



PARTE 1

La ciencia y los bloques constructores de la vida

¿Por qué croan las ranas?

En agosto de 1995, un grupo de estudiantes de una escuela media de Minnesota, que recorrían una zona de humedales en una salida de campo, descubrieron una cantidad de ranas jóvenes, la mayoría de ellas con patas deformadas, faltantes o en exceso. Este hallazgo fue una noticia nacional y llamó la atención del público sobre la transformación de la población anfibia, un tema que ya estaba siendo estudiado por muchos científicos.

Hay varias razones posibles para explicar los problemas que enfrentan los anfibios. La polución del agua es una posibilidad obvia, ya que estos animales se reproducen y pasan sus primeras etapas de la vida en estanques y arroyos. La lluvia ácida resultante de la polución del aire también podría afectar su hábitat acuático. ¿La radiación ultravioleta podría estar generando ranas "mutantes"? ¿El calentamiento global está afectando negativamente a los anfibios? ¿Hay alguna enfermedad que los ataca? Existen evidencias que apoyan cada una de estas posibilidades, pero no hay una única respuesta. En cierta oportunidad, el hallazgo de

una respuesta por parte de un estudiante abrió a los científicos una nueva perspectiva acerca de la cuestión.

En 1996, el estudiante universitario de segundo año de la Universidad de Stanford Pieter Johnson decidió, al observar una colección de ranas arborícolas del Pacífico que tenían patas extras, centrar su proyecto de investigación de graduación en hallar el origen de estas deformaciones. Las ranas provenían de un estanque situado en una región agrícola cerca de unas minas de mercurio abandonadas. Por lo tanto, dos de las posibles causas de las deformidades podían ser los agroquímicos o los metales pesados provenientes de las minas.

Pieter aplicó el *método científico*. Sobre la base de lo que ya conocía y de su investigación bibliográfica, propuso una explicación lógica para el hallazgo de las ranas monstruosas: la polución del agua. A fin de probar su idea diseñó un experimento que consistía en comparar estanques habitados por ranas deformes con otros donde las ranas eran normales y examinó la presencia o la ausencia de contaminantes. Como suele ocurrir en la ciencia, su explicación propuesta, o *hipótesis*, resultó refutada por el experimento realizado. Pero su trabajo de campo condujo al planteo de una nueva hipótesis: que

las deformidades son causadas por un parásito. Pieter llevó a cabo experimentos de laboratorio cuyos resultados apoyaron la conclusión de que cierto parásito está presente en algunos estanques. Este tipo de parásitos penetra en los renacuajos recién eclosionados y altera el desarrollo de las patas posteriores en la rana



Las ranas enfrentan serios problemas En esta muestra de ranas arborícolas del Pacífico (*Hyla regilla*) se observan múltiples deformaciones en sus patas traseras. Deformaciones similares se encontraron en ranas de diferentes regiones del mundo.



Un biólogo trabajando Como estudiante de segundo año, Pieter Johnson estudió numerosos estanques donde habitaban las ranas arborícolas del Pacífico para descubrir la razón por la cual en algunos existían tantos individuos deformes.

adulto. Si bien su investigación no explicó la transformación global de los anfibios, puso en evidencia un problema común que afecta a estos animales. Ésta es la manera de progresar de la ciencia: a través de pequeños pero sólidos pasos.

Los biólogos usan el método científico para investigar los procesos de la vida en todos los niveles, desde las moléculas hasta los ecosistemas. Algunos de estos procesos transcurren en millonésimas de segundos, en tanto otros abarcan millones de años. Los objetivos centrales de los biólogos se relacionan con la comprensión de las funciones de los organismos o grupos de organismos y, en ocasiones, utilizan ese conocimiento de un modo práctico y beneficioso.

EN ESTE CAPÍTULO se examinan las características más comunes de los organismos vivos, las cuales se analizan en el marco de los principios fundamentales que subyacen a toda la biología. A continuación se ofrece un breve panorama sobre cómo evolucionó la vida y la manera en que se relacionan los diferentes organismos de la Tierra. Por último, se abordan los temas de la investigación biológica y el método científico.

