el fenotipo heterocigótico es intermedio entre los dos fenotipos homocigóticos.

dominante: alelo capaz de determinar en su totalidad el fenotipo de los heterocigotos, de modo que resulta imposible distinguir a éstos de los individuos homocigóticos con respecto al alelo; en los heterocigotos se enmascara totalmente la expresión del otro alelo (el recesivo).

dominio: la categoría más amplia de clasificación de los organismos; los organismos se clasifican en tres dominios: Bacteria, Archaea y Eukarya.

dopamina: transmisor cerebral que tiene acciones principalmente inhibitorias. La pérdida de neuronas que contienen dopamina da origen a la enfermedad de Parkinson.

dormancia o letargo: estado en el que un organismo no crece ni se desarrolla; se caracteriza generalmente por una reducción de la activi-

dad metabólica y resistencia a condiciones ambientales adversas.

dorsal: referente a la superficie superior, posterior o más alta de un animal cuya cabeza está orientada hacia delante.

ducha vaginal: lavado de la vagina después del coito, en un intento por arrastrar los espermatozoides antes que entren en el útero; es un método anticonceptivo poco eficaz.

duplicación del DNA: proceso de copiado de la molécula de DNA de doble cadena; produce dos dobles hélices idénticas de DNA.

duramen: xilema más viejo que contribuye a la resistencia del tronco de los árboles.

ecdisona: hormona esteroide que inicia la muda en los insectos y otros artrópodos.

ecolocalización: uso de sonidos ultrasónicos, que rebotan en los objetos cercanos, para generar una "imagen" auditiva del medio circundante; la utilizan los murciélagos y los delfines.

ecología: estudio de las relaciones entre los organismos y con su entorno inanimado.

ecosistema: todos los organismos comprendidos en una región definida, junto con su entorno inanimado.

ectodermo: la capa más externa de tejido embrionario que da origen a estructuras como el pelo, la epidermis y el sistema nervioso.

ectotérmico: un animal obtiene la mayor parte de su calor corporal de su ambiente. Las temperaturas corporales de los ectotérmicos varían con la temperatura ambiental.

efecto fundador: tipo de deriva genética en el que una población aislada fundada por un número reducido de individuos desarrolla frecuencias alélicas muy diferentes de las de la población progenitora, como resultado de la inclusión fortuita de cantidades desproporcionadas de ciertos alelos en los fundadores.

efecto invernadero: proceso en el que ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, atrapan la energía de la luz solar en forma de calor, en la atmósfera de un planeta; el vidrio de un invernadero produce el mismo efecto. El resultado, el calentamiento global, se intensifica debido a la producción de estos gases por los seres humanos.

efector: parte del cuerpo (normalmente un músculo o una glándula) que ejecuta respuestas bajo la dirección del sistema nervioso.

eficacia biológica: éxito reproductivo de un organismo; se expresa comúnmente en relación con el éxito reproductivo promedio de todos los individuos de la misma población.

eficacia biológica inclusiva: éxito reproductivo de todos los organismos que tienen un alelo determinado; normalmente se expresa en relación con el éxito reproductivo promedio de todos los individuos de la misma población; compárese con *eficacia biológica*.

El Niño: reducción en la intensidad de los vientos del noreste que causa una alteración generalizada de los patrones del tiempo meteorológico.

electrocardiograma (ECG): resultado de la lectura de un instrumento que registra la actividad eléctrica generada por los potenciales de acción del músculo cardíaco. Estas señales eléctricas se miden por medio de electrodos colocados en lugares específicos de la superficie del cuerpo.

electroforesis en gel: técnica en la que se colocan moléculas (como fragmentos de DNA) en pistas restringidas de una lámina fina de material gelatinoso y se exponen a un campo eléctrico; las moléculas migran con una rapidez que

está determinada por ciertas características, como el tamaño.

electrolocalización: producción de señales eléctricas de alta frecuencia mediante un órgano eléctrico situado delante de la cola de los peces débilmente eléctricos; se utiliza para detectar y localizar objetos cercanos.

electrón: partícula subatómica presente en una capa electrónica que rodea el núcleo de un átomo; posee una unidad de carga negativa y muy poca masa.

elemento: sustancia que no se puede descomponer ni transformar en una sustancia más simple a través de medios químicos ordinarios.

elemento de vaso: una de las células de un vaso de xilema; alargada, muerta en la madurez, con gruesas paredes celulares laterales lignificadas para brindar sostén, pero con muchas perforaciones o sin pared en los extremos.

elemento del tubo criboso: una de las células de un tubo criboso, que forman el floema.

embrión: en los animales, etapas del desarrollo que se inician con la fecundación del óvulo y culminan con la eclosión o el nacimiento; en los mamíferos, en particular, etapas iniciales en las que el animal en desarrollo aún no se asemeja al adulto de su especie.

emigración: migración de individuos fuera de una región.

energónico(a): dicese de una reacción química que necesita una aportación de energía para llevarse a cabo; reacción "cuesta o corriente arriba".

endocitosis: proceso por el que la membrana plasmática fagocita el material extracelular y forma sacos envueltos en membrana que entran en el citoplasma e introducen el material en la célula.

endocitosis mediada por receptores: toma selectiva de moléculas del fluido extracelular por unión a un receptor situado en una fosa recubierta de la membrana plasmática; luego, la fosa recubierta se estrangula para formar una vesícula que se introduce en el citoplasma.

endodermis: la capa más interna de células pequeñas y estrechamente ajustadas de la corteza de la raíz, que forman un anillo en torno del cilindro vascular.

endodermo: la capa tisular embrionaria más interna que da origen a estructuras como el revestimiento de los tractos digestivo y respiratorio.

endoesqueleto: esqueleto rígido interno con articulaciones flexibles que permiten el movimiento.

endometrio: revestimiento nutritivo interior del útero.

endorfina: miembro de un grupo de neuromoduladores cerebrales peptídicos de los vertebrados que, al reducir la sensación de dolor, imita en parte la acción de los narcóticos opiáceos.

endospermo: tejido triploide que almacena alimento en las semillas de las plantas con flores para nutrir al embrión vegetal en desarrollo.

endospora: estructura protectora en reposo de ciertas bacterias con forma de bastón que soporta las condiciones ambientales desfavorables.

endotérmico: animal que obtiene la mayor parte de su calor corporal de las actividades metabólicas. La temperatura corporal de un animal endotérmico permanece relativamente constante dentro de un intervalo de temperaturas ambientales.

energía: capacidad para realizar trabajo.

energía cinética: la energía de movimiento; incluye luz, calor, movimiento mecánico y electricidad.

energía de activación: en una reacción química, la energía necesaria para obligar a las capas electrónicas de los reactivos a juntarse antes de la formación de los productos.

energía potencial: energía “almacenada”, normalmente, energía química o energía de posición dentro de un campo gravitacional.

enfermedad autoinmune: trastorno en el que el sistema inmunitario genera anticuerpos contra las células del propio cuerpo.

enfermedad de Huntington: trastorno genético incurable, cuya causa es un alelo dominante, que provoca un deterioro cerebral progresivo con pérdida de coordinación motriz, movimientos agitados, alteraciones de la personalidad y finalmente la muerte.

enfermedad de transmisión sexual: enfermedad que se transmite de una persona a otra por contacto sexual.

enfisema: afección en la que los alveolos pulmonares se tornan frágiles y se rompen, lo que reduce el área para el intercambio de gases.

enlace covalente: enlace químico entre átomos en el que se comparten electrones.

enlace covalente no polar: enlace covalente en el que los electrones se comparten equitativamente.

enlace covalente polar: enlace covalente en el que los electrones se comparten de forma desigual, de manera que un átomo es relativamente negativo y el otro es relativamente positivo.

enlace covalente sencillo: enlace covalente en el que dos átomos comparten un par de electrones.

enlace covalente triple: enlace covalente en el que dos átomos comparten tres pares de electrones.

enlace iónico: enlace químico que se forma debido a la atracción eléctrica entre iones con carga positiva y iones con carga negativa.

enlace peptídico: enlace covalente entre el nitrógeno del grupo amino de un aminoácido y el carbono del grupo carboxilo de un segundo aminoácido; une dos aminoácidos en un péptido o una proteína.

enlace químico: fuerza de atracción entre átomos vecinos que los mantiene unidos en una molécula.

entrecruzamiento: intercambio de segmentos correspondientes de las cromátidas de dos cromosomas homólogos durante la meiosis.

entrenudo: parte de un tallo comprendida entre dos nudos.

entropía: medida del grado de aleatoriedad y desorden en un sistema.

envejecimiento: acumulación gradual de daño aleatorio a las moléculas biológicas esenciales, en particular el DNA, que comienza en una etapa muy temprana de la vida. Con el tiempo, la capacidad del cuerpo para reparar el daño se ve excedida, lo que provoca deterioro en las funciones a todos niveles, desde las células hasta los tejidos y órganos.

envoltura nuclear: sistema de doble membrana que rodea al núcleo de las células eucarióticas; la membrana externa suele continuar en el retículo endoplásmico.

enzima: catalizador de naturaleza proteica que acelera reacciones biológicas específicas.

enzima de restricción: enzima que se aísla generalmente de bacterias y que corta DNA de doble cadena en una secuencia de nucleótidos específica; la secuencia de nucleótidos cortada difiere según la enzima de restricción.

eosinófilo: tipo de leucocito que converge hacia los invasores parasitarios y libera sustancias que los exterminan.

epicótilo: parte del brote embrionario situado arriba de los cotiledones, pero debajo de la punta del brote.

epidermis: en los animales, tejido epitelial especializado que forma la capa externa de la piel; en las plantas, la capa celular más externa de una hoja, una raíz joven o un tallo tierno.

epidídimo: serie de tubos que tienen comunicación con los túbulos seminíferos de los testículos y reciben espermia de ellos.

epiglotis: lengüeta de cartilago de la parte baja de la laringe que cubre el orificio de ésta durante la deglución; dirige el alimento hacia el esófago.

equilibrio genético: estado en el que las frecuencias de alelos y la distribución de genotipos de una población no cambian de una generación a la siguiente.

equilibrio químico: condición en la que la reacción “directa” que convierte los reactivos en productos se lleva a cabo con la misma rapidez que la reacción “inversa”, la cual transforma los productos en reactivos, de forma tal que no se altera la composición química.

eritroblastosis fetal: afección en la cual los eritrocitos de un bebé Rh positivo recién nacido son atacados por los anticuerpos que produce su madre Rh negativa, lo que provoca ictericia y anemia. Dos posibles consecuencias de un tratamiento inadecuado son retraso mental y muerte.

eritrocito: glóbulo rojo de la sangre que participa activamente en el transporte de oxígeno y contiene el pigmento rojo hemoglobina.

eritropoyetina: hormona que producen los riñones en respuesta a una deficiencia de oxígeno, lo que estimula la producción de eritrocitos por la médula ósea.

escala pH: escala, con valores de 0 a 14, que se usa para medir la acidez relativa de una solución; una solución con pH = 7 es neutra, un pH de 0 a 7 es ácido y de 7 a 14, alcalino; cada unidad de la escala representa un cambio de 10 veces en la concentración de H⁺.

esclerénquima: tipo de célula vegetal con paredes celulares secundarias gruesas y endurecidas, que generalmente muere como última etapa de la diferenciación y brinda sostén y protección al cuerpo de la planta.

esclerótica: capa blanca y fibrosa de tejido conectivo que cubre el exterior del globo ocular y forma la parte blanca del ojo.

escroto: bolsa de piel que contiene los testículos en los mamíferos macho.

esfínter pilórico: músculo circular situado en la base del estómago; regula el paso de quimo al intestino delgado.

esfínter precapilar: anillo de músculo liso entre una arteriola y un capilar que regula el flujo de sangre hacia el lecho capilar.

esófago: conducto muscular por el que pasa el alimento desde la faringe al estómago en los seres humanos y en otros mamíferos.

especiación: proceso de formación de especies en el que una sola especie se divide en dos o más.

especiación alopatría: especiación que ocurre cuando dos poblaciones están separadas por una barrera física que impide el flujo de genes entre ellas (aislamiento geográfico).

especiación simpátrica: especiación que se da en poblaciones que no están divididas físicamente; por lo regular se debe a aislamiento

ecológico o a aberraciones cromosómicas (como poliploidía).

especie: la unidad básica de la clasificación taxonómica consistente en una población o una serie de poblaciones de organismos estrechamente relacionados y similares. En los organismos de reproducción sexual, una especie se define como una población o serie de poblaciones de organismos que se cruzan libremente en condiciones naturales, pero que no se cruzan con miembros de otras especies.

especie clave: especie cuya influencia sobre la estructura comunitaria es mayor de lo que sugeriría su abundancia.

especie en peligro crítico de extinción: especie que enfrenta un riesgo extremo de extinción en estado silvestre y en el futuro inmediato.

especie en peligro de extinción: especie que enfrenta un riesgo muy alto de extinción en estado silvestre y en el futuro inmediato.

especie exótica: especie extraña que se introduce en un ecosistema donde no evolucionó; las especies de este tipo pueden prosperar y desarrollarse mejor que las especies nativas.

especie invasora: organismos con un elevado potencial biótico que se introducen (deliberadamente o por accidente) en ecosistemas donde no evolucionaron y donde encuentran poca resistencia ambiental; tienden a desplazar a las especies nativas.

especie vulnerable: especie que enfrenta un elevado riesgo de extinción en el mediano plazo.

especies amenazadas: todas las especies clasificadas como en peligro de extinción, en peligro crítico de extinción o vulnerables.

espermátida: célula haploide derivada del espermatozoido secundario por meiosis II; al diferenciarse, da origen al espermatozoido maduro.

espermatozoido primario: célula diploide, derivada del espermatogonio por crecimiento y diferenciación, que sufre meiosis para producir cuatro espermatozoides.

espermatozoido secundario: célula haploide grande derivada por meiosis I del espermatozoido primario diploide.

espermatóforo: en una variación de la fecundación interna en algunos animales, los machos guardan sus espermatozoides en un recipiente que puede insertarse en el tracto reproductor femenino.

espermatogénesis: proceso por el cual se forman los espermatozoides.

espermatozoido: célula diploide que reviste las paredes de los túbulos seminíferos y que da origen a un espermatozoido primario.

espermatozoido: el gameto masculino haploide, normalmente pequeño, móvil y con poco citoplasma en su interior.

espermicida: sustancia que mata espermatozoides; se usa para fines anticonceptivos.

espícula: subunidad del endoesqueleto de las esponjas; está hecha de proteína, sílice o carbonato de calcio.

espiná: excrecencia dura y puntiaguda de un tallo; normalmente es una rama modificada.

espiráculo: abertura en el segmento abdominal de los insectos, a través del cual ingresa aire en la tráquea.

espirilo: bacteria en forma de espiral.

espora: en las plantas y los hongos, célula reproductora haploide que puede desarrollarse para convertirse en un adulto sin fusionarse con otra célula (es decir, sin fecundación). En las bacterias y algunos otros organismos, estado del ciclo de vida que es resistente a las condiciones ambientales extremas.

esporangio: estructura en la que se producen las esporas.

esporofito: forma diploide de una planta que produce esporas haploides asexuales por meiosis.

esporozoarios: protistas parásitos con un ciclo de vida complejo en el que por lo regular interviene más de un huésped; se llaman así por su capacidad para formar esporas infecciosas. Un esporozoario muy conocido (género *Plasmodium*) causa el paludismo.

esqueleto: estructura de soporte del cuerpo, sobre el cual actúan los músculos para cambiar la configuración del cuerpo; puede ser externo o interno.

esqueleto apendicular: parte del esqueleto que comprende los huesos de las extremidades y sus uniones al esqueleto axial; cinturas pectoral y pelviana, los brazos, piernas, manos y pies.

esqueleto axial: esqueleto que constituye el eje del cuerpo; incluye el cráneo, la columna vertebral y la caja torácica.

esqueleto de azúcar-fosfato: parte importante de la estructura del DNA; se forma por la unión del azúcar de un nucleótido con el fosfato del nucleótido adyacente en una cadena de DNA.

esqueleto hidrostático: tipo de organismo que utiliza un fluido contenido en compartimientos del cuerpo para brindar soporte y masa contra la que los músculos pueden contraerse.

estambre: estructura reproductora masculina de la flor; consta de filamento y antera, en la que se desarrollan granos de polen.

esterilidad híbrida: reducción de la fecundidad (por lo regular esterilidad absoluta) de los descendientes híbridos de dos especies.

esterilización: método anticonceptivo, por lo general definitivo, en el que se interrumpen las vías por las que normalmente pasan los espermatozoides (conducto deferente) o el óvulo (oviductos); es la forma más común de control de la natalidad.

esteroide: lípido que consiste de cuatro anillos de carbono fusionados, con varios grupos funcionales unidos.

estigma: extremo de un carpelo que captura el polen.

estilo: filamento que conecta el estigma de un carpelo con el ovario que se encuentra en su base.

estoma: abertura ajustable en la epidermis de una hoja, rodeada por un par de células oclusivas, que regula la difusión de dióxido de carbono y agua hacia el interior y el exterior de la hoja.

estolón: tallo que crece horizontalmente y podría dar origen a nuevas plantas en nudos que tocan el suelo.

estómago: bolsa muscular entre el esófago y el intestino delgado, donde se almacena el alimento que se desintegra mecánicamente; sitio donde se inicia la digestión de las proteínas.

estría primitiva: en reptiles, aves y mamíferos, la región del ectodermo del disco embrionario de dos capas a través del cual migran células para formar el mesodermo.

estrógeno: en los vertebrados, hormona sexual femenina que producen las células del folículo del ovario; estimula el desarrollo del folículo, la ovogénesis, el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios y el crecimiento del revestimiento uterino.

estrógenos ambientales: sustancias químicas del ambiente que simulan algunos de los efectos de los estrógenos en los animales.

estroma: el material semifluido dentro de los cloroplastos, donde están incrustados los *grana*.

estructura cuaternaria: la compleja estructura tridimensional de una proteína compuesta por más de una cadena peptídica.

estructura de edades: distribución de machos y hembras en una población de acuerdo con grupos de edad.

estructura primaria: la secuencia de aminoácidos de una proteína.

estructura secundaria: estructura regular repetitiva que adoptan las cadenas proteicas unidas por puentes de hidrógeno; por ejemplo, en una hélice.

estructura terciaria: la compleja estructura tridimensional de una sola cadena peptídica; mantiene su forma gracias a puentes disulfuro entre cisteínas.

estructura vestigial: estructura que no tiene función aparente, pero es homóloga a estructuras funcionales en organismos relacionados y es prueba de la evolución.

estructuras análogas: estructuras con funciones similares y apariencia superficialmente semejante, pero con diferente anatomía, como las alas de los insectos y de las aves. Las semejanzas se deben a presiones ambientales similares, no a una ascendencia común.

estructuras homólogas: estructuras que pueden diferir en cuanto a función, pero que tienen una anatomía similar, al parecer, porque los organismos que las poseen descienden de antepasados comunes.

estuario: zona pantanosa que se forma donde un río desemboca en el océano; en los estuarios la salinidad es muy variable, pero es menor que en el agua de mar y mayor que en el agua dulce.

etileno: hormona vegetal que favorece la maduración de los frutos y la caída de hojas y frutos.

etología: estudio del comportamiento de los animales en condiciones naturales o casi naturales.

eucariota: organismo cuyas células son eucarióticas; las plantas, los animales, los hongos y los protistas son eucariotas.

eucariótico(a): dicese de las células de organismos del dominio Eukarya (plantas, animales, hongos y protistas). Las células eucarióticas tienen material genético encerrado en un núcleo envuelto en una membrana y contienen otros organelos envueltos en membranas.

euglénido: protista que se caracteriza por tener uno o más flagelos, que asemejan látigos y se usan para la locomoción, y un fotorreceptor que detecta la luz. Los euglénidos son fotosintéticos, pero, si se les priva de clorofila, algunos de ellos son capaces de nutrirse de manera heterótrofa.

Eukarya: uno de los tres dominios de la vida; comprende todos los eucariotas (plantas, animales, hongos y protistas).

evolución: proceso continuo de transformación de las especies a través de cambios en las generaciones sucesivas y a partir de formas de vida ya existentes; en sentido estricto, todo cambio en las proporciones de diferentes genotipos en una población, de una generación a la siguiente.

evolución convergente: evolución independiente de estructuras semejantes entre organismos no emparentados, como resultado de presiones ambientales similares; véase *estructuras análogas*.

evolución cultural: cambios que se producen en el comportamiento de una población de animales, en especial de seres humanos, en virtud del

aprendizaje de comportamientos adquiridos por miembros de generaciones precedentes.

evolución divergente: cambio evolutivo en el que las diferencias entre dos linajes se vuelven más pronunciadas con el paso del tiempo.

evolución prebiótica: evolución antes de que existiera la vida; en especial, la síntesis abiótica de moléculas orgánicas.

excreción: eliminación de sustancias residuales del organismo; puede llevarse a cabo desde el sistema digestivo, las glándulas cutáneas, el sistema urinario o los pulmones.

exergónico(a): dicese de una reacción química que libera energía, ya sea en forma de calor o de mayor entropía; es una reacción “corriente abajo”.

exhalación: acto de eliminar aire de los pulmones como resultado de un relajamiento de los músculos respiratorios.

exocitosis: proceso por el que se encierra material intracelular en un saco de paredes membranosas que se desplaza hasta la membrana plasmática, se fusiona con ésta y libera el material fuera de la célula.

exoesqueleto: esqueleto rígido externo que sostiene el cuerpo, protege los órganos internos y tiene articulaciones flexibles que permiten el movimiento.

exón: segmento de DNA de un gen eucariótico que codifica los aminoácidos de una proteína (véase también *intrón*).

experimento: en el método científico, puesta a prueba de una hipótesis mediante observaciones controladas que llevan a una conclusión.

extensor: músculo que extiende una articulación.

extinción: muerte de todos los miembros de una especie.

extinción masiva: extinción relativamente súbita de muchas formas de vida como resultado de un cambio ambiental. El registro fósil revela cinco extinciones masivas en nuestro tiempo geológico.

factor Rh: proteína presente en los glóbulos rojos de algunas personas (Rh-positivas), pero no en los de otras (Rh-negativas); la exposición de individuos Rh-negativos a sangre Rh-positiva causa la producción de anticuerpos para los glóbulos Rh-positivos.

fagocitosis: tipo de endocitosis en la que extensiones de la membrana plasmática envuelven a partículas extracelulares y las transportan al interior de la célula.

familia: categoría taxonómica comprendida dentro de un orden y que se compone de géneros afines.

faringe: en los vertebrados, cámara situada en la parte posterior de la boca y que forma parte de los sistemas digestivo y respiratorio; en algunos invertebrados, porción del tubo digestivo localizado inmediatamente detrás de la boca.

fecundación: fusión de los gametos haploides masculino y femenino para formar un cigoto.

fecundación cruzada: unión del espermatozoide y el óvulo de dos individuos de la misma especie.

fecundación doble: en las plantas con flores, fusión de dos núcleos de espermatozoides con los núcleos de dos células del gametofito femenino. Un núcleo de espermatozoide se fusiona con el óvulo para formar el cigoto; el segundo núcleo de espermatozoide se fusiona con los dos núcleos haploides de la célula endospermática primaria para formar una célula endospermática triploide.

fecundación externa: unión del espermatozoide y el óvulo fuera del cuerpo de uno u otro de los progenitores.

fecundación interna: unión del espermatozoide y el óvulo dentro del cuerpo de la hembra.

fenotipo: características físicas de un organismo; se pueden definir como apariencia externa (por ejemplo, el color de las flores), como conducta o en términos moleculares (como glucoproteínas en los glóbulos rojos).

fermentación: reacciones anaeróbicas que transforman el ácido pirúvico producido por glucólisis en ácido láctico o alcohol y CO_2 .

feromona: sustancia producida por un organismo que altera la conducta o el estado fisiológico de otro miembro de la misma especie.

fertilidad en el nivel de reposición (RLF): tasa de nacimiento promedio con la que una población reproductora se reemplaza exactamente durante su vida.

feto: etapas tardías del desarrollo embrionario de los mamíferos (después del segundo mes en el caso de los seres humanos), cuando el animal en desarrollo comienza a asemejarse al adulto de la especie.

fibra muscular: célula muscular individual.

fibras de Purkinje: células especializadas del músculo cardíaco que conducen rápidamente señales eléctricas hacia arriba dentro de las paredes ventriculares, provocando su contracción simultánea.

fibrilación: contracciones rápidas, mal coordinadas e ineficaces de las células del músculo cardíaco.

fibrina: proteína coagulante que se forma en la sangre en respuesta a una herida; se une a otras moléculas de fibrina y constituye una matriz en torno a la cual se forma un coágulo sanguíneo.

fibrinógeno: forma inactiva de la proteína coagulante fibrina. El fibrinógeno se convierte en fibrina gracias a la enzima trombina, que se produce como respuesta a una lesión.

fibrosis quística: trastorno hereditario que se caracteriza por la acumulación de sal en los pulmones y la producción de una mucosidad espesa y pegajosa que obstruye las vías respiratorias, restringe el intercambio de aire y favorece las infecciones.

ficocianina: pigmento azul o púrpura que se encuentra en las membranas de los cloroplastos y sirve como molécula auxiliar para recolectar luz en los fotosistemas tilacoides.

fiebre: elevación de la temperatura corporal provocada por sustancias químicas (pirógenos) que liberan los leucocitos en respuesta a una infección.

fijación de carbono: etapas iniciales del ciclo C_3 , en las que el dióxido de carbono reacciona con el bisfosfato de ribulosa para formar una molécula orgánica estable.

fijación de nitrógeno: proceso que combina nitrógeno atmosférico con hidrógeno para formar amonio (NH_4^+).

filamento: en las flores, el pedúnculo del estambre, que porta una antera en la punta.

filamento delgado: en el sarcómero, cadena proteica que interactúa con filamentos gruesos para producir contracción muscular; se compone primordialmente de actina, con proteínas accesorias.

filamento grueso: en el sarcómero, haz de miosina que interactúa con filamentos delgados para producir contracción muscular.

filamento intermedio: parte del citoesqueleto de las células eucarióticas que probablemente

tiene como función principal el sostén; se compone de varios tipos de proteínas.

filogenia: la historia evolutiva de un grupo de especies.

filtráquea o pulmón libro: estructura compuesta de capas delgadas de tejido, semejantes a las páginas de un libro, que se encuentra encerrada en una cámara y sirve como órgano respiratorio de ciertos tipos de arácnidos.

filtración: dentro de la cápsula de Bowman de cada nefrona del riñón, proceso por el que se bombea la sangre a presión, a través de los capilares permeables de los glomérulos para forzar la salida de agua, residuos disueltos y nutrientes.

filtrado: líquido que se obtiene de una filtración; en los riñones, el líquido producto de la filtración de la sangre a través de los capilares glomerulares.

fimbria: en los mamíferos hembra, prolongaciones ciliadas del oviducto, parecidas a dedos, que empujan el óvulo desde el ovario hacia el oviducto durante la ovulación.

fiisión: reproducción asexual que tiene lugar cuando un cuerpo se divide en dos organismos más pequeños y completos.

fiisión binaria: proceso por el cual una bacteria se divide a la mitad y produce dos descendientes idénticos.

fitocromo: pigmento vegetal sensible a la luz que media muchas respuestas de las plantas a la luz, como la floración, el alargamiento de los tallos y la germinación de las semillas.

fitoplancton: protistas fotosintetizadores que abundan en los ambientes marinos y de agua dulce.

flagelo: extensión larga de la membrana plasmática, parecida a un pelo; en las células eucarióticas, contiene microtúbulos dispuestos según un patrón de $9 + 2$. El movimiento de los flagelos impulsa a ciertas células en los medios líquidos.

flexor: músculo que flexiona (reduce el ángulo de) una articulación.

floema: tejido conductor de las plantas vasculares que transporta verticalmente una solución concentrada de azúcares en la planta.

floema primario: floema de tallos jóvenes producidos a partir de un meristemo apical.

floema secundario: floema producido a partir de las células que surgen hacia el exterior del cambium vascular.

flor: estructura reproductora de los angiospermas.

flor completa: flor que tiene las cuatro partes florales (sépalos, pétalos, estambres y carpelos).

flor incompleta: flor a la que le falta alguna de las cuatro partes florales (sépalos, pétalos, estambres o carpelos).

florigena: miembro de un grupo de hormonas vegetales que activan o inhiben la floración; la duración del día es un estímulo.

fluido: un líquido o gas.

flujo de genes: desplazamiento de alelos de una población a otra como resultado de la migración de organismos individuales.

flujo en masa: movimiento armónico de muchas moléculas de un gas o líquido, de una región de mayor presión a una de presión más reducida.

foliculo: en el ovario de los mamíferos hembra, el ovocito y las células accesorias que lo rodean.

foliculo piloso: glándula de la dermis en los mamíferos, formada a partir de tejido epitelial, que produce el pelo.

foraminífero: protista acuático (principalmente marino) que se caracteriza por tener una concha de carbonato de calcio muy elaborada.

formación reticular: red difusa de neuronas que se extiende desde el rombencéfalo, pasando por el mesencéfalo y llega a las regiones inferiores del prosencéfalo; participa en el filtrado de señales sensoriales y en la regulación de la información que se retransmite a los centros conscientes del cerebro para atención posterior.

fosfolípido: lípido que consiste en glicerina unida a dos moléculas de ácido graso y un grupo fosfato, el cual lleva otro grupo de átomos que por lo regular está cargado y contiene nitrógeno. Una doble capa de fosfolípidos es un componente de todas las membranas celulares.

fósil: restos de un organismo muerto, normalmente preservados en roca; pueden ser huesos o madera petrificada; conchas; impresiones de formas corporales, como plumas, piel u hojas; o marcas dejadas por organismos, como huellas, por ejemplo.

fotoón: la unidad más pequeña de energía luminosa.

fotopigmento: sustancia química de células fotorreceptoras que, al incidir en ella la luz, cambia su conformación molecular.

fotorreceptor: célula receptora que responde a la luz; en vertebrados, los bastones y conos.

fotorrespiración: serie de reacciones en las plantas en las que el O_2 reemplaza al CO_2 durante el ciclo C_3 , lo que impide la fijación de carbono; este proceso de desecho domina cuando las plantas C_3 se ven obligadas a cerrar sus estomas para evitar la pérdida de agua.

fotosíntesis: serie completa de reacciones químicas en las que se utiliza la energía de la luz para sintetizar moléculas orgánicas energéticas, por lo general carbohidratos, a partir de moléculas inorgánicas poco energéticas, generalmente dióxido de carbono y agua.

fotosistema: en las membranas tilacoides, un complejo recolector de luz y su correspondiente sistema de transporte de electrones.

fototáctico: capaz de detectar y responder a la luz.

fototropismo: crecimiento con respecto a la dirección de la luz.

fóvea: en la retina de los vertebrados, la región central donde se enfocan las imágenes; contiene conos en una disposición muy cercana.

fragmentación del hábitat: proceso por el que las actividades humanas y el desarrollo dividen un hábitat de vida silvestre, dejando extensiones que no son suficientemente grandes para sostener poblaciones viables.

fragmento de restricción: trozo de DNA que se aisló cortando un trozo más grande de DNA con enzimas de restricción.

frecuencia de alelos: en el caso de cualquier gen específico, la proporción relativa de cada alelo de ese gen en una población.

fruto: en las plantas con flor, ovario maduro (más, en ciertos casos, otras partes de la flor) que contiene las semillas.

fuelle: en las plantas, cualquier estructura que sintetiza activamente azúcares y desde la cual se transportará fluido de floema.

gameto: célula sexual haploide que se forma en los organismos que se reproducen sexualmente.

gametofito: etapa multicelular haploide del ciclo vital de las plantas.

ganglio: agrupamiento de neuronas.

ganglio de raíz dorsal: ganglio situado en la rama dorsal (sensorial) de cada nervio espinal,

que contiene los cuerpos celulares de las neuronas sensoriales.

ganglio linfático: pequeña estructura que filtra linfa; contiene linfocitos y macrófagos que inactivan a partículas ajenas como bacterias.

gas de invernadero: gas, como el dióxido de carbono o el metano, que atrapa la energía de la luz solar en forma de calor, en la atmósfera de un planeta; gas que participa en el efecto invernadero.

gastrina: hormona producida por el estómago; estimula la secreción de ácido en respuesta a la presencia de alimento.

gástrula: en el desarrollo animal, embrión de tres capas celulares llamadas ectodermo, mesodermo y endodermo. Generalmente, el endodermo encierra el intestino primitivo.

gastrulación: proceso por el que una blástula se transforma en gástrula; incluye la formación del endodermo, el ectodermo y el mesodermo.

gemación: reproducción asexual por crecimiento de una copia en miniatura del animal adulto, o yema, sobre el cuerpo del progenitor. La yema se separa e inicia una existencia independiente.

gen: unidad de herencia que codifica la información necesaria para especificar la secuencia de aminoácidos de las proteínas y, por lo tanto, rasgos determinados.

gen egoísta: concepto de que los genes, y no los organismos, son la unidad de selección natural.

generación espontánea: la propuesta de que seres vivos pueden surgir de materia inanimada.

género: categoría taxonómica incluida dentro de una familia y que comprende especies que guardan una relación muy estrecha entre sí.

genética poblacional: estudio de la frecuencia, distribución y herencia de alelos en una población.

genoma: juego completo de genes que posee un miembro de una especie determinada.

genotipo: composición genética de un organismo; los alelos de cada gen que el organismo tiene en realidad.

germinación: crecimiento y desarrollo de una semilla, espora o grano de polen.

giberelina: hormona vegetal que estimula la germinación de la semilla, el desarrollo del fruto y la división y alargamiento de las células.

gimnospermas: plantas de semilla sin flor, como las coníferas, las cicadáceas y el ginkgo.

giro: distribución aproximadamente circular de corrientes oceánicas que se forma porque los continentes interrumpen el flujo de aquéllas; gira en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte y en sentido contrario en el hemisferio sur.

glándula: grupo de células especializadas en secretar sustancias como sudor u hormonas, por ejemplo.

glándula bulbouretral: en los mamíferos macho, glándula que secreta un líquido mucoso básico que forma parte del semen.

glándula endocrina: glándula sin conductos productora de hormonas; se compone de células que liberan sus secreciones en el fluido extracelular, desde donde las secreciones se difunden al interior de los capilares cercanos.

glándula exocrina: glándula que libera sus secreciones hacia conductos que llevan al exterior del cuerpo o al interior del tracto digestivo.

glándula mamaria: glándula que produce leche y que los mamíferos usan para alimentar a sus crías.

glándula pineal: pequeña glándula dentro del cerebro que secreta melatonina; controla los ci-

clos reproductivos estacionales de algunos mamíferos.

glándula sebácea: glándula de la dermis, formada a partir de tejido epitelial, que produce la sustancia oleosa llamada sebo para lubricar la epidermis.

glándula suprarrenal: glándula endocrina de los mamíferos, adyacente a los riñones; secreta hormonas cuya función tiene que ver con la regulación del agua y la respuesta al estrés.

glicerol: alcohol de tres átomos de carbono al que se enlazan de manera covalente ácidos grasos para formar grasas y aceites.

glomérulo: densa red de capilares de paredes finas, situada dentro de la cápsula de Bowman de cada nefrona del riñón, donde la presión sanguínea fuerza el paso de agua y nutrientes disueltos a través de las paredes de los capilares para su filtración en la nefrona.

glucagón: hormona que secreta el páncreas; aumenta el azúcar en la sangre estimulando el desdoblamiento del glucógeno (a glucosa) en el hígado.

glucocorticoides: clase de hormonas que libera la corteza suprarrenal en respuesta a la presencia de ACTH; aumentan la disponibilidad de energía en el organismo estimulando la síntesis de glucosa.

glucógeno: polímero de glucosa largo y ramificado que los animales almacenan en los músculos y el hígado y que se metaboliza como fuente de energía.

glucólisis: serie de reacciones que se llevan a cabo en el citoplasma para descomponer la glucosa en dos moléculas de ácido pirúvico y producir dos moléculas de ATP; no necesita oxígeno, pero puede llevarse a cabo en presencia de él.

glucoproteína: proteína que está unida a un carbohidrato.

glucosa: el monosacárido más común, cuya fórmula es $C_6H_{12}O_6$; casi todos los polisacáridos, como la celulosa, el almidón y el glucógeno, se componen de subunidades de glucosa unidas entre sí por enlaces covalentes.

gónada: órgano donde se forman las células reproductoras; en los machos, los testículos, y en las hembras, los ovarios.

gonadotropina coriónica (GC): hormona que secreta el corion (una de las membranas fetales); mantiene la integridad del cuerpo lúteo durante las primeras etapas del embarazo.

gonorrea: infección bacteriana de transmisión sexual de los órganos reproductores; si no se trata, puede provocar esterilidad.

gradiente: diferencia de concentración, presión o carga eléctrica entre dos regiones.

gradiente de concentración: diferencia de concentración de una sustancia entre dos partes de un fluido o a través de una barrera, como una membrana, por ejemplo.

granum (plural, *grana*): pila de tilacoides de los cloroplastos.

grasa (molecular): lípido que se compone de tres ácidos grasos saturados unidos por enlaces covalentes a glicerol; es sólida a temperatura ambiente.

graso (tejido): tejido adiposo; tejido conectivo que almacena lípidos; se compone de células repletas de triglicéridos.

gravitropismo: crecimiento con respecto a la dirección de la gravedad.

grelina: hormona producida por el estómago y la parte superior del intestino delgado, cuando no contienen alimento, para estimular el apetito.

grupo funcional: uno de varios grupos de átomos que es común encontrar en las moléculas

orgánicas, como los grupos hidrógeno, hidroxilo, amino, carboxilo y fosfato, que determina las características y la reactividad química de la molécula.

guanina: base nitrogenada presente en el DNA y en el RNA; su abreviatura es G.

gusto: sentido químico para detectar sustancias disueltas en agua o saliva; en los mamíferos, percepciones de sabor dulce, agrio, amargo, salado y umami producidas por la estimulación de receptores en la lengua.

habitación: aprendizaje simple que se caracteriza por la disminución de la respuesta a un estímulo inocuo que se repite.