GUÍA DEL CAPÍTULO

- 11 ¿Qué es la biología?
- 12 ¿Cómo se relaciona toda la vida sobre la Tierra?
- 13 ¿Cómo investigan los biólogos la vida?
- 14 ¿Cómo influye la biología en las políticas públicas?

1.1 ¿Qué es la biología?

La **biología** es el estudio científico de los seres vivos. Los biólogos definen como “seres vivos” a toda la diversidad de organismos que descienden de un ancestro común unicelular que surgió hace casi 4.000 millones de años. Debido a este ancestro común, todos los organismos vivos comparten numerosas características que no se encuentran en el mundo no vivo. La mayoría de los seres vivos:

- tienen una o más células
- contienen información genética
- utilizan la información genética para reproducirse
- se hallan genéticamente emparentados y han evolucionado de otros similares
- pueden convertir moléculas tomadas de su ambiente en nuevas moléculas biológicas
- pueden tomar energía del ambiente y utilizarla para realizar un trabajo biológico
- pueden regular su medio interno

Esta lista puede servir como una guía que esboza los principales temas y principios unificadores de la biología y que se encuentran en este libro. Si bien es una enumeración simple, encubre la increíble complejidad y diversidad de la vida. Algunas formas de vida pueden no exhibir todas estas características durante todo el tiempo. Por ejemplo, la semilla de una planta del desierto puede transcurrir muchos años sin extraer energía del ambiente, convertir moléculas, regular su medio interno o reproducirse. Sin embargo, la semilla está viva.

¿Y qué ocurre con los virus? A pesar de que no se componen de células, probablemente evolucionaron de organismos celulares y muchos biólogos los consideran seres vivos. Los virus no pueden realizar funciones fisiológicas por sí solos; deben parasitar a las células hospedadoras para que su maquinaria realice ese trabajo por ellos, incluida la reproducción. Sin embargo, los virus contienen información genética, y ciertamente evolucionan (la evolución de los virus de la gripe requiere cambios anuales en las vacunas creadas para combatirlos). ¿Están vivos los virus? ¿Cuál es su opinión?

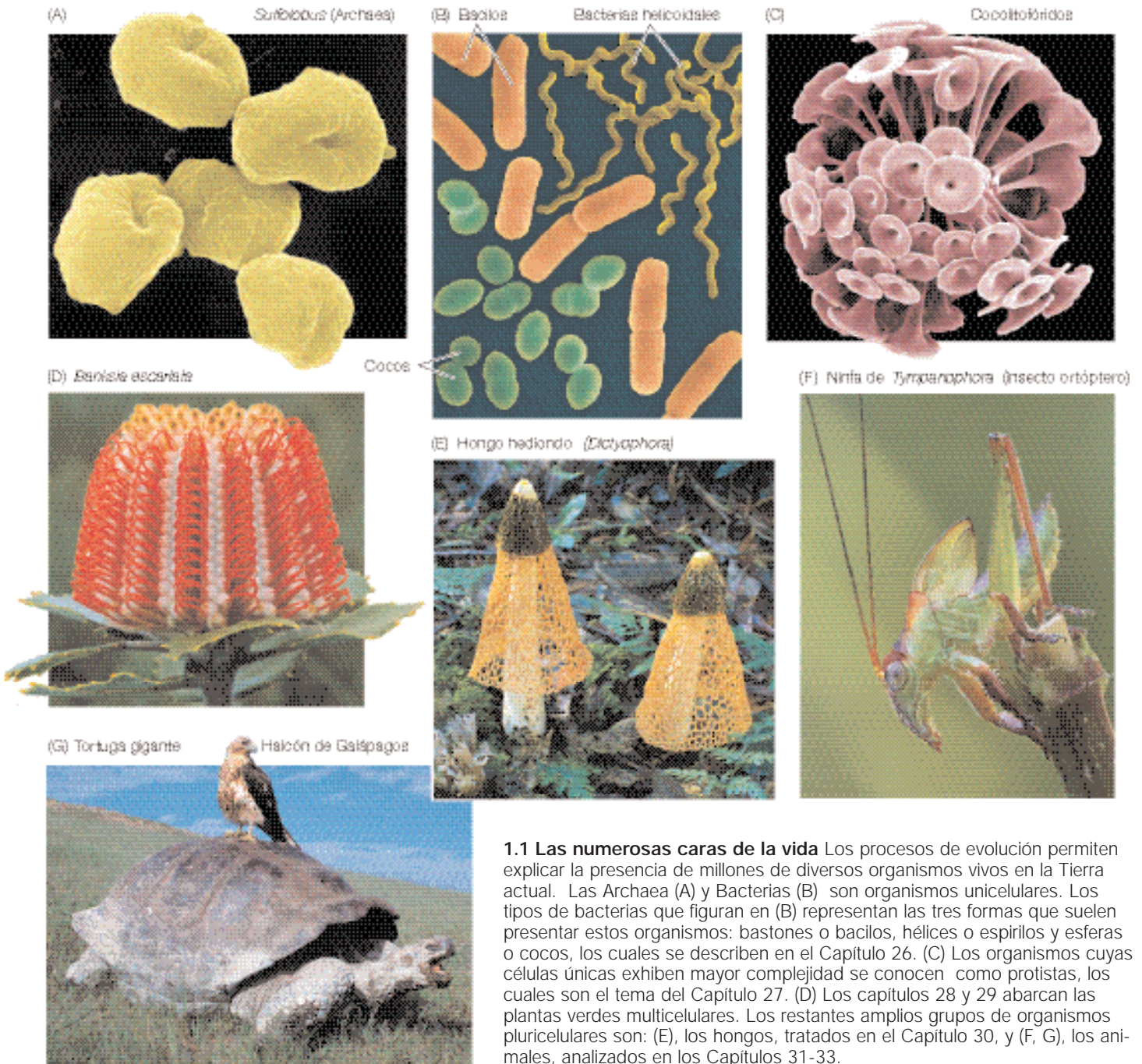
Este libro explora las características de la vida, su variación entre los organismos, su evolución y su trabajo conjunto, que les permite a los organismos sobrevivir y reproducirse. La **evolución** es un tema central en biología y, por lo tanto, lo es también en este libro. A través de la supervivencia y la reproducción diferencial, los sistemas vivos evolucionan y se adaptan a muchos ambientes terrestres. El proceso de la evolución ha generado la enorme diversidad que hoy se observa en la vida sobre la Tierra (**Figura 1.1**).