halófilo: literalmente “amante de la sal”; organismo que prospera en medios salinos.

haploide: célula que tiene un solo miembro de cada par de cromosomas homólogos.

haz vascular: cadena de xilema y floema de las hojas y tallos; en las hojas suele llamarse *vena*.

heces: material residual semisólido que queda en el intestino una vez que ha terminado la absorción y que se evacua a través del ano. Las heces contienen residuos no digeribles y bacterias.

hélice: estructura secundaria de una proteína, enroscada como un resorte.

heliozoario: protista acuático (principalmente de agua dulce) semejante a los animales; algunos heliozoarios tienen conchas muy elaboradas a base de sílice.

hemisferio cerebral: una de las dos mitades casi simétricas del cerebro, enlazadas por una banda ancha de axones conocida como cuerpo calloso.

hemocele: cavidad sanguínea del cuerpo de ciertos invertebrados donde la sangre baña los tejidos directamente; parte de un sistema circulatorio abierto.

hemodiálisis: procedimiento que estimula la función renal en los individuos con riñones dañados o ineficaces; se desvía la sangre fuera del cuerpo, se filtra por medios artificiales y se devuelve al cuerpo.

hemofilia: enfermedad recesiva vinculada al género, en la cual la sangre no se coagula de forma normal.

hemoglobina: proteína que contiene hierro y que imparte a los eritrocitos su color rojo; se une al oxígeno en los pulmones y libera este elemento en los tejidos.

hendidura branquial de la faringe: abertura situada en la parte posterior de la boca, que conecta el tubo digestivo con el entorno exterior; presente (en alguna etapa de la vida) en todos los cordados.

herbívoro: literalmente “que come plantas”; organismo que se alimenta directa y exclusivamente de productores; consumidor primario.

herencia: transmisión genética de características del progenitor a sus descendientes.

herencia de características adquiridas: hipótesis que afirma que el cuerpo de los organismos cambia a lo largo de su vida por el uso y la falta de uso, y que estos cambios se heredan a los descendientes.

herencia poligénica: patrón de herencia en el que las interacciones de dos o más genes funcionalmente similares determinan el fenotipo.

hermafroditas: organismo que posee órganos sexuales tanto masculinos como femeninos. Algunos animales hermafroditas se autofecundan; otros deben intercambiar células sexuales con una pareja.

herpes genital: enfermedad de transmisión sexual causada por un virus; origina la formación

de dolorosas ampollas en los órganos genitales y en la piel cercana a ellos.

heterocigótico: que tiene dos alelos diferentes de un mismo gen; también se usa el término *híbrido* con el mismo significado.

heterótrofo: literalmente “que se alimenta de otros”; organismo que se alimenta de otros organismos; consumidor.

hibridación de DNA-DNA: técnica mediante la cual se separa el DNA de dos especies en cadenas individuales y luego se permite que se forme de nuevo; puede existir DNA híbrido de doble cadena de dos especies si la secuencia de nucleótidos es complementaria. Cuanto mayor es el grado de hibridación, más próxima es la afinidad evolutiva de las dos especies.

híbrido: organismo cuyos progenitores difieren en al menos una característica genéticamente determinada; también se aplica a los descendientes de progenitores de especies diferentes.

hibridoma: célula que se produce al fusionarse una célula productora de anticuerpos con una célula de mieloma; se usa para producir anticuerpos monoclonales.

hidrofílico(a): dicese de una sustancia que se disuelve fácilmente en agua o de partes de una molécula grande que forman puentes de hidrógeno con el agua.

hidrofóbico(a): dicese de una sustancia que no se disuelve en agua.

hidrólisis: reacción química en la que se rompe un enlace covalente por medio de la adición de hidrógeno al átomo de un lado del enlace original y de un grupo hidroxilo al átomo del otro lado; es el inverso de la síntesis por deshidratación.

hifa: estructura parecida a un hilo que se compone de células alargadas, por lo general con muchos núcleos haploides; muchas hifas constituyen el cuerpo fúngico.

hígado: órgano con diversas funciones que incluyen producción de bilis, almacenamiento de glucógeno y eliminación de la toxicidad de venenos.

hipermetropía: incapacidad para enfocar la vista en objetos cercanos; se debe a que el globo ocular es un poco más corto de lo normal o a que la córnea es demasiado plana.

hipertensión: presión arterial sanguínea que está crónicamente por encima del nivel normal.

hipertónica: solución que tiene una concentración mayor de partículas disueltas (y, por lo tanto, una concentración menor de agua libre) que el citoplasma de una célula.

hipocampo: parte del prosencéfalo de los vertebrados que es importante para las emociones y, en especial, para el aprendizaje.

hipocótilo: parte del brote embrionario que se localiza por debajo de los cotiledones, pero por encima de la raíz.

hipófisis (o pituitaria): glándula endocrina situada en la base del cerebro que produce varias hormonas, muchas de las cuales influyen en la actividad de otras glándulas.

hipófisis anterior: lóbulo de la glándula hipófisis que produce prolactina y hormona del crecimiento, además de hormonas que regulan la producción hormonal de otras glándulas.

hipófisis posterior: lóbulo de la glándula hipófisis que es una excrecencia del hipotálamo y que libera una hormona antiurética y oxitocina.

hipotálamo: región del encéfalo que regula la actividad secretora de la glándula hipófisis; sintetiza, almacena y libera ciertas hormonas peptídicas; dirige las respuestas del sistema nervioso autónomo.

hipótesis: en el método científico, suposición basada en observaciones previas, que se plantea como explicación del fenómeno observado y se usa como base para posteriores observaciones o experimentos.

hipótesis de un gen, una proteína: premisa de que cada gen codifica la información para sintetizar una sola proteína.

hipótesis endosimbótica: hipótesis según la cual ciertos organelos, en especial los cloroplastos y las mitocondrias, surgieron como resultado de asociaciones mutuamente provechosas entre los antepasados de las células eucarióticas y bacterias capturadas que vivían en el interior del citoplasma de la célula preeucariótica.

hipotónica: solución que tiene una concentración menor de partículas disueltas (y, por lo tanto, una mayor concentración de agua libre) que el citoplasma de una célula.

histamina: sustancia que liberan ciertas células en respuesta al daño tisular y a la invasión del cuerpo por sustancias extrañas; favorece la dilatación de las arteriolas y la permeabilidad de los capilares y activa algunas de las reacciones de la respuesta inflamatoria.

hoja: excrecencia de un tallo, normalmente plana y capaz de fotosintetizar.

homeobox: secuencia de DNA que contiene el código de ciertas proteínas especiales de 60 aminoácidos que activan o desactivan genes encargados de regular el desarrollo; estas secuencias especifican la diferenciación de las células embrionarias.

homeostasis: mantenimiento de un ambiente relativamente constante, necesario para el funcionamiento óptimo de las células, mediante la actividad coordinada de numerosos mecanismos reguladores que incluyen los sistemas respiratorio, endocrino, circulatorio y excretor.

homínido: ser humano o antepasado prehistórico de los seres humanos, a partir del australopiteco, cuyos fósiles datan de hace al menos 4.4 millones de años.

homocigótico: organismo que tiene dos copias del mismo alelo de un gen determinado; también se dice que es *de raza pura*.

homólogo: cromosoma que es similar en cuanto a apariencia e información genética a otro cromosoma, con el que se aparea durante la meiosis; también recibe el nombre de *cromosoma homólogo*.

hongo cigoto (zigomiceto): hongo de la división Zygomycota, que incluye las especies que hacen que se pudra la fruta y el pan se enmohezca.

hongo de clava: hongo de la división Basidiomycota, cuyos miembros (entre los que se cuentan los champiñones, los bejines y los hongos de repisa) se reproducen mediante basidiosporas.

hongo de saco (ascomiceto): hongo de la división Ascomycota, cuyos miembros forman esporas en una especie de saco llamado *ascus*.

hongo imperfecto: hongo de la división Deuteromycota; en ninguna especie de esta división se ha observado la formación de estructuras reproductoras sexuales.

hormona: sustancia sintetizada por un grupo de células, que se secreta y luego se transporta mediante el torrente sanguíneo hasta otras células, cuya actividad se modifica al recibirla.

hormona adrenocorticotrópica (ACTH): hormona que secreta la hipófisis anterior y que estimula la liberación de hormonas por la corteza suprarrenal, especialmente como respuesta al estrés.

hormona antiurética (ADH): hormona que se produce en el hipotálamo y que la hipófisis posterior libera en el torrente sanguíneo cuando el volumen de sangre es bajo; aumenta la permeabilidad al agua del túbulo distal y del tubo colector, con lo que se reabsorbe más agua en el torrente sanguíneo.

hormona del crecimiento: hormona liberada por la hipófisis anterior; estimula el crecimiento, en especial el del esqueleto.

hormona esteroide: clase de hormona cuya estructura química (cuatro anillos de carbono unidos a diversos grupos funcionales) es similar a la del colesterol; los ovarios y la placenta, los testículos y la corteza suprarrenal secretan esteroides, que son lípidos.

hormona estimuladora de la tiroides (TSH): hormona liberada por la hipófisis anterior que estimula la glándula tiroides para que libere hormonas.

hormona estimuladora de melanocitos: hormona liberada por la hipófisis anterior que regula la actividad de los pigmentos cutáneos en algunos vertebrados.

hormona foliculoestimulante (FSH): hormona producida por la hipófisis anterior; estimula la espermatogénesis en los machos y el desarrollo del folículo en las hembras.

hormona inhibidora: hormona que secretan las células neurosecretoras del hipotálamo; inhibe la liberación de hormonas específicas de la hipófisis anterior.

hormona liberadora: hormona secretada por el hipotálamo que causa la liberación de hormonas específicas por la hipófisis anterior.

hormona liberadora de gonadotropina (GnRH): hormona que producen las células neurosecretoras del hipotálamo; estimula la liberación de FSH y LH por las células de la hipófisis anterior. La GnRH interviene en el ciclo menstrual y en la espermatogénesis.

hormona luteinizante (LH): hormona producida por la hipófisis anterior que estimula la producción de testosterona en los machos y el desarrollo del folículo, la ovulación y la producción del cuerpo lúteo en las hembras.

hormona paratiroidea: hormona liberada por la glándula paratiroides que trabaja junto con la calcitonina para regular la concentración de iones calcio en la sangre.

hormona peptídica: hormona que consiste en una cadena de aminoácidos; incluye proteínas pequeñas que funcionan como hormonas.

hormona vegetal: sustancias que regulan el crecimiento de las plantas: auxina, giberelinas, citocininas, etileno y ácido abscísico; se parecen un poco a las hormonas animales en tanto que son sustancias producidas por células de un lugar que influyen en el crecimiento o la actividad metabólica de otras células, casi siempre a cierta distancia dentro del cuerpo de la planta.

hormonas endocrinas: mensajes químicos producidos por células especializadas y liberadas en el sistema circulatorio. Provocan un cambio prolongado o temporal en las células blanco que portan receptores específicos para esas hormonas.

hormonas locales: término general para designar a las moléculas mensajeras producidas por la mayoría de las células y liberadas en el medio inmediato de éstas. Las hormonas locales, que incluyen las prostaglandinas y citocinas, influyen en las células circunvecinas que tienen los receptores adecuados.

huella ecológica: estimación del área de la superficie terrestre que se requiere para producir los recursos que utilizamos, así como para ab-

sorber los desechos que producimos; se expresa en acres de productividad promedio.

hueso: tejido conectivo mineralizado y duro que es uno de los componentes principales del endoesqueleto de los vertebrados; brinda sostén y puntos para la fijación de los músculos.

hueso compacto: hueso externo duro y resistente; se compone de osteones.

hueso esponjoso: tejido óseo poroso y ligero del interior de los huesos; ubicación de la médula ósea.

huésped: organismo presa en cuya superficie o en cuyo interior vive un parásito; resulta dañado con esa relación.

huevo amniótico: huevo de los reptiles y las aves; contiene un amnios que encierra un embrión en un ambiente acuoso, lo que permite que el huevo se deposite en tierra firme.

humor acuoso: líquido transparente y acuoso que está entre la córnea y el cristalino del ojo.

humor vítreo: sustancia gelatinosa transparente que llena la cámara grande del ojo entre el cristalino y la retina.

implantación: proceso mediante el cual el embrión temprano se inserta en el revestimiento del útero.

impronta: proceso por el cual un animal forma una asociación con otro animal o con un objeto del medio durante un periodo sensitivo de su desarrollo.

incompatibilidad gamética: incapacidad de los espermatozoides de una especie para fecundar el óvulo de otra especie.

incompatibilidad mecánica: incapacidad de organismos macho y hembra para intercambiar gametos, generalmente porque sus estructuras reproductoras son incompatibles.

independiente de la densidad: todo factor que limita el tamaño y el crecimiento de una población, cualquiera que sea su densidad.

índice de masa corporal (IMC): cifra que se calcula a partir del peso y la estatura de un individuo y que se utiliza para estimar la grasa corporal. La fórmula es: peso (en kg)/estatura² (en metros cuadrados).

inducción: proceso mediante el cual un grupo de células hace que otras células se diferencien para formar un tipo de tejido específico.

ingeniería genética: modificación dirigida del material genético para alcanzar metas específicas.

inhalación: acto de aspirar aire al interior de los pulmones agrandando la cavidad torácica.

inhibición competitiva: proceso por el cual dos o más moléculas de estructura similar compiten por el sitio activo de una enzima.

inhibición por retroalimentación: en las reacciones químicas mediadas por enzimas, condición en la que el producto de una reacción inhibe una o más de las enzimas que intervienen en la síntesis del producto.

inmigración: migración de individuos hacia una región.

inmunidad humoral: respuesta inmunitaria en la que los anticuerpos que circulan en la sangre desactivan o destruyen las sustancias extrañas.

inmunidad mediada por células: respuesta inmunitaria en la que las células o sustancias extrañas se destruyen al tener contacto con las células T.

innato: congénito, instintivo; determinado por la constitución genética del individuo.

inorgánico(a): dicese de toda molécula que no contiene carbono e hidrógeno.

insaturado: ácido graso que tiene menos del número máximo de átomos de hidrógeno unidos a su esqueleto de carbono; un ácido graso

con uno o más dobles enlaces en su esqueleto de carbono.

insensibilidad a los andrógenos: afección poco común en la que un individuo con cromosomas XY tiene apariencia femenina porque las células de su cuerpo no responden a las hormonas masculinas que están presentes.

inserción: punto de fijación de un músculo al hueso relativamente móvil de un lado de una articulación.

instintivo: innato, congénito; determinado por la constitución genética del individuo.

insulina: hormona que secreta el páncreas; reduce el nivel de azúcar en la sangre estimulando la conversión de la glucosa a glucógeno en el hígado.

integración: en las neuronas, proceso consistente en sumar las señales eléctricas provenientes de estímulos sensoriales o de otras neuronas para determinar las señales de salida apropiadas.

intensidad: fuerza de la estimulación o de la respuesta.

interacción hidrofóbica: tendencia de las moléculas hidrofóbicas a agruparse cuando se sumergen en agua.

interfase: etapa del ciclo celular que se desarrolla entre dos divisiones; etapa en la que los cromosomas se duplican y se llevan a cabo otras funciones celulares, como el crecimiento, el movimiento y la adquisición de nutrimentos.

interferón: proteína que liberan ciertas células infectadas por virus; incrementa la resistencia de otras células, no infectadas, al ataque viral.

intestino delgado: porción del tracto digestivo situada entre el estómago y el intestino grueso, en la que se efectúa la mayor parte de la digestión y la absorción de nutrimentos.

intestino grueso: sección final del tracto digestivo; consta del colon y el recto.

intolerancia a la lactosa: capacidad inadecuada para descomponer el azúcar de la leche; es provocada por una baja secreción de lactasa. Los síntomas incluyen inflamación, dolor y diarrea después de consumir cualquier producto lácteo.

intrón: segmento de DNA de un gen eucariótico que no codifica aminoácidos de una proteína.

invertibrado: animal que no tiene columna vertebral.

ion: átomo o molécula con carga eléctrica; átomo o molécula que tiene un exceso de electrones y, por lo tanto, carga negativa, o ha perdido electrones y, por consiguiente, tiene carga positiva.

iris: tejido muscular pigmentado del ojo de los vertebrados que rodea y controla el tamaño de la pupila, a través de la cual entra la luz.

isotónica: solución que tiene la misma concentración de partículas disueltas (y, por lo tanto, la misma concentración de agua libre) que el citoplasma de una célula.

isótopo: una de las diversas formas de un elemento, cuyos núcleos contienen el mismo número de protones, pero diferentes números de neutrones.

jerarquía de dominancia: disposición social en la que un grupo de animales, generalmente mediante interacciones agresivas, establece un rango en algunos o en todos sus integrantes, el cual determina el acceso a los recursos.

jugo pancreático: mezcla de agua, bicarbonato de sodio y enzimas que el páncreas secreta al intestino delgado.

kuru: enfermedad cerebral degenerativa, descubierta en la tribu canibal Fore, de Nueva Guinea, causada por un prión.