Los organismos vivos están formados por células

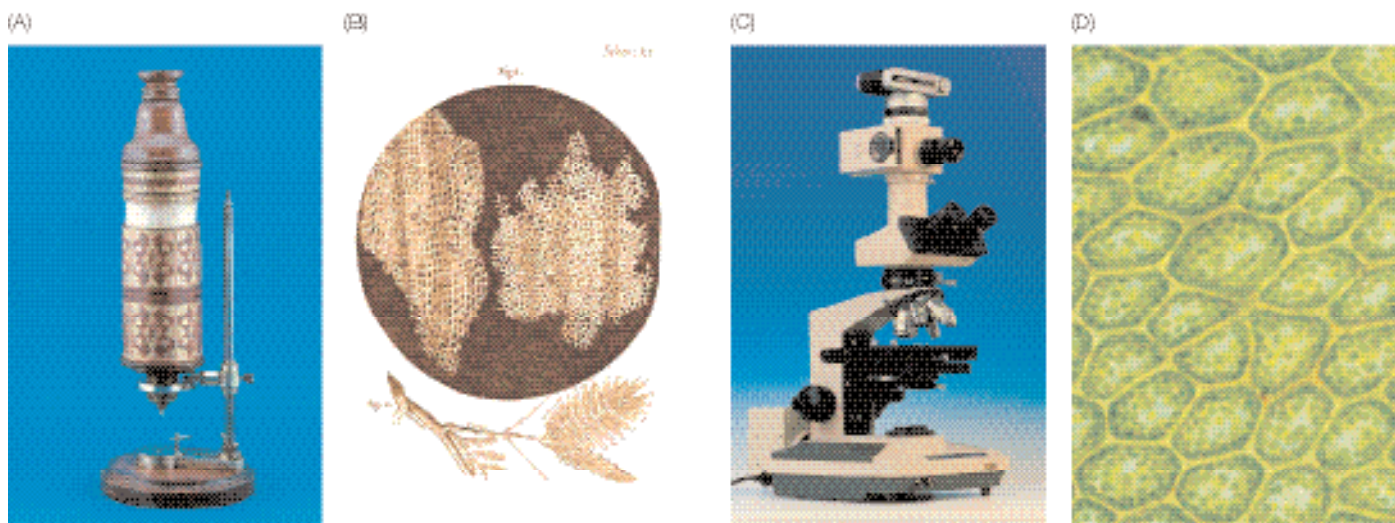
Las células y los procesos químicos dentro de ellas constituyen el tema de la Parte 2 de este libro. Algunos organismos son *unicelulares*, consisten en una única célula que realiza todas las funciones de la vida, mientras que otros son *multicelulares*, compuestos por cierto número de células que se hallan especializadas y cumplen diferentes funciones.