La Niña: fenómeno inverso del patrón meteorológico conocido como El Niño.

labio: cada uno de los dos pliegues de la piel en las estructuras externas del sistema reproductor femenino de los mamíferos.

lactancia: secreción de leche de las glándulas mamarias.

lactosa: disacárido compuesto de glucosa y galactosa; se encuentra en la leche de los mamíferos.

ladilla: parásito artrópodo que infesta a los seres humanos; se transmite por contacto sexual.

lago eutrófico: lago que recibe aportaciones suficientemente grandes de sedimentos, material orgánico y nutrimentos inorgánicos de su entorno para sostener comunidades densas; es turbio y con poca penetración luminosa.

lago oligotrófico: lago muy escaso de nutrimentos y por tanto transparente, con gran penetración de luz.

lámina media: delgada capa de polisacáridos viscosos, como pectina, y otros carbohidratos que separa y mantiene unidas las paredes celulares primarias de células vegetales adyacentes.

lámina plegada: forma de estructura secundaria que presentan ciertas proteínas, como la seda, en la que muchas cadenas proteicas están tendidas una al lado de la otra, unidas entre sí por puentes de hidrógeno.

laringe: porción de las vías respiratorias entre la faringe y la tráquea; contiene las cuerdas vocales.

larva: forma inmadura de un organismo con desarrollo indirecto previo a la metamorfosis hacia la forma adulta; incluye las orugas de polillas y mariposas, así como las larvas de las moscas.

leguminosa: miembro de una familia de plantas que se caracterizan por engrosamientos en las raíces que albergan bacterias fijadoras de nitrógeno; incluyen el frijol de soja, los lupinos, la alfalfa y el trébol.

lente: objeto transparente que refracta los rayos de luz.

leptina: hormona peptídica. Una de las funciones de la leptina, que es liberada por células grasas o adipocitos, es ayudar al cuerpo a controlar sus reservas de lípidos y regular el peso.

leucocito: cualquiera de los glóbulos blancos que circulan en la sangre.

ley de distribución independiente de los caracteres: herencia independiente de dos o más rasgos distintos; establece que los alelos de un rasgo distribuyen a los gametos con independencia de los alelos para otros rasgos.

ley de la segregación: conclusión de Gregor Mendel de que cada gameto sólo recibe un gen del par de cada progenitor para cada rasgo.

leyes de la termodinámica: leyes físicas que definen las propiedades básicas y el comportamiento de la energía.

ligado al sexo: dicese de un patrón de herencia característico de genes ubicados en un tipo de cromosoma sexual (por ejemplo, X) y que no se encuentra en el otro tipo (por ejemplo, Y); también se dice ligado a X. En la herencia ligada al sexo, los rasgos están bajo el control de genes incluidos en el cromosoma X; las hembras presentan el rasgo dominante a menos que sean homocigóticas recesivas, mientras que los machos expresan el alelo que está en su único cromosoma X.

ligadura de trompas: procedimiento quirúrgico en el que se cortan y atan los oviductos de una mujer de forma que el huevo no pueda llegar al útero, dejándola infértil.

ligamento: banda de tejido conectivo resistente que une dos huesos.

ligamiento: herencia de ciertos genes como un grupo porque forman parte del mismo cromosoma. Los genes ligados no presentan distribución independiente.

lignina: material duro incrustado en las paredes celulares de las plantas vasculares y que brinda sostén en las especies terrestres; una de las primeras y más importantes adaptaciones a la vida terrestre.

limbo: parte plana de una hoja.

línea Z: estructura proteica fibrosa a la que se sujetan los filamentos delgados del músculo esquelético; forma la frontera de un sarcómero.

linfa: fluido pálido contenido en el sistema linfático y constituido primordialmente de fluido intersticial y linfocitos.

linfocito: tipo de glóbulo blanco importante en la respuesta inmunológica.

lipasa: enzima que cataliza el desdoblamiento de lípidos.

lípidos: una de varias moléculas orgánicas que contienen extensas regiones no polares compuestas exclusivamente de carbono e hidrógeno, las cuales hacen que los lípidos sean hidrofóbicos e insolubles en agua; incluyen aceites, grasas, ceras, fosfolípidos y esteroides.

líquen: asociación simbiótica entre una alga o cianobacteria y un hongo para formar un organismo compuesto.

líquido cerebrospinal: líquido transparente que se produce en el interior de los ventrículos encefálicos y los llena para proteger el encéfalo y la médula espinal.

líquido intersticial: líquido de composición similar a la del plasma, salvo que carece de proteínas grandes, que escapa de los capilares y actúa como medio de intercambio entre éstos y los cuerpos celulares.

lisosoma: organelo encerrado en una membrana que contiene enzimas digestivas intracelulares.

locus: ubicación física de un gen en un cromosoma.

macrófago: tipo de glóbulo blanco que fagocita a los microbios y los destruye; también presenta antígenos microbianos a las células T, lo que ayuda a estimular la respuesta inmunitaria.

macronutrimiento: nutrimento que se requiere en cantidades relativamente grandes (constituye más del 0.1% del cuerpo del organismo).

magnetotáctico: capaz de detectar el campo magnético de la Tierra y responder a él.

maltoza: disacárido compuesto por dos moléculas de glucosa.

mamífero: miembro de la clase Mammalia de los cordados, que incluye a los vertebrados con pelo y glándulas mamarias.

mancha ocular: ojo simple, sin cristalino, que se encuentra en diversos invertebrados, como los gusanos planos y las medusas. Las manchas oculares permiten distinguir la luz de la oscuridad y a veces la dirección de la luz, pero no forman una imagen.

manto: extensión de la pared corporal en ciertos invertebrados, como los moluscos; puede secretar una concha, proteger las agallas y, en los cefalópodos, ayudar a la locomoción.

marcapasos: agrupación de células musculares especializadas en la aurícula derecha del corazón que producen señales eléctricas espontáneas a ritmo regular; el nodo sinoauricular.

marsupial: mamífero cuyas crías nacen en una etapa muy inmadura y continúan su desarrollo en una bolsa mientras permanecen sujetos a una glándula mamaria; incluye a los canguros, zarigüeyas y koalas.

masa de células internas: en el desarrollo embrionario de los humanos, el cúmulo de células

en un lado del blastocisto que se desarrollará para formar el embrión.

mastocito: célula del sistema inmunitario que sintetiza histamina y otras moléculas que participan en la respuesta del cuerpo a un trauma y que son un factor en las reacciones alérgicas.

materia blanca: porción del cerebro y la médula espinal que consiste en buena parte de axones cubiertos por mielina y que confieren a estas áreas una coloración blanca.

materia gris: parte exterior del cerebro y región interior de la médula espinal; se compone principalmente de cuerpos celulares de neuronas, los cuales confieren a esta zona una coloración gris.

matriz: fluido contenido en la membrana interna de una mitocondria.

mecanismo aislador posterior al apareamiento: cualquier estructura, función fisiológica o anomalía del desarrollo que impide que organismos de dos poblaciones diferentes, una vez efectuado el apareamiento, produzcan prole vigorosa y fértil.

mecanismo de aislamiento: diferencia morfológica, fisiológica, conductual o ecológica que impide la cruce de miembros de dos especies diferentes.

mecanismo de aislamiento previo al cruzamiento: cualquier estructura, función fisiológica o conducta que evita que organismos de dos poblaciones distintas intercambien gametos.

mecanorreceptor: receptor que responde a una deformación mecánica, como la causada por presión, tacto o vibración.

media luna gris: en el desarrollo embrionario de la rana, zona de pigmentación intermedia del óvulo fecundado; contiene sustancias reguladoras de los genes que son necesarias para el desarrollo normal del renacuajo.

médula: en las plantas terrestres, células que forman el centro de una raíz o tallo.

médula espinal: parte del sistema nervioso central de los vertebrados que se extiende desde la base del cerebro hasta las caderas y está protegida por los huesos de la columna vertebral; contiene los cuerpos celulares de neuronas motrices que forman sinapsis con músculos esqueléticos, los circuitos de algunas conductas reflejas simples y axones que se comunican con el cerebro.

médula renal: la capa del riñón inmediatamente por debajo de la corteza renal, donde las asas de Henle producen un fluido intersticial altamente concentrado, importante en la producción de orina concentrada.

médula suprarrenal: parte interna de la glándula suprarrenal; secreta adrenalina (epinefrina) y noradrenalina (norepinefrina).

medusa: etapa del ciclo de vida de muchos cnidarios, como las aguamalas, que tienen forma de campana y por lo regular nadan libremente.

megacariocito: célula grande que permanece en la médula ósea y estrangula fragmentos de sí misma que luego entran en la circulación en forma de plaquetas.

megaspora: célula haploide formada por meiosis a partir de una célula madre de megasporas diploide; por mitosis y diferenciación, se convierte en el gametofito femenino.

meiosis: tipo de división celular empleada por los organismos eucarióticos, en la que una célula diploide se divide dos veces para producir cuatro células haploides.

melatonina: hormona secretada por la glándula pineal que participa en la regulación de los ciclos circadianos.

membrana: en los organismos multicelulares, una lámina continua de células epiteliales que cubre al cuerpo y reviste las cavidades corporales; en una célula, delgada lámina de lípidos y proteínas que rodea a la célula o a sus organelos y los separa de su entorno.

membrana basilar: membrana de la cóclea con células pilosas que responden a las vibraciones producidas por el sonido.

membrana extraembrionaria: en el desarrollo embrionario de reptiles, aves y mamíferos, el corion, amnios, alantoides o saco vitelino; participan en el intercambio de gases, el suministro del ambiente acuoso necesario para el desarrollo, el almacenamiento de desechos y el almacenamiento del vitelo, respectivamente.

membrana mucosa: revestimiento interior de los tractos respiratorio y digestivo.

membrana plasmática: membrana exterior de la célula, compuesta por una bicapa de fosfolípidos con proteínas incrustadas.

membrana pleural: membrana que reviste la cavidad torácica y rodea a los pulmones.

membrana tectorial: una de las membranas de la cóclea, en la que están incrustados los cilios de las células ciliadas. Durante la recepción de sonidos, el movimiento de la membrana basilar en relación con la membrana tectorial dobla los cilios.

membrana timpánica: el tímpano; membrana tensa que cubre la abertura del oído y transmite las vibraciones del sonido a los huesecillos del oído medio.

memoria a largo plazo: la segunda fase del aprendizaje; una memoria que almacena recuerdos más o menos permanentes que se forman por un cambio estructural en el cerebro, debido a la repetición.

memoria de trabajo: la primera fase del aprendizaje; memoria a corto plazo de naturaleza eléctrica o bioquímica.

meninges: tres capas de tejido conectivo que rodean al cerebro y la médula espinal.

menstruación: en las mujeres, la descarga mensual de tejido y sangre del útero.

meristemo apical: conjunto de células meristemáticas del extremo de un vástago o una raíz (o de una de sus ramas).

meristemo lateral: tejido meristemático que forma cilindros paralelos al eje longitudinal de raíces y tallos; normalmente está situado entre el xilema y el floema primarios (cambium vascular) y justo afuera del floema (cambium suberígeno); también se llama *cambium*.

mesodermo: capa media de tejido embrionario, entre el endodermo y el ectodermo, que generalmente es la última en desarrollarse; da origen a estructuras como músculos y huesos.

mesófilo: células de parénquima poco apretadas que están bajo la epidermis de las hojas.

mesoglea: capa intermedia gelatinosa dentro de la pared corporal de los cnidarios.

metabolismo: el total de las reacciones químicas que se efectúan dentro de una célula o dentro de todas las células de un organismo multicelular.

metafase: etapa de la mitosis en la que los cromosomas, unidos a las fibras del huso en los cinetocoros, se acomodan sobre el ecuador de la célula.

metamorfosis: en animales con desarrollo indirecto, cambio radical en la forma del cuerpo, desde la forma de larva a la de un adulto sexualmente maduro; se observa en anfibios (renacuajo a rana) y en insectos (oruga a mariposa).

metanógeno: tipo de arqueo anaeróbico que puede convertir el dióxido de carbono en metano.

método científico: procedimiento riguroso para hacer observaciones de fenómenos específicos y buscar el orden subyacente de tales fenómenos.

método del cuadro de Punnett: forma intuitiva de predecir los genotipos y fenotipos de la progenie en cruces específicas.

método del ritmo: método anticonceptivo que implica abstenerse de practicar el coito durante la ovulación.

micelio: el cuerpo de un hongo, que consiste en una masa de hifas.

micorriza: relación simbiótica entre un hongo y las raíces de una planta terrestre, que facilita la extracción y absorción de minerales.

microbio: un microorganismo.

microevolución: cambio a lo largo de generaciones sucesivas en la composición de la poza génica de una población.

microfilamento: parte del citoesqueleto de las células eucarióticas que se compone de las proteínas actina y (en algunos casos) miosina; funciona en el movimiento de los organelos celulares y en la locomoción por extensión de la membrana plasmática.

micronutriente: nutriente que sólo se requiere en pequeñas cantidades (constituye menos del 0.01 % del cuerpo del organismo).

microsfera: pequeña esfera hueca hecha de proteínas, o bien, de proteínas que forman un complejo con otros compuestos.

microspora: célula haploide formada por meiosis a partir de una célula madre de microsporas; por mitosis y diferenciación, se convierte en el gametofito masculino.

microtúbulo: cadena cilíndrica gruesa que se encuentra en las células eucarióticas y está compuesta de la proteína tubulina; es la parte del citoesqueleto que se usa en el movimiento de los organelos, el crecimiento celular y la construcción de cilios y flagelos.

microtúbulos del huso: microtúbulos organizados en una forma ahusada que separan los cromosomas durante la mitosis o la meiosis.

microvellosidad: proyección microscópica de la membrana plasmática de cada vellosidad; aumenta el área superficial de la vellosidad.

mielina: envoltura de membranas aislantes de células especializadas no nerviosas en torno al axón de una célula nerviosa de un vertebrado; aumenta la velocidad de conducción de los potenciales de acción.

mimetismo: situación en la que una especie ha evolucionado para parecerse a algo más, por lo regular otro tipo de organismo.

mimetismo agresivo: evolución de un organismo depredador por la que se asemeja a un animal inofensivo o a una parte del entorno, lo que facilita su acceso a una presa.

mineral: sustancia inorgánica, especialmente las contenidas en rocas o suelos.

miofibrilla: subunidad cilíndrica de una célula muscular; consiste en una serie de sarcómeros rodeados por retículo sarcoplásmico.

miometrio: capa externa muscular del útero.

miopía: incapacidad para enfocar objetos distantes porque el globo ocular es demasiado largo o la córnea es muy curva.

miosina: una de las principales proteínas de los músculos, cuya interacción con la proteína actina produce la contracción muscular; está presente en los filamentos gruesos de la fibra muscular; véase también *actina*.

mitocondria: organelo delimitado por dos membranas, en el cual se efectúan las reacciones del metabolismo aeróbico.

mitosis: tipo de división nuclear, empleado por las células eucarióticas, en el que una copia de cada cromosoma (ya duplicado durante la interfase antes de la mitosis) pasa a cada uno de los dos núcleos hijos; éstos son, por tanto, genéticamente idénticos.

modelo del mosaico fluido: modelo de estructura de la membrana; según este modelo, las membranas se componen de una doble capa de fosfolípidos con diversas proteínas incrustadas en ella. La bicapa fosfolipídica es una matriz relativamente fluida que permite el movimiento de proteínas en su interior.

moho de agua: protista semejante a los hongos que incluye algunos patógenos, como el mildiu aterciopelado que ataca a las uvas.

moho deslizante acelular: tipo de protista semejante a un hongo, que forma una estructura multinucleada que se arrastra como una ameba e ingiere materia orgánica en descomposición; también se conoce como *moho viscoso plasmodial*.

moho deslizante celular: protista semejante a un hongo que se compone de células amiboides individuales capaces de aglutinarse para formar una masa viscosa que, a la vez, forma un cuerpo fructífero.

moho viscoso plasmodial: véase *moho deslizante acelular*.

molécula: partícula compuesta de uno o más átomos que se mantiene unida por enlaces químicos; la partícula más pequeña de un compuesto que exhibe todas las propiedades de éste.

molécula portadora de energía: molécula que almacena energía en enlaces químicos "de alta energía" y la libera para llevar a cabo reacciones endotérmicas acopladas. En las células, el ATP es el portador de energía más común.

molleja: órgano muscular, presente en las lombrices de tierra y en las aves, en el que se desintegra mecánicamente el alimento antes de la digestión química.

monocotiledónea: tipo de planta con flores caracterizada por embriones con una sola hoja seminal o cotiledón.

monofilético: dicese de un grupo de especies que contiene todos los descendientes conocidos de una especie ancestral.

monoico: organismos en los que el mismo individuo produce los gametos masculinos y femeninos.

monómero: molécula orgánica pequeña, varias de las cuales pueden unirse para formar una cadena llamada *polímero*.

monosacárido: unidad molecular básica de todos los carbohidratos; generalmente se compone de una cadena de átomos de carbono unidos a grupos hidrógeno e hidroxilo.

monotrema: mamífero que pone huevos; por ejemplo, el ornitorrinco.

mórla: en los animales, etapa embrionaria durante la segmentación, cuando el embrión consiste en una esfera sólida de células.

movimiento por segmentación: contracción del intestino delgado que mezcla alimentos parcialmente digeridos y enzimas digestivas; también pone a los nutrientes en contacto con la pared intestinal absorbente.

mudar: desechar una cobertura externa del cuerpo, como un exoesqueleto, piel, plumas o pelaje.

muestreo de las vellosidades coriónicas (MVC): procedimiento para tomar muestras de células

de las vellosidades coriónicas que produce el feto; se inserta un tubo en el útero de una mujer embarazada y se extrae por succión una pequeña muestra de las vellosidades, a la cual se le practican análisis genéticos y bioquímicos.

múlticelular: compuesto por muchas células; casi todos los miembros de los reinos Fungi, Plantae y Animalia son multicelulares, con una cooperación íntima entre las células.

músculo cardíaco: músculo especializado del corazón, capaz de iniciar su propia contracción con independencia del sistema nervioso.

músculo esquelético: el tipo de músculo que se sujeta al esqueleto y lo mueve, y está bajo el control directo, normalmente voluntario, del sistema nervioso; también se denomina *músculo estriado*.

músculo estriado: véase *músculo esquelético*.

músculo liso: tipo de músculo que rodea a órganos huecos, como el tracto digestivo, la vesícula y los vasos sanguíneos; por lo general no se controla voluntariamente.

músculos antagonistas: par de músculos, uno de los cuales se contrae y al hacerlo extiende el otro; disposición que hace posible el movimiento del esqueleto en las articulaciones.

mutación: cambio en la secuencia de bases del DNA de un gen; generalmente se refiere a un cambio genético lo bastante importante como para alterar el aspecto o la función del organismo.

mutación neutral: mutación que tiene poco o ningún efecto sobre la función de la proteína codificada.

mutación por delección: mutación en la que se elimina uno o más pares de nucleótidos de un gen.

mutación por inserción: mutación en la que se inserta un par de nucleótidos o más en un gen.

mutación puntual: mutación en la que sólo se ha modificado un par de bases en el DNA.

mutualismo: relación simbiótica en la que ambas especies participantes se benefician.

nefridio: órgano excretor que se encuentra en las lombrices de tierra, moluscos y otros invertebrados; se asemeja a una sola nefrona de vertebrado.

nefridioporo: abertura hacia el exterior del riñón simple (nefridio) de las lombrices de tierra.

nefrona: unidad funcional del riñón donde se filtra la sangre y se forma la orina.

nefrostoma: abertura con forma de embudo del nefridio de algunos invertebrados como las lombrices de tierra; el fluido del celoma se introduce en el nefrostoma para ser filtrado.

nervio: haz de axones de células nerviosas, envueltos por una vaina.

nervio auditivo: nervio que va de la cóclea al cerebro de los mamíferos; transmite información sonora.

nervio óptico: el nervio que va del ojo al cerebro y lleva información visual.

nervio periférico: nervio que conecta el cerebro y la médula espinal con el resto del cuerpo.

neurona: célula nerviosa individual.

neurona de asociación: en las redes neuronales, neurona que es postsináptica a una neurona sensorial y presináptica a una neurona motriz. En los circuitos puede haber muchas neuronas de asociación entre neuronas sensoriales y motrices individuales.

neurona motriz: neurona que recibe instrucciones de las neuronas de asociación y activa órganos efectores, como los músculos o las glándulas.

neurona postsináptica: en una sinapsis, la célula nerviosa que cambia su potencial eléctrico en respuesta a una sustancia (el neurotransmisor) liberada por otra célula (presináptica).

neurona presináptica: célula nerviosa que libera una sustancia (el neurotransmisor) en una sinapsis y causa cambios en la actividad eléctrica de otra célula (postsináptica).

neurona sensorial: célula nerviosa que responde a un estímulo del entorno interior o exterior.

neuropéptido: pequeña molécula proteica que actúa como neurotransmisor.

neurotransmisor: sustancia liberada por una célula nerviosa cerca de una segunda célula nerviosa, una célula muscular o una célula glandular y que influye en la actividad de la segunda célula.

neutralización: proceso de cubrir o inactivar una sustancia tóxica con un anticuerpo.

neutrófilo: tipo de glóbulo blanco que fagocita a los microbios invasores y contribuye a las defensas no específicas del cuerpo contra la enfermedad.

neutrón: partícula subatómica que se encuentra en el núcleo de los átomos; no lleva carga y tiene una masa aproximadamente igual a la del protón.

nicho ecológico: papel que desempeña una especie determinada en un ecosistema; incluye todos los aspectos de su interacción con los entornos animado e inanimado.

nivel energético: cantidad específica de energía que es característica de una capa electrónica dada de un átomo.

nivel trófico: literalmente, “nivel de alimentación”; las categorías de organismos de una comunidad y la posición de un organismo en una cadena alimentaria, definida por su fuente de energía; incluye productores, consumidores primarios, consumidores secundarios, etcétera.

no disyunción: error de la meiosis por el que los cromosomas no se segregan correctamente a las células hijas.

nodo: en los vertebrados, una interrupción de la mielina en un axón mielinizado, que deja al descubierto la membrana donde se generan potenciales de acción.

nodo auriculoventricular (AV): masa muscular especializada de la base de la aurícula derecha, a través de la cual se transmite a los ventrículos la actividad eléctrica que se inicia en el nodo sinoauricular.

nodo sinoauricular (SA): masa pequeña de músculo especializado de la pared de la aurícula derecha; genera señales eléctricas de forma rítmica y espontánea y actúa como marcapasos del corazón.

nódulo: engrosamiento en la raíz de una leguminosa u otra planta que consiste en células de corteza y en el que habitan bacterias fijadoras de nitrógeno.

nombre científico: nombre de un organismo formado a partir de las dos categorías taxonómicas principales más limitadas: el género y la especie.

noradrenalina: neurotransmisor liberado por neuronas del sistema nervioso parasimpático, que prepara al cuerpo para responder a situaciones de tensión; también se llama *norepinefrina*.

notocordio: estructura axial poco flexible, de soporte, que aparece en todos los miembros del filum Chordata en alguna etapa de su desarrollo.

núcleo atómico: región central de un átomo, compuesta de protones y neutrones.

núcleo celular: organelo encerrado por membranas en las células eucarióticas que contiene el material genético de la célula.

núcleo polar: en las plantas con flores, uno de dos núcleos de la célula de endospermo primario del gametofito femenino; se forma por la división mitótica de una megaspora.

nucleoide: lugar donde se encuentra el material genético en las células procarióticas; no está encerrado por membranas.

nucleolo: región del núcleo eucariótico en la que se sintetizan ribosomas; consiste en los genes que codifican el RNA ribosomal recién sintetizado y proteínas ribosómicas.

nucleótido: subunidad de que están compuestos los ácidos nucleicos; un grupo fosfato unido a un azúcar (desoxirribosa en el DNA), el cual a su vez está unido a una base nitrogenada (adenina, guanina, citosina o timina en el DNA). Los nucleótidos se unen para formar una cadena de ácido nucleico: el grupo fosfato de un nucleótido forma un enlace con el azúcar del siguiente nucleótido.

nucleótido cíclico: nucleótido en el que el grupo fosfato está ligado al azúcar en dos puntos y forma un anillo; sirve como mensajero intracelular.

nucleótidos libres: nucleótidos que no se han unido para formar una cadena de DNA o RNA.

nudo: en las plantas, región de un tallo en la que se encuentran hojas y yemas laterales.

número atómico: número de protones del núcleo de un átomo de un elemento específico.

nutrición: proceso de adquirir nutrientes del ambiente y, si es necesario, pasarlos a una forma que el cuerpo pueda utilizar.

nutrimento: sustancia adquirida del ambiente, necesaria para la supervivencia, el crecimiento y el desarrollo de un organismo.

observación: en el método científico, el hecho de tomar nota de un fenómeno específico, lo cual lleva a formular una hipótesis.

oído externo: en los mamíferos, las partes del oído que están antes de llegar al tímpano; consta del pabellón auricular y el canal auditivo.

oído interno: parte más interna del oído de los mamíferos; se compone de los tubos óseos llenos de líquido de la cóclea y del aparato vestibular.

oído medio: parte del oído de los mamíferos integrada por la membrana timpánica, la trompa de Eustaquio y tres huesecillos (martillo, yunque y estribo) que transmiten vibraciones del canal auditivo a la ventana oval.

ojo compuesto: tipo de ojo, presente en los artrópodos, que se compone de numerosas subunidades llamadas *omatidios*. Al parecer, cada *omatidio* aporta un fragmento de la imagen semejante a un mosaico que el animal percibe.

olfato: sentido que permite a los animales responder a sustancias odoríferas presentes en el aire en su ambiente externo.

omatidio: subunidad sensible a la luz de un ojo compuesto; consta de una lente y varias células receptoras.

omnívoro: organismo que consume tanto plantas como otros animales.

opérculo: cubierta externa, con soporte óseo, que cubre y protege las agallas de la mayoría de los peces.

opioides: uno de un grupo de neuromoduladores peptídicos del cerebro de los vertebrados que imita algunas de las acciones de los opiáceos (como el opio) y al parecer también influye en muchos otros procesos como las emociones y el apetito.

orden: categoría taxonómica contenida en una clase y que consta de familias emparentadas.

organelo: estructura que se encuentra en el citoplasma de las células eucarióticas y desempeña una función específica; a veces se refiere específicamente a estructuras delimitadas por membranas, como el núcleo y el retículo endoplásmico.

orgánico/molécula orgánica: describe una molécula que contiene tanto carbono como hidrógeno.

organismo: ser vivo individual.

órgano: estructura (como el hígado, el riñón o la piel) compuesta por dos o más tipos de tejidos distintos que funcionan juntos.

organogénesis: proceso por el cual las capas de la gástrula (endodermo, ectodermo, mesodermo) se reacomodan para formar órganos.

origen: sitio de sujeción de un músculo al hueso relativamente estacionario de un lado de una articulación.

orina: fluido producido y excretado por el sistema urinario de los vertebrados; contiene agua y desechos disueltos, como urea.

ósmosis: difusión de agua a través de una membrana con permeabilidad diferencial, normalmente descendiendo por un gradiente de concentración de moléculas de agua libre. El agua entra en la solución que tiene menor concentración de agua libre, desde una solución que tiene más alta concentración de agua libre.

osteoblasto: tipo de célula que produce hueso.

osteocito: célula ósea madura.

osteoclasto: tipo de célula que disuelve hueso.

osteón: unidad de hueso duro consistente en capas concéntricas de matriz ósea, con osteocitos incrustados, que rodea a un canal central pequeño el cual contiene a un capilar.

osteoporosis: condición en la que los huesos se vuelven porosos, débiles y quebradizos; es más común en mujeres de edad avanzada.

ovario: en los animales, la gónada de las hembras; en las plantas con flores, estructura en la base del carpelo que contiene uno o más óvulos y al desarrollarse forma el fruto.

oviducto: en los mamíferos, el tubo que va del ovario al útero.

ovocito primario: célula diploide, derivada del ovogonio por crecimiento y diferenciación, que sufre meiosis para producir el óvulo.

ovocito secundario: célula haploide grande derivada de la primera división meiótica del ovocito primario diploide.

ovogénesis: proceso por el cual se forman los óvulos.

ovogonio: en animales hembra, célula diploide que da origen a un ovocito primario.

ovulación: proceso por el que el ovario libera un ovocito secundario, listo para fertilizarse.

óvulo: 1 gameto haploide femenino, normalmente grande e inmóvil, que contiene reservas de alimento para el embrión en desarrollo; 2 estructura dentro del ovario de una flor, dentro de la cual se desarrolla el gametofito femenino; después de la fertilización se convierte en la semilla.

oxitocina: hormona liberada por la hipófisis posterior que estimula la contracción de los músculos del útero y las glándulas mamarias.

páncreas: glándula mixta, exocrina y endocrina, situada en la cavidad abdominal junto al estómago. La porción endocrina secreta las hormonas insulina y glucagón, que regulan las concentraciones de glucosa en la sangre. La porción exocrina secreta al intestino delgado

enzimas para digerir lípidos, carbohidratos y proteínas y neutralizar el quimo.

papila gustativa: cúmulo de células receptoras del gusto y células de apoyo situado en un pequeño foso bajo la superficie de la lengua; se comunica con la boca a través de un pequeño poro. La lengua humana tiene aproximadamente 10,000 papilas gustativas.

par de bases complementarias: en los ácidos nucleicos, bases que se aparean mediante puentes de hidrógeno. En el DNA, la adenina es complementaria de la timina y la guanina de la citosina; en el RNA, la adenina es complementaria del uracilo y la guanina de la citosina.

parasitismo: relación simbiótica en la que un organismo (por lo regular más pequeño y numeroso que su huésped) se beneficia al alimentarse del otro, el cual generalmente sufre daños, aunque no muere de inmediato.

parásito: organismo que vive dentro de un organismo mayor (o sobre él) llamado *huésped*, al cual debilita.

paratohormona: hormona secretada por la glándula paratiroides, que estimula la liberación de calcio de los huesos.

paratiroides: cada una de las cuatro pequeñas glándulas endocrinas, localizadas en la superficie de la glándula tiroidea, que produce paratohormona, la cual (junto con la calcitonina de la glándula tiroidea) regula la concentración de ion calcio en la sangre.

pared celular: capa de celulosa o de materiales similares a la celulosa, que está fuera de la membrana plasmática de plantas, hongos, bacterias y algunos protistas.

pared celular primaria: celulosa y otros carbohidratos secretados por una célula vegetal joven entre la lámina media y la membrana plasmática.

pared celular secundaria: gruesa capa de celulosa y otros polisacáridos secretada por ciertas células vegetales entre la pared celular primaria y la membrana plasmática.

parénquima: tipo de célula vegetal que está viva en su madurez; generalmente, tiene paredes celulares primarias delgadas y efectúa la mayor parte del metabolismo de la planta. Casi todas las células del meristemo de una planta que sufren división son parénquima.

partenogénesis: especialización de la reproducción sexual en la que un óvulo haploide se desarrolla sin fecundación.

partición de recursos: coexistencia de dos especies con necesidades similares, cada una de las cuales ocupa un nicho más pequeño que el que ocuparía si estuviera sola; forma de reducir al mínimo sus interacciones competitivas.

partícula subatómica: partículas que componen los átomos: electrones, protones y neutrones.

parto: serie de contracciones del útero que dan como resultado un nacimiento.

patógeno: organismo (o toxina) capaz de producir una enfermedad.

peciolo: raballo que conecta una hoja al tallo.

pelágico: que nada o flota libremente.

pelo radicular: proyección fina de una célula epidérmica de una raíz joven que incrementa su área superficial de absorción.

pelvis renal: cámara interna del riñón donde se acumula la orina de los conductos colectores antes de entrar en los uréteres.

pene: estructura externa de los sistemas reproductor y urinario masculinos; sirve para depositar espermatozoides en el sistema reproductor femenino y conduce orina al exterior.

peptídico: cadena formada por dos o más aminoácidos unidos por enlaces peptídicos.

peptídico inhibitor gástrico: hormona que produce el intestino delgado; inhibe la actividad del estómago.

peptídico natriurético atrial: hormona que secretan las células del corazón de los mamíferos; reduce el volumen sanguíneo al inhibir la liberación de ADH y aldosterona.

peptidoglicano: componente de las paredes de células procarióticas que consiste en cadenas de azúcares unidas transversalmente por cadenas cortas de aminoácidos llamadas péptidos.

perfil de DNA: el patrón de repeticiones cortas en tandem de segmentos específicos de DNA; utilizando 13 repeticiones cortas en tandem, el perfil de DNA de una persona difiere con respecto al de cualquier otro individuo sobre la Tierra.

periciclo: la capa más exterior de las células del cilindro vascular de una raíz.

peridermo: capas celulares exteriores de las raíces y tallos que han experimentado un crecimiento secundario y constan primordialmente de cambium suberígeno y células suberosas.

periodo sensible: etapa específica de la vida de un animal durante la cual tiene lugar la impronta.

peristaltismo: contracciones coordinadas rítmicas de los músculos lisos del tracto digestivo, que desplazan sustancias a través de éste.

permafrost: capa de suelo permanentemente congelada en la tundra ártica, donde no pueden crecer árboles.

permeabilidad diferencial: capacidad de ciertas sustancias para atravesar una membrana con más facilidad que otras.

perturbación: cualquier acontecimiento que perturba el ecosistema alterando su comunidad, su estructura abiótica o ambas; la perturbación precede a la sucesión.

pétalo: parte de la flor, por lo regular de colores brillantes y con fragancia, que atrae a posibles polinizadores animales.

pez de aletas lobulares: miembro del orden Sarcopterygii de los peces, que incluye a los celacantos y los peces pulmonados. Los ancestros de los actuales peces de aletas lobulares dieron origen a los primeros anfibios y, en última instancia, a los vertebrados tetrápodos.

filum (o phylum): categoría taxonómica de animales y protistas similares a animales contenida dentro de un reino y consta de clases relacionadas.

pie ambulacral: extensión cilíndrica del sistema hidrovascular de los equinodermos; sirve para locomoción, sujeción de alimentos y respiración.

piel: tejido que constituye la superficie externa del cuerpo de un animal.

píldora para el control de la natalidad: método anticonceptivo temporal que impide la ovulación mediante el suministro continuo de estrógeno y progesterona, lo que inhibe la liberación de LH; debe tomarse diariamente, por lo regular, durante 21 días de cada ciclo menstrual.

pilus (plural, pili): proyección delgada hecha de proteínas y situada en la superficie de ciertas bacterias; por lo regular sirve para unir a la bacteria con otra célula.

pinocitosis: movimiento no selectivo del fluido extracelular que queda encerrado en una vesícula formada a partir de la membrana plasmática y se transfiere al interior de la célula.

pionero: organismo que es de los primeros en colonizar un hábitat desocupado durante las primeras etapas de la sucesión.

pirámide de energía: representación gráfica de la energía contenida en niveles tróficos sucesivos, donde la energía máxima está en la base (productores primarios) y los niveles más altos corresponden a cantidades progresivamente menores.

pirógeno endógeno: sustancia química, producida por el organismo, que estimula la producción de fiebre.

piruvato: molécula de tres carbonos que se forma en la glucólisis y luego se utiliza en la fermentación o la respiración celular

placa: depósito de colesterol y otras sustancias grasas en la pared de una arteria.

placa celular: en la división de células vegetales, la serie de vesículas que se fusionan para formar las nuevas membranas plasmáticas y la pared celular que separa las células hijas.

placa cribosa: en las plantas, estructura entre dos elementos adyacentes del tubo criboso en el floema, donde agujeros formados en las paredes celulares primarias interconectan el citoplasma de los elementos; en los equinodermos, la abertura a través de la cual ingresa agua en el sistema hidrovascular.

placenta: en los mamíferos, estructura formada por una interposición compleja del revestimiento uterino y las membranas embrionarias, especialmente el corion; participa en el intercambio de gases, nutrientes y desechos entre los sistemas circulatorios embrionario y materno y secreta hormonas.

placentario: dicese de un mamífero que tiene placenta (es decir, una especie que no es marsupial ni monotrema).

plancton: organismos microscópicos que viven en entornos marinos o de agua dulce: comprende el fitoplancton y el zooplancton.

planta de día corto: planta que florece sólo si la luz solar dura menos que el periodo específico para la especie.

planta de día largo: planta que florece sólo si la luz de día tiene una duración mayor que el periodo específico para la especie.

planta de hoja perenne: planta que conserva hojas verdes durante todo el año.

planta de noche corta: planta que florece sólo si la duración de la oscuridad es menor que el periodo específico para la especie (también se conoce como *planta de día corto*).

planta de noche larga: planta que florece sólo si la duración de la oscuridad ininterrumpida es mayor que el periodo específico para la especie (también se conoce como *planta de día largo*).

planta neutral al día: planta que florece tan pronto como ha crecido y se ha desarrollado, sin que influya en ello la duración del día.

plaqueta: fragmento celular que se forma a partir de megacariocitos en la médula ósea y carece de núcleo; circula en la sangre y participa en su coagulación.

plasma: la porción fluida, no celular, de la sangre.

plásmido: pequeño fragmento circular de DNA situado en el citoplasma de muchas bacterias; normalmente no lleva genes necesarios para el funcionamiento adecuado de la bacteria, pero podría llevar genes que ayudan a la bacteria a sobrevivir en ciertos ambientes, como un gen para la resistencia a los antibióticos.

plasmodesma: puente de célula a célula en las plantas, que conecta el citoplasma de células adyacentes.

plasmodio: masa de citoplasma que semeja una babosa y contiene miles de núcleos que no están confinados dentro de células individuales.

plástidos: en las células vegetales, organelo delimitado por dos membranas que podría participar en la fotosíntesis (cloroplastos) o en el almacenamiento de pigmentos o alimentos.

pleiotropía: situación en la que un solo gen influye en más de una característica fenotípica.

población: todos los miembros de una especie dada dentro de un ecosistema, que se encuentran en el mismo tiempo y lugar y que pueden cruzarse real o potencialmente.

población de equilibrio: población en la que las frecuencias de los alelos y la distribución de los genotipos no cambian de una generación a la siguiente.

población mínima viable (PMV): población aislada más pequeña que puede subsistir indefinidamente y sobrevivir a acontecimientos naturales como incendios e inundaciones.

polen/grano de polen: gametofito masculino de una planta con semillas.

polímero: molécula compuesta de tres o más subunidades (quizá miles) más pequeñas llamadas *monómeros*, que pueden ser idénticas (como los monómeros de glucosa del almidón) o diferentes (como los aminoácidos de una proteína).

polimorfismo de la longitud del fragmento de restricción (RFLP): diferencia en la longitud de los fragmentos de restricción que se producen cortando muestras de DNA de diferentes individuos de la misma especie con el mismo conjunto de enzimas de restricción; es resultado de diferencias en las secuencias de nucleótidos entre individuos de la misma especie.

polimorfismo equilibrado: conservación prolongada de dos o más alelos en una población, normalmente porque cada alelo se ve favorecido por una presión ambiental diferente.

polinización: en las plantas con flores, cuando los granos de polen caen en el estigma de una flor de la misma especie; en las coníferas, cuando granos de polen caen en la cámara de polen de un cono femenino de la misma especie.

polipéptido: polímero corto de aminoácidos; a menudo se usa como sinónimo de proteína.

poliploide: que tiene más de dos cromosomas homólogos de cada tipo.

pólipo: etapa sedentaria, con forma de jarrón, del ciclo de vida de muchos cnidarios; incluye la hidra y las anémonas de mar.

polisacárido: molécula grande de carbohidrato compuesta de cadenas (ramificadas o no) de subunidades de monosacárido repetidas, que generalmente son moléculas de glucosa o glucosa modificada; incluye almidones, celulosa y glucógeno.

porción conductora: parte del sistema respiratorio de los vertebrados de respiración pulmonar que lleva aire a los pulmones.

porción de intercambio de gases: parte del sistema respiratorio de los vertebrados de respiración pulmonar donde se intercambian gases en los alveolos de los pulmones.

poro excretor: abertura de la pared corporal de ciertos invertebrados, como la lombriz de tierra, por donde se excreta la orina.

portador: individuo que es heterocigótico respecto a una condición recesiva; manifiesta el fenotipo dominante, pero puede transmitir el alelo recesivo a sus descendientes.

portador de electrones: molécula capaz de ganar o perder electrones de forma reversible. En general, los portadores de electrones aceptan electrones de alta energía producidos durante

una reacción exergónica y los donan a moléculas receptoras que utilizan la energía para llevar a cabo reacciones endergónicas.