El descubrimiento de las células fue posible gracias a la invención del microscopio, en la década de 1590, por los fabricantes de lentes holandeses Zaccharias y Hans Janssen. Los primeros

investigadores que mejoraron la tecnología microscópica y la emplearon para estudiar a los seres vivos fueron el holandés Antoni van Leeuwenhoek y el inglés Robert Hooke, hacia mediados y finales de la década de 1600. Fue justamente Leeuwenhoek quien advirtió que las gotas de un charco de agua contienen una gran cantidad de organismos unicelulares, además de otros numerosos descubrimientos, a medida que realizó mejoras en sus microscopios a lo largo de toda una vida de investigación. Por su parte, Hooke llevó a cabo estudios similares. A partir de las observaciones de tejidos vegetales (específicamente, el corcho) llegó a la conclusión que esos tejidos estaban compuestos por numerosas unidades repetitivas: las células (**Figura 1.2**).



1.1 Las numerosas caras de la vida Los procesos de evolución permiten explicar la presencia de millones de diversos organismos vivos en la Tierra actual. Las Archaea (A) y Bacterias (B) son organismos unicelulares. Los tipos de bacterias que figuran en (B) representan las tres formas que suelen presentar estos organismos: bastones o bacilos, hélices o espirilos y esferas o cocos, los cuales se describen en el Capítulo 26. (C) Los organismos cuyas células únicas exhiben mayor complejidad se conocen como protistas, los cuales son el tema del Capítulo 27. (D) Los capítulos 28 y 29 abarcan las plantas verdes multicelulares. Los restantes amplios grupos de organismos pluricelulares son: (E), los hongos, tratados en el Capítulo 30, y (F, G), los animales, analizados en los Capítulos 31-33.



En 1676, Hooke informó que van Leeuwenhoek había observado “un amplio número de pequeños animales en sus excrementos, que resultaban más abundantes cuando tenía problemas intestinales y más escasos cuando se encontraba sano”. Esta simple observación representa el descubrimiento de las bacterias.

1.2 Toda la vida se compone de células (A) El desarrollo del microscopio, como el instrumento usado por Robert Hooke, reveló el mundo microscópico a los científicos del siglo XVII. (B) Hooke fue el primero que propuso el concepto de células, basado en sus observaciones microscópicas de cortes finos de tejidos de plantas (corcho). (C) Versión moderna del microscopio óptico o de “luz”. (D) Un microscopio óptico moderno revela las conexiones intrincadas entre las células de una hoja.

Transcurrieron más de cien años antes que los estudios de las células tuvieran adelantos significativos. En 1838, el biólogo alemán Matthias Schleiden y el belga Theodor Schwann se reunieron en un almuerzo para intercambiar ideas acerca de sus trabajos en tejidos vegetales y animales, respectivamente. Quedaron sorprendidos por las similitudes en sus observaciones y arribaron a la conclusión de que los elementos estructurales de las plantas y de los animales eran esencialmente idénticos. Formularon sus conclusiones como la teoría celular, que establece que:

- Las células son las unidades básicas estructurales y fisiológicas de todos los organismos vivos.
- Las células son, a la vez, entidades diferenciadas (autónomas) y bloques constructores de organismos más complejos.