posterior: el extremo trasero o de cola de un animal.

potencial biótico: tasa máxima a la que una población podría crecer suponiendo condiciones ideales que hacen posible una tasa de natalidad máxima y una tasa de mortalidad mínima.

potencial de acción: cambio rápido de un potencial eléctrico negativo a uno positivo en una neurona. Esta señal viaja por el axón sin que cambie su intensidad.

potencial de receptor: cambio de potencial eléctrico en una célula receptora que se produce en respuesta a la recepción de un estímulo ambiental (sustancias químicas, sonido, luz, calor, etcétera). La magnitud del potencial de receptor es proporcional a la intensidad del estímulo.

potencial de reposo: potencial eléctrico negativo en células nerviosas no estimuladas.

potencial postsináptico (PPS): señal eléctrica que se produce en una célula postsináptica por transmisión a través de la sinapsis; podría ser de excitación (PPSE), con lo que aumenta la probabilidad de que la célula produzca un potencial de acción, o de inhibición (PPSI), que tiende a inhibir un potencial de acción.

poza génica (gene pool): total de los alelos de todos los genes de una población; en el caso de un gen individual, el total de los alelos de ese gen que se presentan en una población.

pradera: bioma situado en los centros de los continentes, caracterizado por la presencia de pastos; también se llama *pastizal*.

pastizal: bioma que se encuentra en el centro de los continentes y donde crecen pastos; también se llama *pradera*.

preadaptación: característica que evolucionó dentro de un conjunto de condiciones ambientales y que, de manera fortuita, ayuda a un organismo a adaptarse a nuevas condiciones ambientales.

presa: organismos que son matados y comidos por otro organismo.

presión de turgencia: presión que se produce dentro de una célula (especialmente en la vacuola central de las células vegetales) como resultado del ingreso osmótico de agua.

presión osmótica: presión necesaria para contrarrestar la tendencia del agua a pasar de una solución con mayor concentración de moléculas de agua libre a una solución con menor concentración de agua libre.

primate: mamífero que se caracteriza por la presencia de un pulgar oponible, ojos que miran hacia delante y una corteza cerebral bien desarrollada; comprende los lémures, monos, simios y seres humanos.

primera ley de la termodinámica: principio físico que establece que, dentro de todo sistema aislado, la energía no se crea ni se destruye, sino sólo se transforma.

primordio foliar: cúmulo de células meristemáticas situadas en el nudo de un tallo, que al desarrollarse produce una hoja.

principio de exclusión competitiva: concepto de que dos especies cualesquiera no pueden ocupar de forma simultánea y continua el mismo nicho ecológico.

principio de Hardy-Weinberg: modelo matemático que propone que, en ciertas condiciones, las frecuencias de los alelos y las frecuencias de los genotipos de una población que se reproduce sexualmente permanecen constantes al paso de las generaciones.

prión: proteína que, en forma mutada, actúa como agente infeccioso causante de ciertas enfermedades neurodegenerativas, como el kuru y la tembladera (*scrapie*).

procariota: organismo cuyas células son procarionóticas; las bacterias y las arqueas son procarionóticas.

procariótico: dicese de las células de los dominios Bacteria o Archaea. Las células procarióticas no tienen su material genético encerrado en un núcleo delimitado por membranas; tampoco tienen otros organelos encerrados en membranas.

prosencefalo (cerebro): parte del encéfalo que se encarga del procesamiento sensorial, la dirección de las señales motrices y la coordinación de la mayoría de las actividades corporales; se compone de dos mitades casi simétricas (los hemisferios) enlazadas por una banda ancha de axones conocida como cuerpo calloso.

productividad primaria neta: la energía que se almacena en los autótrofos de un ecosistema durante un periodo dado.

producto: átomo o molécula que se forma a partir de reactivos en una reacción química.

productor: organismo fotosintético; un autótrofo.

profase: primera etapa de la mitosis, en la que los cromosomas comienzan a hacerse visibles al microscopio óptico como hebras engrosadas y condensadas, y se empieza a formar el huso; conforme se completa el huso, la envoltura nuclear se desintegra y las fibras del huso invaden la región nuclear y se unen a los cinetocoros de los cromosomas. También se llama así a la primera etapa de la meiosis: en la meiosis I, los cromosomas homólogos se aparean e intercambian partes en los quiasmas; en la meiosis II, el huso vuelve a formarse y los cromosomas se unen a los microtúbulos.

progesterona: hormona producida por el cuerpo lúteo; promueve el desarrollo del revestimiento uterino en las hembras.

prolactina: hormona secretada por la hipófisis anterior que estimula la producción de leche en la mujer.

promotor: secuencia específica de DNA a la que se une la RNA polimerasa para iniciar la transcripción de genes.

propiedad emergente: atributo intangible que surge como resultado de complejas interacciones ordenadas entre partes individuales.

prosencefalo: durante el desarrollo, parte anterior del encéfalo. En los mamíferos, el prosencefalo se diferencia para dar origen al tálamo, el sistema límbico y el cerebro. En los seres humanos, el cerebro contiene alrededor de la mitad de las neuronas del encéfalo.

prostaglandina: familia de hormonas de ácido graso modificado, fabricadas por muchas células del cuerpo.

próstata: glándula que produce parte del fluido componente del semen; el fluido prostático es alcalino y contiene una sustancia que activa el movimiento de los espermatozoides.

proteasa: enzima que digiere proteínas.

proteína: polímero de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos.

proteína de canal: proteína de la membrana que forma un canal o poro que atraviesa totalmente la membrana y que por lo general es permeable a una o a unas pocas moléculas solubles en agua, especialmente iones.

proteína de reconocimiento: proteína o glucoproteína que sobresale de la superficie externa de una membrana plasmática e identifica a la

célula como perteneciente a una especie dada, a un individuo específico de esa especie y, en muchos casos, a un órgano específico dentro del individuo.

proteína de transporte: proteína que regula el movimiento de moléculas solubles en agua a través de la membrana plasmática.

proteína portadora: proteína de la membrana que facilita la difusión de sustancias específicas a través de ella. La molécula que se ha de transportar se fija a la superficie externa de la proteína transportadora, la cual cambia entonces de forma y permite que la molécula atraviese la membrana a través de la proteína.

proteína receptora: proteína, situada en una membrana (o en el citoplasma), que reconoce moléculas específicas y se une a ellas. La unión a proteínas receptoras por lo regular hace que la célula produzca una respuesta, como endocitosis, aumento en la tasa metabólica o división celular.

protista: organismo eucariótico que no es planta, ni animal, ni hongo. El término comprende un conjunto diverso de organismos y no representa un grupo monofilético.

protocélula: precursor evolutivo hipotético de las células vivientes; consiste en una mezcla de moléculas orgánicas dentro de una membrana.

protón: partícula subatómica presente en el núcleo del átomo; lleva una unidad de carga positiva y tiene una masa relativamente grande, casi igual a la masa del neutrón.

protonefridio: sistema excretor que consiste en túbulos con abertura externa, pero sin aberturas internas; por ejemplo, el sistema de células flamíferas de los platelmintos.

protostoma: animal con un modo de desarrollo embrionario en el que el celoma se deriva de divisiones en el mesodermo; característico de los artrópodos, anélidos y moluscos.

protozoario: protista no fotosintético, con características semejantes a los animales.

pubertad: etapa del desarrollo de los humanos (que se inicia generalmente alrededor de los 13 años) caracterizada por el rápido crecimiento y la aparición de caracteres sexuales secundarios en respuesta a la creciente secreción de testosterona en los hombres y estrógeno en las mujeres.

punte: porción del rombencéfalo inmediatamente arriba del bulbo raquídeo; contiene neuronas que influyen en el sueño y el ritmo y patrón de la respiración.

punte de disulfuro: enlace covalente que se forma entre los átomos de azufre de dos cisteínas de una proteína; por lo general, hace que la proteína se pliegue al acercar partes de la proteína que de otro modo estarían distantes.

punte de hidrógeno: atracción débil entre un átomo de hidrógeno que tiene carga positiva parcial (porque está unido por un enlace covalente polar con otro átomo) y otro átomo, que generalmente es oxígeno o nitrógeno, con carga negativa parcial; los puentes de hidrógeno se forman entre átomos de una misma molécula o de diferentes moléculas.

punte transversal: en los músculos, extensión de la miosina que se une a la actina y tira de ella para producir la contracción muscular.

pulmón: cada uno de los dos órganos respiratorios que constan de cámaras que se inflan dentro de la cavidad torácica, en las cuales se efectúa intercambio gaseoso.

punto ciego: zona de la retina en la que los axones de las células ganglionares se fusionan para formar el nervio óptico.

pupa: etapa del desarrollo de algunas especies de insectos en la que el organismo deja de moverse y alimentarse y podría encerrarse en un capullo; se presenta entre las etapas larvaria y adulta.

pupila: abertura ajustable en el centro del iris, a través de la cual entra luz en el ojo.

queratina: proteína fibrosa del cabello, las uñas y la epidermis de la piel.

quiasma: punto en el que una cromátida de un cromosoma se entrecruza con una cromátida del cromosoma homólogo durante la profase I de la meiosis; lugar de intercambio de material genético entre cromosomas.

quimiorreceptor: receptor sensorial que responde a los estímulos químicos del ambiente; se utiliza en los sentidos del gusto y el olfato.

quimiosintético: capaz de oxidar moléculas inorgánicas para obtener energía.

quimiosíntesis: proceso de generación de ATP en los cloroplastos y las mitocondrias. Se utiliza el movimiento de electrones en un sistema de transporte de electrones para bombear iones hidrógeno a través de una membrana, con lo cual se crea un gradiente de concentración de iones hidrógeno a través de la membrana; los iones hidrógeno regresan por difusión a través de la membrana por los poros de las enzimas sintetizadoras de ATP; la energía liberada al bajar por el gradiente de concentración impulsa la síntesis de ATP.

quimiotáctico: que se desplaza hacia las sustancias químicas que liberan los alimentos o se aleja de las sustancias químicas tóxicas.

quimo: mezcla ácida con apariencia de caldo parcialmente digerido, agua y secreciones digestivas que pasa del estómago al intestino delgado.

quistes: etapa encapsulada de latencia del ciclo vital de ciertos invertebrados, como los platelmintos y nematodos parásitos.

quitina: compuesto presente en la pared celular de los hongos y en el exoesqueleto de los insectos y algunos otros artrópodos; se compone de cadenas de moléculas de glucosa nitrogenadas y modificadas.

radiación adaptativa: surgimiento de muchas especies nuevas en un tiempo relativamente corto como consecuencia de que una especie invade diferentes hábitat y luego evoluciona por diferentes presiones ambientales en esos lugares.

radiactivo: dicese de un átomo con núcleo inestable que se desintegra espontáneamente y al hacerlo emite radiación.

radical libre: molécula con un electrón desapareado que es altamente inestable y reactiva en relación con las moléculas circunvecinas. Al robar un electrón de la molécula que ataca, crea un radical libre e inicia una reacción en cadena que puede conducir a la destrucción de moléculas biológicas cruciales para la vida.

radiolario: protista acuático (generalmente marino) que se caracteriza por conchas de sílice casi siempre de diseño complicado.

rádula: listón de tejido en la boca de los moluscos gasterópodos; tiene numerosos denticulos en su superficie externa y sirve al animal para raspar e introducir alimento en su boca.

raíz: parte del cuerpo de la planta, generalmente subterránea, que brinda anclaje, absorbe agua y nutrientes disueltos y los transporta al tallo, produce varias hormonas y, en algunas plantas, sirve como almacén de carbohidratos.

raíz primaria: la primera raíz que se desarrolla a partir de una semilla.

raíz ramificada: raíz que brota como ramificación de otra por división de las células del periciclo y diferenciación posterior de las células hijas.

raza pura: dicese de un individuo cuyos descendientes producidos a través de la autofecundación son idénticos al tipo parental. Los individuos de raza pura son homocigotos para un rasgo dado.

razonamiento deductivo: proceso consistente en generar hipótesis acerca del probable resultado de un experimento u observación.

razonamiento inductivo: proceso de elaborar una generalización sobre la base de muchas observaciones específicas que respaldan la generalización, junto con la ausencia de observaciones que la contradigan.

reabsorción tubular: proceso por el cual células de la nefrona eliminan agua y nutrientes del filtrado que está dentro del túbulo y devuelven esas sustancias a la sangre.

reacción acoplada: par de reacciones, una exergónica y otra endergónica, vinculadas entre sí de tal forma que la energía producida por la reacción exergónica aporta la energía necesaria para llevar a cabo la reacción endergónica.

reacción de complemento: interacción entre células extrañas, anticuerpos y proteínas de complemento que da por resultado la destrucción de las células extrañas.

reacción en cadena de la polimerasa (RCP): método para producir un número prácticamente ilimitado de copias de un fragmento específico de DNA, partiendo incluso de una sola copia del DNA deseado.

reacción química: proceso que forma y rompe enlaces químicos que mantienen unidos los átomos.

reacciones dependientes de la luz: la primera etapa de la fotosíntesis, en la que la energía luminosa se capta como ATP y NADPH; se efectúa en los tilacoides de los cloroplastos.

reacciones independientes de la luz: la segunda etapa de la fotosíntesis, en la que la energía obtenida por las reacciones dependientes de la luz se usa para fijar dióxido de carbono en los carbohidratos; se efectúa en el estroma de los cloroplastos.

reactivo: átomo o molécula que se consume en una reacción química para formar un producto.

receptor: célula que responde a un estímulo ambiental (sustancias químicas, sonido, luz, pH, etcétera) modificando su potencial eléctrico; también se llama así a la molécula proteica de una membrana plasmática que se une a otra molécula (hormona o neurotransmisor) y causa cambios metabólicos o eléctricos en una célula.

receptor de célula T: receptor proteico situado en la superficie de una célula T; se une a un antígeno específico e inicia la respuesta inmunitaria de la célula T.

receptor del dolor: receptor celular que responde a ciertas sustancias que se producen como resultado del daño en un tejido, como iones potasio o bradiquinina, y es responsable de la sensación de dolor.

receptor sensorial: célula (por lo regular una neurona) especializada para responder a estímulos ambientales internos o externos específicos produciendo un potencial eléctrico.

recesivo: alelo que se expresa únicamente en homocigotos y está totalmente enmascarado en heterocigotos.

recombinación: formación de nuevas combinaciones de los diferentes alelos de cada gen de

un cromosoma; el resultado de un entrecruzamiento.

recombinación genética: generación de nuevas combinaciones de alelos de cromosomas homólogos debida al intercambio de DNA durante el entrecruzamiento.

recombinación sexual: durante la reproducción sexual, la formación de nuevas combinaciones de alelos en la progenie como resultado de la herencia de un cromosoma homólogo de cada uno de dos progenitores genéticamente distintos.

recto: porción terminal del tubo digestivo de los vertebrados, donde se acumulan las heces hasta que pueden eliminarse.

red alimentaria: representación de las complejas relaciones de alimentación (en términos de cadenas alimentarias que interactúan) de una comunidad; se incluyen numerosos organismos en diversos niveles tróficos, y muchos de los consumidores ocupan más de un nivel simultáneamente.

red nerviosa: forma simple de sistema nervioso; consta de una red de neuronas que se extienden por todos los tejidos de un organismo como un cnidario.

reflejo: movimiento simple y estereotipado de una parte del cuerpo que se efectúa automáticamente en respuesta a un estímulo.

regeneración: nuevo crecimiento de una parte del cuerpo perdida o dañada; también, reproducción asexual mediante el crecimiento de todo un cuerpo a partir de un fragmento.

región constante: parte de una molécula de anticuerpo que es similar en todos los anticuerpos de una clase dada.

región variable: parte de la molécula de un anticuerpo que difiere entre los anticuerpos: los extremos de las regiones variables de las cadenas ligera y pesada forman el sitio de unión específico para los antígenos.

regulación alostérica: proceso por el cual la acción enzimática aumenta o se inhibe, por efecto de pequeñas moléculas orgánicas que actúan como reguladoras al unirse a la enzima y alterar su sitio activo.

reino: la segunda categoría taxonómica más amplia, contenida dentro de un dominio y que consiste en fila o divisiones emparentadas.

reloj biológico: mecanismo metabólico de medición del tiempo, presente en casi todos los organismos, mediante el cual el organismo mide la duración aproximada del día (24 horas), incluso en ausencia de señales ambientales externas como la luz y la oscuridad.

renina: enzima que se libera (en los mamíferos) cuando la presión arterial o la concentración de sodio en la sangre, o ambas cosas, caen por debajo de cierto punto; inicia una cadena de sucesos que restauran la presión arterial y la concentración de sodio.

replicación semiconservativa: proceso de replicación de la doble hélice del DNA; las dos cadenas de DNA se separan y cada una se utiliza como plantilla o molde para la síntesis de una cadena de DNA complementaria. Por ello, cada doble hélice hija consiste en una cadena parental y una cadena nueva.

reproducción asexual: reproducción en la que no hay fusión de células sexuales haploides. El organismo progenitor puede dividirse y regenerar partes nuevas, o puede formarse un nuevo individuo más pequeño adherido al progenitor, para luego desprenderse de éste una vez que está completo.

reproducción diferencial: diferencias cuantitativas de reproducción entre individuos de una

población, generalmente como resultado de diferencias genéticas.

reproducción sexual: forma de reproducción en la que material genético de dos organismos progenitores se combina en la descendencia; generalmente, dos gametos haploides se fusionan para formar un cigoto diploide.

reptil: miembro del grupo de los cordados que incluye a las serpientes, los lagartos, las tortugas, los caimanes y los cocodrilos; no es un grupo monofilético.

reservas de la biosfera: regiones designadas por la ONU que pretenden conservar la biodiversidad y evaluar técnicas para el desarrollo humano sustentable mientras se preservan los valores culturales locales.

reservas núcleo: áreas naturales protegidas de casi todos los usos por parte de los seres humanos que comprenden suficiente espacio para preservar los ecosistemas con toda su biodiversidad.

reservorio: principal fuente y sitio de almacenamiento de un nutriente en un ecosistema, normalmente en la porción abiótica.

resistencia a los antibióticos: capacidad de un patógeno mutante para resistir los efectos de un antibiótico que normalmente lo mataría.

resistencia ambiental: todo factor que tiende a contrarrestar el potencial biótico y a limitar así el tamaño de una población.

respiración celular: reacciones que requieren oxígeno; se llevan a cabo en las mitocondrias y descomponen los productos finales de la glucólisis en dióxido de carbono y agua, al tiempo que captan grandes cantidades de energía en forma de ATP

respuesta inflamatoria: respuesta local no específica a una lesión del organismo; se caracteriza por que los leucocitos fagocitan las sustancias extrañas y los restos de tejidos y por el aislamiento de la zona lesionada mediante coagulación de los líquidos que escapan de los vasos sanguíneos cercanos.

respuesta inmunitaria: respuesta específica del sistema inmunitario ante la invasión del organismo por parte de una sustancia extraña o un microorganismo; las células inmunitarias reconocen la sustancia extraña y los anticuerpos se encargan de destruirla.

retículo endoplásmico (RE): sistema de tubos y poros membranosos del interior de las células eucarióticas; en él se sintetizan casi todas las proteínas y los lípidos.

retículo endoplásmico liso: retículo endoplásmico sin ribosomas.

retículo endoplásmico rugoso: retículo endoplásmico cubierto en su cara exterior por ribosomas.

retículo sarcoplásmico: retículo endoplásmico especializado de las células musculares; forma tubos huecos interconectados. El retículo sarcoplásmico almacena iones calcio y los libera al interior de la célula muscular para iniciar la contracción.

retina: membrana de tejido nervioso, con varias capas, situada al fondo de los ojos tipo cámara; se compone de células fotorreceptoras más las células nerviosas asociadas que refinan la información de fotorrecepción y la transmiten al nervio óptico.

retroalimentación negativa: situación en la que un cambio inicia una serie de sucesos que tienden a contrarrestarlo y restaurar el estado original. La retroalimentación negativa en los sistemas fisiológicos mantiene la homeostasis.

retroalimentación positiva: situación en la que un cambio da pie a sucesos que tienden a amplificarlo.

retrovirus: virus que usa RNA como material genético. Cuando invade una célula eucariótica, un retrovirus "transcribe a la inversa" su RNA a DNA, el cual dirige entonces la síntesis de más virus, empleando la maquinaria de transcripción y traducción de la célula.

ribosoma: organelo que consta de dos subunidades, cada una compuesta por RNA ribosomal y proteína; sitio de la síntesis de proteínas, durante la cual la secuencia de bases del RNA mensajero se traduce en la secuencia de aminoácidos de una proteína.

ribozima: molécula de RNA que puede catalizar ciertas reacciones químicas, sobre todo las que participan en la síntesis y el procesamiento del mismo RNA.

riñón: cada uno de los dos órganos del sistema excretor situados a los lados de la columna vertebral; se encarga de filtrar la sangre para eliminar desechos y regular su composición y contenido de agua.

rítmico circadiano: suceso recurrente que se produce cada 24 horas, aun en ausencia de señales ambientales.

rizoide: estructura semejante a una raíz, presente en las briofitas, que ancla a la planta y absorbe agua y nutrientes del suelo.

rizoma: tallo subterráneo, por lo regular horizontal, que almacena alimentos.