Sin embargo, Schleiden y Schwann no comprendieron el origen de las células. Pensaron que emergían del autoensamblaje de materiales inanimados, como los cristales de una solución salina. Esta conclusión se hallaba de acuerdo con el punto de vista dominante en aquellos días, según el cual la vida surgía de objetos no vivos por generación espontánea; por ejemplo, ratones en las ropas sucias, larvas de moscas en la carne en descomposición, insectos en las mezclas de paja y agua de estanque. El debate acerca de si la vida podía surgir o no de componentes no vivos continuó hasta 1859, cuando la Academia Francesa de Ciencias patrocinó un concurso para presentar el mejor experimento que probara o desechara la generación espontánea. El premio fue ganado por el gran científico francés Louis Pasteur, cuyo experimento probó que la vida debe estar presente previamente para originar vida, como se describe en la Figura 3.30. La visión de Pasteur de los microorganismos lo llevó a proponer la teoría germinal de las enfermedades y explicar el papel de los organismos unicelulares en la fermentación de la cerveza y el vino. También diseñó un método para preservar la leche por calentamiento a fin de eliminar a los microorganismos, proceso que se conoce como pasteurización.

En la actualidad, aceptamos rápidamente el hecho de que las células provienen de células preexistentes. Además, entendemos

que las propiedades funcionales de los organismos derivan de las propiedades (estructurales) de las células. También comprendemos que las células de todo tipo comparten mecanismos esenciales que se remontan a su ancestro común, surgido hace miles de millones de años.

Por lo tanto, pueden agregarse algunas premisas a la teoría celular:

- Todas las células provienen de células preexistentes.
- Todas las células presentan una composición química similar.
- La mayoría de las reacciones químicas de la vida tienen lugar dentro de las células.
- Conjuntos completos de información genética son replicados y distribuidos durante la división celular.

Al mismo tiempo que Schleiden y Schwann sentaban los cimientos de la teoría celular, Charles Darwin comenzaba a comprender los mecanismos por los cuales los seres vivos experimentan los cambios evolutivos.

La diversidad de la vida se debe a la evolución por selección natural

La evolución por selección natural, como la propuso Charles Darwin es, tal vez, el principio unificador fundamental de la biología y constituye el tema de la Parte 5 de este libro.

Darwin planteó que los organismos vivos descendieron de ancestros comunes y, por lo tanto, se hallan relacionados entre sí. No contó con la ventaja de conocer los mecanismos genéticos de la herencia que se estudiarán en la Parte 3, pero aún así supuso que tales mecanismos existían debido a la similitud que presenta la descendencia respecto de los progenitores. Este simple hecho es la base del concepto de especie. Aunque la definición precisa de especie resulta complicada, en su uso más general se refiere a un grupo de organismos que se asemejan (“son morfológicamente similares”) y pueden reproducirse con éxito entre sí.