RNA de transferencia (tRNA): tipo de RNA que se une a un aminoácido específico, lo lleva a un ribosoma y lo acomoda para incorporarlo en una cadena de proteínas en crecimiento durante la síntesis proteica. Un conjunto de tres bases (el anticodón) del tRNA complementa el conjunto de tres bases en el mRNA (el codón) que codifica ese aminoácido en el código genético.

RNA mensajero (mRNA): cadena de RNA que es complemento del DNA de un gen y comunica la información genética del DNA a los ribosomas para usarla durante la síntesis de proteínas; las secuencias de tres bases (codones) del mRNA especifican los aminoácidos que deben incorporarse a una proteína.

RNA polimerasa: en la síntesis de RNA, enzima que cataliza la unión de nucleótidos de RNA libres para formar una cadena continua, empleando nucleótidos de RNA que son complementarios a los de una cadena de DNA.

RNA ribosómico (rRNA): tipo de RNA que se combina con proteínas para formar ribosomas.

rombencéfalo (cerebro posterior): parte posterior del encéfalo que contiene el bulbo raquídeo, el puente y el cerebelo.

ruta metabólica: sucesión de reacciones químicas dentro de una célula, en la que los productos de una reacción son los reactivos de la siguiente.

sabana: bioma dominado por pastos, que sustenta árboles dispersos y bosques de matorral espinoso; por lo regular tiene una estación de lluvias en la que cae toda la precipitación del año.

sacarosa: disacárido compuesto de glucosa y fructosa.

saco embrionario: gametofito femenino haploide de las plantas con flores.

saco vitelino: una de las membranas de los embriones de reptiles, aves y mamíferos; en las aves y los reptiles, membrana que rodea a la yema del huevo; en los mamíferos forma parte

del cordón umbilical y del tracto digestivo, pero está vacía.

sales biliares: sustancias que se sintetizan en el hígado a partir de colesterol y aminoácidos; ayudan a descomponer los lípidos dispersándose en partículas pequeñas sobre las cuales pueden actuar las enzimas.

sangre: líquido compuesto de plasma y eritrocitos en suspensión; se transporta dentro del sistema circulatorio.

saprobíota: organismo que obtiene sus nutrientes de los cuerpos de organismos muertos.

sarcodina: protista no fotosintético (protozoario) que se caracteriza por la capacidad de formar pseudópodos; algunas sarcodinas, como las amibas, son desnudas, mientras que otras tienen conchas de diseño complicado.

sarcómero: unidad de contracción de una fibra muscular; subunidad de la miofibrilla que consiste en filamentos de actina y miosina y está delimitada por líneas Z.

saturado: dicese de un ácido graso que tiene el mayor número posible de átomos de hidrógeno unidos al esqueleto de carbono; ácido graso sin dobles enlaces en su esqueleto de carbono.

secreción tubular: proceso por el cual las células del túbulo de la nefrona extraen otros desechos de la sangre, secretándolos activamente hacia el túbulo.

secretina: hormona producida por el intestino delgado que estimula la elaboración y liberación de secreciones digestivas por el páncreas y el hígado.

secuenciación del DNA: proceso para determinar el orden de los nucleótidos en una molécula de DNA.

segmentación: 1 plan corporal de un animal en el que el cuerpo se divide en unidades repetidas que por lo regular son similares. 2 primeras divisiones celulares del embrión, entre las cuales hay poco o ningún crecimiento; se reduce el tamaño de las células y se distribuyen sustancias reguladoras de los genes a la célula recién formada.

segregación: véase *ley de la segregación*.

segunda ley de la termodinámica: principio de la física que dice que cualquier cambio en un sistema aislado hace que disminuya la cantidad de energía útil concentrada y que aumente la cantidad de aleatoriedad y desorden (entropía).

segundo mensajero: sustancia intracelular, como el AMP cíclico, que se sintetiza o se libera dentro de una célula como respuesta a la unión de una hormona o neurotransmisor (el primer mensajero) con receptores de la superficie celular; es el causante de cambios específicos en el metabolismo de la célula.

selección artificial: procedimiento de cruzamiento selectivo en el que se eligen como reproductores sólo los individuos con rasgos específicos; se usa principalmente para fomentar rasgos deseables en plantas y animales domésticos; también se usa en experimentos de biología evolutiva.

selección clonal: mecanismo mediante el cual el sistema inmunitario aumenta su especificidad; un antígeno invasor suscita una respuesta de sólo unos cuantos linfocitos, los cuales proliferan hasta formar un clon de células que atacan sólo el antígeno específico que estimuló su producción.

selección de linaje: tipo de selección natural que favorece cierto alelo porque mejora la supervivencia o el éxito reproductivo de individuos afines que llevan el mismo alelo.

selección direccional: tipo de selección natural en el que se favorece un fenotipo extremo por encima de todos los demás.

selección disruptiva: tipo de selección natural en la que se favorecen ambos fenotipos extremos por encima del fenotipo medio.

selección estabilizante: tipo de selección natural en la que se eliminan los organismos que exhiben fenotipos extremos.

selección natural: supervivencia y reproducción desiguales de organismos debido a fuerzas del entorno, cuyo resultado es la preservación de adaptaciones favorables. Por lo regular, la selección natural se refiere específicamente a la supervivencia y reproducción diferenciales con base en diferencias genéticas entre los individuos.

selección sexual: tipo de selección natural en que la pareja elegida por un sexo es el agente selectivo.

selectivamente permeable: cualidad de una membrana que permite que ciertas moléculas o iones se desplacen a través de ella más fácilmente que otros.

selva tropical: bioma con condiciones uniformemente cálidas y húmedas; dominado por árboles de hojas perennes y anchas; es el bioma más diverso.

sembrar sin labrar: técnica agrícola que deja los restos de los cultivos cosechados en la parcela para formar paja y hojas para el cultivo del año siguiente.

semen: fluido producido por el tracto reproductor masculino; contiene los espermatozoides.

semilla: estructura reproductora de las plantas de semilla; está protegida por un tegumento; contiene un embrión de la planta y una provisión de alimento para éste.

senectud: en las plantas, proceso de envejecimiento específico que por lo regular incluye deterioro y la caída de hojas y flores.

sépalo: conjunto de hojas modificadas que rodean y protegen al capullo de una flor; por lo regular forman estructuras verdes, similares a hojas, cuando la flor se abre.

septo: división que separa la hifa de un hongo en células individuales; poros en los septos permiten la transferencia de materiales entre células.

serotonina: en el sistema nervioso central, neurotransmisor que interviene en el estado de ánimo, el sueño y la inhibición del dolor.

servicios de los ecosistemas: procesos por los que los ecosistemas naturales y sus comunidades vivas sostienen y satisfacen la vida humana. Los servicios de los ecosistemas incluyen purificar el aire y el agua, reponer el oxígeno, polinizar las plantas, controlar las inundaciones, ofrecer hábitat para la vida silvestre y muchos más.

seudoceloma: "falso celoma"; cavidad corporal con un origen embrionario diferente del celoma, pero con una función similar; presente en los gusanos redondos.

seudoplasmodio: agregado de células amiboides individuales que forman una masa similar a una babosa.

seudópodo: extensión de la membrana plasmática con la cual ciertas células, como las amibas, se desplazan y fagocitan a su presa.

sésil: que no puede desplazarse; por lo regular está pegado a una superficie.

sífilis: enfermedad bacteriana de transmisión sexual que afecta a los órganos reproductores;

si no se trata, puede dañar a los sistemas nervioso y circulatorio.

simbiosis: interacción estrecha entre organismos de diferentes especies durante un periodo prolongado. Una de las dos especies, o ambas, podrían beneficiarse por la asociación o (en el caso del parasitismo) uno de los participantes podría salir perjudicado. La simbiosis incluye parasitismo, mutualismo y comensalismo.

simbiótico: referente a una relación ecológica basada en la simbiosis.

simetría bilateral: distribución corporal en la que sólo un plano que pasa por el eje central divide el cuerpo en mitades que son imágenes especulares.

simetría radial: distribución corporal en la que cualquier plano que pase por un eje central dividirá el cuerpo en mitades que son aproximadamente imágenes especulares. Los cnidarios y muchos equinodermos adultos tienen simetría radial.

sinapsis: sitio de comunicación entre células nerviosas. En una sinapsis, una célula (presináptica) normalmente libera una sustancia (el neurotransmisor) que altera el potencial eléctrico de la segunda célula (postsináptica).

síndrome de alcoholismo fetal (SAF): conjunto de síntomas que incluyen retraso mental y anomalías físicas; se presenta en bebés nacidos de madres que consumieron grandes cantidades de bebidas alcohólicas durante el embarazo.

síndrome de Down: trastorno genético provocado por la presencia de tres copias del cromosoma 21; sus características más comunes incluyen retraso mental, párpados de forma peculiar, boca pequeña con lengua protruida, defectos cardíacos y escasa resistencia a las enfermedades infecciosas; también recibe el nombre de *trisomía 21*.

síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA): enfermedad infecciosa causada por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH); ataca y destruye las células T, lo que debilita el sistema inmunitario.

síndrome de Klinefelter: conjunto de características que suelen encontrarse en individuos que tienen dos cromosomas X y uno Y; estos individuos son fenotípicamente de sexo masculino, pero son estériles y tienen varios rasgos femeninos, como caderas anchas y desarrollo parcial de mamas.

síndrome de Turner: conjunto de características típicas de una mujer que sólo tiene un cromosoma X: esterilidad, muy baja estatura y falta de las características sexuales secundarias femeninas.

síndrome de Werner: condición poco común en la que un gen defectuoso causa envejecimiento prematuro; la causa es una mutación en el gen que codifica las enzimas de duplicación/replicación del DNA.

síntesis por deshidratación: reacción química en la que se unen dos moléculas mediante un enlace covalente, con eliminación simultánea de un átomo de hidrógeno de una molécula y un grupo hidroxilo de otra, que forman agua; reacción inversa de la hidrólisis.

sistema circulatorio abierto: tipo de sistema circulatorio de algunos invertebrados, como los artrópodos y moluscos, que incluye un espacio abierto (el hemocoele) en el que la sangre baña directamente tejidos corporales.

sistema circulatorio cerrado: tipo de sistema circulatorio, presente en ciertos gusanos y ver-

tebrados, en el que la sangre siempre está confinada dentro del corazón y los vasos.

sistema de complemento: serie de reacciones por las que las proteínas de complemento se unen a los anticuerpos y atraen hacia ese punto leucocitos fagocíticos que destruyen la célula invasora que desencadena las reacciones.

sistema de órganos: dos o más órganos que colaboran para desempeñar una función específica; por ejemplo, el sistema digestivo.

sistema de raíces fibrosas: sistema de raíces que es común encontrar en las monocotiledóneas y que se caracteriza por un gran número de raíces, todas aproximadamente del mismo tamaño, que salen de la base del tallo.

sistema de raíz primaria: sistema de raíces, común en las dicotiledóneas, que consiste en una raíz principal larga y gruesa y muchas raíces laterales más pequeñas, todas las cuales crecen a partir de la raíz primaria.

sistema de tejido dérmico: sistema de tejido vegetal que constituye la cubierta externa del cuerpo de la planta.

sistema de tejido fundamental: sistema de tejido vegetal compuesto de células de parénquima, colénquima y esclerénquima, que constituye la mayor parte de una hoja o un tallo tierno, con exclusión de los tejidos vascular y dérmico. Casi todas las células del tejido fundamental participan en la fotosíntesis, el sostén o el almacenamiento de carbohidratos.

sistema de tejido vascular: sistema de tejido vegetal que consiste en xilema (que transporta agua y minerales de la raíz al vástago) y floema (que transporta agua y azúcares por toda la planta).

sistema de transporte de electrones: serie de moléculas portadoras de electrones, presentes en las membranas del tilacoide de los cloroplastos y en la membrana interna de las mitocondrias, que extraen energía de los electrones y generan ATP u otras moléculas de alta energía.

sistema digestivo: conjunto de órganos encargados de ingerir y luego digerir sustancias alimenticias para transformarlas en moléculas simples que se pueden absorber y de expeler del cuerpo los residuos no digeridos.

sistema endocrino: sistema de órganos de los animales que se encarga de la comunicación entre células; se compone de hormonas y de las células que las secretan y las reciben.

sistema haversiano: véase *osteón*.

sistema hidrovacular: en los equinodermos, sistema que consiste en una serie de canales a través de los cuales se conduce agua de mar y se utiliza para inflar los pies ambulacrales para locomoción, sujeción de alimentos y respiración.

sistema inmunitario: células como los macrófagos, las células B y las células T, y moléculas como los anticuerpos, que colaboran para combatir a los microorganismos que invaden el cuerpo.

sistema límbico: grupo diverso de estructuras cerebrales, en su mayor parte en el prosencéfalo inferior, que incluye el tálamo, el hipotálamo, la amígdala, el hipocampo y partes del cerebro; interviene en las emociones básicas, impulsos, conducta y aprendizaje.

sistema linfático: sistema que consta de vasos linfáticos, capilares linfáticos, ganglios linfáticos, el timo y el bazo; ayuda a proteger al cuerpo contra infecciones, absorbe grasas y devuelve el exceso de fluido y proteínas pequeñas al sistema circulatorio sanguíneo.

sistema nervioso autónomo: parte del sistema nervioso periférico de los vertebrados que hace sinapsis en glándulas, órganos internos y músculos lisos y produce respuestas involuntarias.

sistema nervioso central: en los vertebrados, el cerebro y la médula espinal.

sistema nervioso periférico: en los vertebrados, la parte del sistema nervioso que conecta el sistema nervioso central con el resto del cuerpo.

sistema nervioso somático: porción del sistema nervioso periférico que controla el movimiento voluntario activando músculos esqueléticos.

sistema radicular: todas las raíces de una planta.

sistema urinario: sistema de órganos que produce, almacena y elimina orina, la cual contiene desechos celulares, exceso de agua y nutrientes, así como sustancias tóxicas o extrañas. El sistema urinario es fundamental para mantener las condiciones homeostáticas en el torrente sanguíneo. Incluye riñones, uréteres, vejiga y uretra.

systemática: rama de la biología que se ocupa de reconstruir filogenias, además de nombrar y clasificar a las especies.

sitio activo: región de una molécula enzimática que se une a los sustratos y ejecuta la función catalítica de la enzima.

sobreexplotación: cacería o recolección de poblaciones naturales a una tasa que excede su capacidad para reponerse en términos cuantitativos.

sombra pluvial: área seca local creada por la modificación de los patrones de lluvia por una cordillera montañosa.

sonda de DNA: secuencia de nucleótidos que es complementaria con respecto a la secuencia de nucleótidos del gen que se estudia; se usa para localizar un gen específico durante la electroforesis en gel u otros métodos de análisis de DNA.

subclímax: comunidad en la que la sucesión se detiene antes de llegar a la comunidad clímax y se mantiene por perturbaciones regulares; por ejemplo, pradera de pastos altos mantenida por incendios periódicos.

subunidad: molécula orgánica pequeña; varias de ellas podrían unirse para formar una molécula mayor. Véase también *monómero*.

sucesión: cambio estructural en una comunidad y en su entorno inanimado, con el paso del tiempo. Durante la sucesión, las especies son sustituidas por otras de forma un tanto predecible, hasta que se llega a una comunidad clímax autosuficiente.

sucesión primaria: sucesión que se da en un entorno, como roca desnuda, en el que no estaba presente rastro alguno de una comunidad previa.

sucesión secundaria: sucesión que se da después de que una comunidad existente es perturbada; por ejemplo, después de un incendio forestal. Es mucho más rápida que la sucesión primaria.

sumidero: en las plantas, cualquier estructura que consume azúcares o los convierte en almidón y hacia la cual fluyen los fluidos del floema.

surgencia: flujo ascendente que lleva agua fría, cargada de nutrientes, de las profundidades del océano a la superficie; se presenta a lo largo de costas occidentales.

sustancia de la reina: sustancia química producida por una abeja reina que puede actuar como iniciador y también como feromona.

sustitución de nucleótidos: mutación que cambia un nucleótido de una molécula de DNA por otro; por ejemplo, adenina por guanina.

sustrato: átomos o moléculas que son los reactivos de una reacción química catalizada por enzimas.

tablas de vida: tabla de datos que agrupa a los organismos nacidos en la misma época para hacer un seguimiento de ellos a lo largo de su ciclo de vida, registrando cómo muchos sobreviven en cada año sucesivo (u otra unidad de tiempo). El agrupamiento se hace de acuerdo con varios parámetros, como el sexo. Las tablas de vida incluyen muchos otros parámetros (como el nivel socioeconómico) que los demógrafos emplean con frecuencia.

taiga: bioma con inviernos largos y fríos y sólo unos cuantos meses de tiempo cálido; dominado por coníferas de hojas perennes; también llamado *bosque septentrional de coníferas o bosque boreal*.

tálamo: parte del prosencéfalo que retransmite información sensorial a muchas partes del cerebro.

tallo: porción del cuerpo de una planta que generalmente está sobre el suelo y que sostiene hojas y estructuras reproductoras como flores y frutos.

tasa de crecimiento: medida del cambio de tamaño de una población por individuo y por unidad de tiempo.

tasa de natalidad: número de nacimientos por individuo en una unidad especificada de tiempo, por lo general, un año.

tasa de mortalidad: número de muertes por individuo en una unidad especificada de tiempo, por lo general, un año.

taxis: comportamiento innato que es un movimiento dirigido de un organismo hacia un estímulo como calor, luz o gravedad o en sentido opuesto.

taxonomía: ciencia que clasifica a los organismos en categorías organizadas jerárquicamente con el fin de reflejar sus relaciones evolutivas.