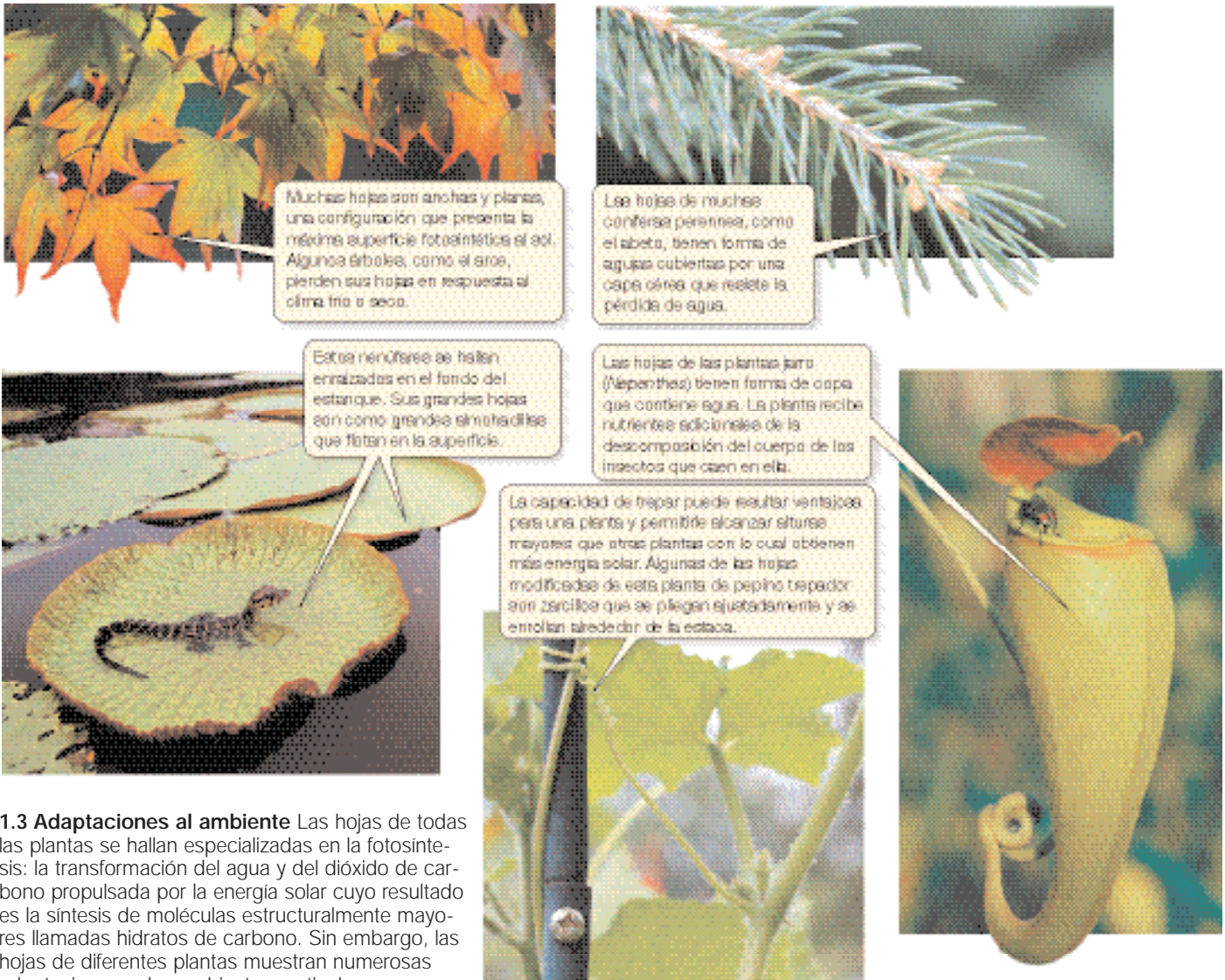
Pero la descendencia también presenta diferencias respecto de los progenitores. Cualquier población de una especie de planta o de animal exhibe variación, y si se seleccionan dos organismos que puedan reproducirse, sobre la base de algún carácter particular, éste se manifestará con mayor probabilidad en la descendencia que en el resto de la población. El propio Darwin crió pichones de palomas y estaba al tanto de cómo los criadores seleccionaban determinados patrones de plumaje, formas de pico y tamaños corporales atípicos. Se dio cuenta de que si los seres humanos podían seleccionar rasgos específicos, el mismo proceso podría operar en la naturaleza, lo que dio origen al concepto de *selección natural*.

¿Cómo funciona la selección en la naturaleza? Darwin propuso que diferentes probabilidades de supervivencia y éxito reproductivo efectuarían esta tarea. Razonó que la capacidad de reproducción de las plantas y de los animales, sin control, determinaría un crecimiento ilimitado de la población. Como esto no se observa en la naturaleza, se deduce que un pequeño porcentaje de la descendencia debe sobrevivir y reproducirse. Entonces,