Tay-Sachs, enfermedad de: enfermedad recesiva causada por una deficiencia de las enzimas que regulan la degradación de los lípidos en el cerebro.

tectónica de placas: teoría de que la corteza terrestre está dividida en placas irregulares que convergen, divergen o se deslizan una con respecto a la otra; estos movimientos causan la deriva continental, el movimiento de los continentes sobre la superficie de la Tierra.

tegumento: en las plantas, capas externas de células del óvulo que rodean el saco embrionario; se transforma en la cubierta de la semilla.

tejido: grupo de células (generalmente similares) que en conjunto desempeñan una función específica; por ejemplo, músculo; podría incluir material extracelular producido por sus células.

tejido adiposo: tejido compuesto de células que contienen grasa.

tejido conectivo: tipo de tejido compuesto de diversos tejidos como el óseo, el adiposo y el sanguíneo, que generalmente contiene grandes cantidades de material extracelular.

tejido epidérmico: tejido dérmico de las plantas que forma la epidermis, esto es, la capa celular más externa que recubre las plantas jóvenes.

tejido epitelial: tipo de tejido que forma membranas que cubren la superficie del cuerpo y

revisten sus cavidades; también da origen a glándulas.

tejido nervioso: el tejido que constituye el cerebro, la médula espinal y los nervios; consta de neuronas y células de la glía.

telofase: en la mitosis y en las dos divisiones de la meiosis, la etapa final en la que las fibras del huso desaparecen, se vuelve a formar una envoltura nuclear y, por lo general, se efectúa la citocinesis. En la mitosis y en la meiosis II, los cromosomas se relajan perdiendo su forma condensada.

telómero: nucleótidos en el extremo de un cromosoma que lo protegen del daño durante la condensación y evitan que se adhiera al extremo de otro cromosoma.

tendón: banda fibrosa de tejido conectivo que conecta un músculo a hueso.

tensión superficial: propiedad de un líquido por la cual resiste la penetración de objetos en su interfaz con el aire, en virtud de la cohesión entre las moléculas del líquido.

tentáculo: proyección alargada y extensible del cuerpo de los cnidarios y moluscos cefalópodos que puede servir para sujetar, picar e inmovilizar a la presa y para locomoción.

teoría: en ciencia, explicación general de fenómenos naturales que se basa en un gran número de observaciones susceptibles de repetición; es más general y confiable que una hipótesis.

teoría científica: explicación general de fenómenos naturales que se basa en un gran número de observaciones susceptibles de repetición; es más general y confiable que una hipótesis.

teoría de flujo-presión: modelo para el transporte de azúcares en el floema, por el cual el movimiento de azúcares al interior de un tubo criboso de floema hace que ingrese agua por ósmosis, mientras que la salida de azúcar por otra parte del mismo tubo criboso hace que salga agua por ósmosis; el gradiente de presión resultante causa el movimiento en volumen de agua y azúcares disueltos del extremo del tubo en el que se introduce azúcar al extremo del cual se saca azúcar.

teoría de la cohesión-tensión: modelo del transporte de agua en el xilema, según el cual el agua sube por los tubos del xilema impulsada por la fuerza de evaporación del agua en las hojas (que produce tensión) y se mantiene unida por efecto de los puentes de hidrógeno que se forman entre moléculas cercanas (cohesión).

terminaciones nerviosas libres: en ciertas neuronas receptoras, terminación finamente ramificada que responde al tacto y a la presión, al calor y al frío, o al dolor; produce sensaciones de comezón y cosquilleo.

terminal sináptica: engrosamiento en el extremo ramificado de un axón; punto en el que un axón forma una sinapsis.

termoacidófilo: arquea que prospera en ambientes calientes y ácidos.

termorreceptor: receptor sensorial que responde a cambios de temperatura.

territorialidad: defensa de una área que contiene recursos importantes.

testículo: gónada de los mamíferos machos.

testosterona: en los vertebrados, hormona producida por las células intersticiales de los testículos; estimula la espermatogénesis y el desarrollo de características sexuales masculinas secundarias.

tiempo meteorológico o atmosférico: fluctuaciones a corto plazo en la temperatura, la hu-

medad, la nubosidad, el viento y la precipitación durante periodos de horas a días.

tiempo de duplicación: tiempo que tomaría a una población duplicar su tamaño a la frecuencia de crecimiento actual.

tilacoide: bolsa membranosa con forma de disco que se encuentra en los cloroplastos y cuyas membranas contienen los fotosistemas y las enzimas sintetizadoras de ATP que se usan en las reacciones dependientes de la luz de la fotosíntesis.

timina: base nitrogenada que sólo está presente en el DNA; se abrevia T.

timo: órgano del sistema linfático situado en la parte superior del pecho, frente al corazón, y que secreta timosina, la cual estimula la maduración de los linfocitos.

timosina: hormona secretada por el timo que estimula la maduración de las células del sistema inmunitario.

tinción de Gram: tinción que incorporan selectivamente las paredes celulares de las bacterias de ciertos tipos (bacterias grampositivas) y que rechazan las paredes celulares de otras (bacterias gramnegativas); se usa para distinguir las bacterias de acuerdo con la composición de su pared celular.

tiroides: glándula endocrina situada en el cuello frente a la laringe; secreta las hormonas tiroxina (que afecta la tasa metabólica) y calcitonina (que regula la concentración de ion calcio en la sangre).

tiroxina: hormona secretada por la glándula tiroidea que estimula y regula el metabolismo.

tonsila: placa de tejido linfático que consiste en tejido conectivo con muchos linfocitos; situada en la faringe.

tórax: segmento entre la cabeza y el abdomen en animales segmentados; es el segmento al cual están sujetas las estructuras de locomoción.

traducción: proceso por el cual la secuencia de bases del RNA mensajero se traduce en la secuencia de aminoácidos de una proteína.

transcripción: síntesis de una molécula de RNA a partir de una plantilla o molde de DNA.

transcriptasa inversa: enzima presente en los retrovirus que cataliza la síntesis de DNA a partir de un molde de RNA.

transductor: dispositivo que convierte señales de una forma a otra. Los receptores sensoriales son transductores que convierten estímulos ambientales, como calor, luz o vibración, en señales eléctricas (como potenciales de acción) que el sistema nervioso reconoce.

transformación: método para adquirir nuevos genes, en el que el DNA de una bacteria (generalmente liberado después de que ésta muere) se incorpora al DNA de otra bacteria viva.

transgénico: animal o planta que expresa DNA derivado de otra especie.

transición demográfica: cambio en la dinámica de la población en el que una población estable experimenta rápido crecimiento y luego regresa a su tamaño estable (aunque mucho más grande).

transpiración: evaporación de agua a través de los estomas de una hoja.

transporte activo: movimiento de materiales a través de una membrana mediante el uso de energía celular, normalmente en contra de un gradiente de concentración.

transporte pasivo: movimiento de materiales a través de una membrana por un gradiente

de concentración, presión o carga eléctrica sin consumir energía celular.

tráquea: en las aves y los mamíferos, tubo duro pero flexible, sostenido por anillos cartilagineos, que conduce el aire entre la laringe y los bronquios; en los insectos, tubo con complejas ramificaciones que lleva aire desde aberturas llamadas *espiráculos* cerca de cada célula del cuerpo.

traqueofita: planta que tiene vasos conductores; planta vascular.

traqueoide: célula de xilema alargada con extremos en forma de huso, la cual contiene poros en la pared celular; forma tubos que transportan agua.

tricomoniasis: enfermedad de transmisión sexual, causada por el protista *Trichomonas*, que provoca inflamación de las membranas mucosas que recubren el tracto urinario y los genitales.

trifosfato de adenosina (o adenosín trifosfato, ATP): molécula compuesta del azúcar ribosa, la base adenina y tres grupos fosfato; es el mayor portador de energía en las células. Los dos últimos grupos fosfato están unidos por enlaces de "alta energía".

triglicérido: lípido compuesto por tres moléculas de ácido graso unidas a una sola molécula de glicerina.

trisomía 21: véase *síndrome de Down*.

trisomía X: condición de las mujeres que tienen tres cromosomas X en vez de dos, como es normal. Casi todas estas mujeres son fenotípicamente normales y fértiles.

trombina: enzima que se produce en la sangre como resultado de una lesión a un vaso sanguíneo; cataliza la producción de fibrina, una proteína que ayuda a formar coágulos de sangre.

trompa de Eustaquio: conducto que comunica el oído medio con la faringe; permite que se equilibre la presión entre el oído medio y la atmósfera.

tubo criboso: en el floema, una sola línea de elementos que transportan soluciones azucaradas.

tubo neural: estructura derivada del ectodermo durante el desarrollo embrionario temprano, la cual posteriormente se convierte en el cerebro y la médula espinal.

tubo uterino: también llamado oviducto, es el conducto que va del ovario al útero y por el que sale el ovocito secundario (óvulo).

túbulo: porción tubular de la neurona; incluye una porción proximal, el asa de Henle, y una porción distal. La orina se forma a partir del filtrado de la sangre al pasar por el túbulo.

túbulo distal: en las nefronas del riñón de los mamíferos, último segmento del túbulo renal por el que pasa el filtrado antes de vaciarse en el conducto colector; lugar de secreción y reabsorción selectivos durante el paso de agua e iones entre la sangre y el filtrado, a través de la membrana tubular.

túbulo proximal: en nefronas del riñón de los mamíferos, la porción del túbulo renal que está inmediatamente después de la cápsula de Bowman; recibe filtrado de la cápsula y es donde se inicia la secreción y reabsorción selectivas entre el filtrado y la sangre.

túbulo seminífero: en los testículos de los vertebrados, serie de tubos en los que se producen espermatozoides.

túbulo T: pliegue profundo de la membrana plasmática muscular; conduce el potencial de acción dentro de una célula.

tumor: masa que se forma en un tejido que, de otra forma, sería normal; se debe al crecimiento sin control de células.

tundra: bioma con condiciones climáticas rigurosas (frío y viento extremos y poca lluvia) que no permiten la supervivencia de árboles.

umbral: potencial eléctrico (menos negativo que el potencial de reposo) en el que se dispara un potencial de acción.

unicelular: formado por una sola célula; casi todos los miembros de los dominios Bacteria y Archaea, así como del reino Protista son unicelulares.

unidad motriz: neurona motriz individual y todas las fibras musculares en las que forma sinapsis.

uniformitarianismo: hipótesis de que la Tierra se desarrolló gradualmente a través de procesos naturales, similares a los que operan actualmente, y que se llevan a cabo a lo largo de mucho tiempo.

unión abierta (o en hendidura): tipo de unión entre células animales que tiene canales que comunican el citoplasma de las células adyacentes.

unión apretada: tipo de unión entre las células de animales que impide el paso de materiales a través de los espacios intercelulares.

unión neuromuscular: sinapsis que se forma entre una neurona motriz y una fibra muscular.

uracilo: base nitrogenada presente en el RNA; se abrevia *U*.

urea: producto de desecho de la descomposición de los aminoácidos; contiene nitrógeno, es soluble en agua y es uno de los principales componentes de la orina de los mamíferos.

uréter: conducto que lleva la orina de cada riñón a la vejiga.

uretra: conducto que va de la vejiga urinaria al exterior del cuerpo; en los machos, la uretra también recibe semen del conducto deferente y conduce tanto semen como orina (en ocasiones distintas) al extremo del pene.

útero: en mamíferos hembra, la parte del tracto reproductor que alberga al embrión durante el embarazo.

vacuna: inyección que contiene antígenos característicos de cierto organismo patógeno y que estimula una respuesta inmunitaria.

vacuola: vesícula que suele ser grande y consiste en una sola membrana que encierra un espacio lleno de fluido.

vacuola alimentaria: saco membranoso que se encuentra en el interior de una célula individual y contiene alimento. Se liberan enzimas digestivas en el interior de la vacuola, donde se lleva a cabo la digestión intracelular.

vacuola central: vacuola grande y llena de líquido que ocupa la mayor parte del volumen de muchas células vegetales; desempeña varias funciones, entre ellas la de mantener la presión de turgencia.

vacuola contráctil: vacuola llena de líquido de ciertos protistas que toma agua del citoplasma, se contrae y expelle el agua hacia fuera de la célula a través de un poro de la membrana plasmática.

vagina: conducto que va del exterior del cuerpo de un mamífero hembra al cuello del útero.

válvula auriculoventricular: válvula cardiaca entre las aurículas y los ventrículos; impide el reflujo de sangre a las aurículas durante la contracción ventricular.

válvula semilunar: par de válvulas entre los ventrículos del corazón y la arteria pulmonar y

la aorta; impide el reflujo de sangre hacia los ventrículos cuando se relajan.

válvula tricúspide: válvula que está entre el ventrículo derecho y la aurícula derecha del corazón.

variable: en un experimento científico, condición que se manipula deliberadamente para probar una hipótesis.

vascular: dicese de los tejidos que contienen vasos para transportar líquidos.

vasectomía: procedimiento quirúrgico en el que se cortan los conductos deferentes para impedir que los espermatozoides lleguen al pene durante la eyacuación y que el hombre sea fértil.

vaso: tubo de xilema compuesto por elementos de vaso apilados verticalmente y con paredes muy perforadas, o ausentes, en sus extremos para formar un cilindro hueco ininterrumpido.

vaso quilífero: capilar linfático individual que penetra cada vello del intestino delgado.

vaso sanguíneo: conducto por el que se transporta sangre a todas partes del cuerpo.

vástago: todas las partes de una planta vascular excepto la raíz; normalmente está sobre el suelo y consta de tallo, hojas, yemas y (en temporadas) flores y frutos; entre sus funciones están la fotosíntesis, el transporte de materiales, la reproducción y la síntesis de hormonas.

vector: portador que introduce genes ajenos en las células.

vejiga urinaria: órgano muscular hueco en el que se almacena la orina.

vellosidad: proyección delgada de la pared del intestino delgado que incrementa el área de absorción.

vellosidades coriónicas: en los embriones de mamífero, prolongaciones del corion, con apariencia de dedos, que penetran en el revestimiento uterino y constituyen la porción embrionaria de la placenta.

vena: en los vertebrados, vaso de diámetro grande y pared delgada que lleva sangre de las vénulas al corazón; en las plantas vasculares, haz vascular o cadena de xilema y floema en las hojas.

vena renal: la vena que lleva sangre depurada después de pasar por el riñón.

ventana oval: entrada del oído interno, cubierta por una membrana.

ventral: el lado inferior de un animal cuya cabeza está orientada hacia adelante.

ventrículo: cámara muscular inferior de cada lado del corazón, que bombea sangre hacia fuera por las arterias. El ventrículo derecho envía sangre a los pulmones; el ventrículo izquierdo bombea sangre al resto del cuerpo.

vénula: vaso angosto con paredes delgadas que lleva sangre de los capilares a las venas.

verrugas genitales: enfermedad de transmisión sexual cuya causa es un virus; forma excrescencias o protuberancias sobre los genitales externos, adentro o alrededor de la vagina o ano, o en el cuello del útero en las mujeres y en el pene, el escroto, la ingle o los muslos en los varones.

vertebrado: animal que posee una columna vertebral.

vesícula: pequeña bolsa delimitada por membrana dentro del citoplasma.

vesícula biliar: saco pequeño, próximo al hígado, en el que se guarda y se concentra la bilis que secreta el hígado. La bilis se vierte de la vesícula biliar al intestino delgado a través del conducto biliar.

vesícula seminal: en mamíferos macho, glándula que produce un fluido alcalino que contiene fructosa y forma parte del semen.

vía C₄: serie de reacciones de ciertas plantas mediante la cual se fija dióxido de carbono en ácido oxalacético, el cual se degrada posteriormente para utilizarlo en el ciclo C₃ de la fotosíntesis.

viroide: partícula de RNA que puede infectar a una célula y dirigir la producción de más viroides; causa ciertas enfermedades de las plantas.

virus: partícula parásita acelular que consiste en un recubrimiento proteico que rodea a una cadena de material genético; sólo se multiplica dentro de las células de un organismo vivo (el huésped).

virus de la inmunodeficiencia humana (VIH): retrovirus patógeno que produce el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA) al atacar y destruir las células T del sistema inmunitario.

visión binocular: capacidad para ver los objetos simultáneamente con los dos ojos, lo que brinda mayor profundidad de percepción y un juicio más exacto del tamaño de un objeto y su distancia con respecto a los ojos.

vitaminas: diversas sustancias que deben estar presentes en muy pequeñas cantidades en la dieta para mantener la salud; el cuerpo las usa junto con las enzimas en diversas reacciones metabólicas.

xilema: tejido conductor de las plantas vasculares que transporta agua y minerales de la raíz al vástago.

xilema primario: xilema de tallos jóvenes producidos a partir de un meristemo apical.

xilema secundario: xilema producido a partir de células que surgen en la parte interior del cambium vascular.

yema: en los animales, copia pequeña de un adulto que se desarrolla en el cuerpo del progenitor y finalmente se desprende y vive de forma independiente; en las plantas, brote embrionario que normalmente es muy corto y se compone de un meristemo apical con varios primordios foliares.

yema de huevo: sustancia rica en proteínas o en lípidos contenidas en el huevo y que provee alimento para el embrión en desarrollo.

yema lateral: grupo de células meristemáticas en el nudo de un tallo; en condiciones apropiadas, crece para formar una rama.

yema terminal: tejido meristemático y primordio foliar circundante situados en la punta del vástago de la planta.

zarcillo: delgado apéndice de un tallo que se enrosca en objetos externos y brinda sostén al tallo; generalmente es una hoja o rama modificada.

zona afótica: región del océano por debajo de los 200 m, donde no penetra la luz solar.

zona costera cercana: región de aguas costeras que son relativamente poco profundas, aunque siempre está sumergida; incluye bahías y pantanos costeros y puede dar sustento a plantas o algas marinas grandes.

zona de intermareas (o intermareal): zona de la costa oceánica que alternadamente queda expuesta y cubierta por las mareas.

zona fótica: región del océano donde la luz tiene la intensidad suficiente para que se efectúe la fotosíntesis.

zona limnética: zona de un lago en la que penetra suficiente luz para que se lleve a cabo la fotosíntesis.

zona litoral: zona lacustre, cercana a la orilla, en la que el agua es poco profunda y las plantas encuentran luz abundante, anclaje y suficientes nutrientes.

zona pelúcida: capa transparente, no celular, entre la zona litoral y el óvulo.

zona profunda: zona de un lago donde la luz es insuficiente para sustentar fotosíntesis.

zooflagelado: protista no fotosintético que se desplaza mediante flagelos.

zooplancton: protistas no fotosintéticos que abundan en entornos marinos y de agua dulce

zoospora: célula reproductora no sexual que nada por medio de flagelos; presente en los miembros de la división Oomycota de los protistas