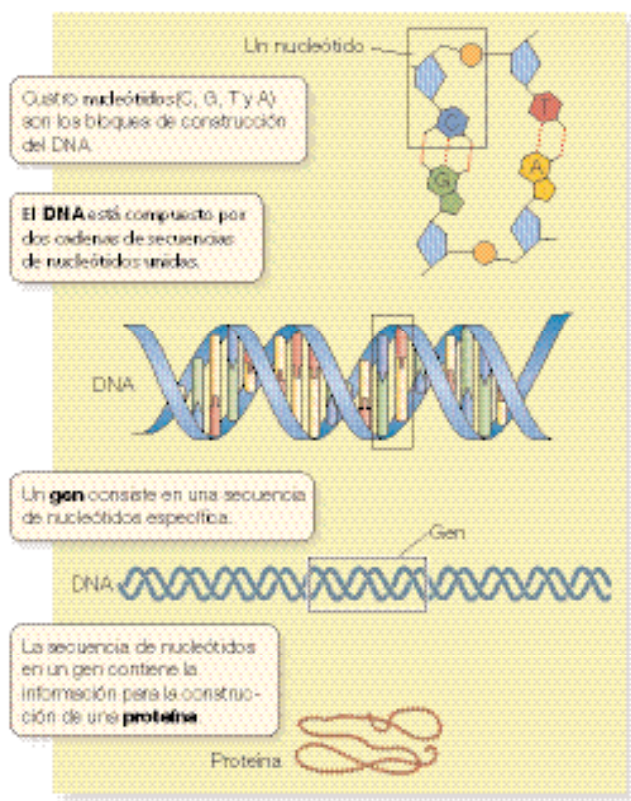
cualquier carácter que le confiera a su poseedor aun un pequeño incremento en la probabilidad de sobrevivir y reproducirse sería favorecido en mayor medida y se distribuiría en la población. Darwin denominó a este fenómeno *selección natural*.

Debido a que los organismos con tales características sobreviven y se reproducen mejor en un determinado conjunto de condiciones, la selección natural conduce a las adaptaciones: estructural (morfológica), funcional (fisiológica) y de comportamiento (etológica), que aumentan las posibilidades de supervivencia y de reproducción en su ambiente (Figura 1.3). Las numerosas comunidades ecológicas y los diferentes ambientes a los que se han adaptado los organismos durante su prolongada historia evolutiva condujeron a una notable diversidad, que se examinará en la Parte 6 de este libro.

Si todas las células provienen de células preexistentes y todas las especies de organismos de la Tierra se hallan emparentadas por su descendencia con modificaciones a partir de un ancestro común, ¿cuál es la fuente de información que pasa de las células de los progenitores a las de los descendientes?



1.3 Adaptaciones al ambiente Las hojas de todas las plantas se hallan especializadas en la fotosíntesis: la transformación del agua y del dióxido de carbono impulsada por la energía solar cuyo resultado es la síntesis de moléculas estructuralmente mayores llamadas hidratos de carbono. Sin embargo, las hojas de diferentes plantas muestran numerosas adaptaciones a los ambientes particulares.



La información biológica se halla contenida en un lenguaje genético común a todos los organismos

Las instrucciones de la célula –o “programa” para su existencia– se hallan contenidas en su genoma, que representa la suma de todas las moléculas de DNA de la célula. Las moléculas de DNA (ácido desoxirribonucleico) son largas secuencias de cuatro subunidades diferentes denominadas nucleótidos. Las secuencias de nucleótidos contienen información genética. Los segmentos específicos de DNA denominados genes contienen la información que la célula utiliza para elaborar proteínas (Figura 1.2). Las proteínas componen gran parte de la estructura del organismo y son las moléculas que gobiernan las reacciones químicas en el interior de la célula. Por analogía con un libro, los nucleótidos de DNA representan las letras de un alfabeto. Las proteínas son las oraciones que ellas determinan. Las combinaciones de proteínas que conforman las estructuras y que controlan los procesos bioquímicos equivalen, a su vez, a los párrafos de este libro. Las estructuras y los procesos que se organizan en los diferentes sistemas con tareas específicas (como la digestión o el transporte) son los capítulos y el libro completo se identifica con el organismo. La selección natural representa al autor y al editor de todos los libros de la biblioteca de la vida.

Si una persona escribiera su propio genoma utilizando cuatro letras para representar los nucleótidos, debería escribir un total de más de tres mil millones de letras. Si usara el mismo cuerpo de letra de este texto el genoma completo abarcaría alrededor de mil libros de un tamaño similar al de éste.

Todas las células de un organismo multicelular contienen los mismos genomas, aunque las diferentes células cumplen diversas funciones y forman distintas estructuras. En consecuencia, dife-

1.4 El código genético es el programa de la vida Las instrucciones para la vida se hallan contenidas en las secuencias de nucleótidos de las moléculas de DNA. Las secuencias específicas de DNA comprendidas en los genes, y la información de cada gen, proveen a la célula la información necesaria para la fabricación de proteínas específicas. La longitud promedio de un gen humano individual es de 16.000 nucleótidos.

rentes tipos de células de un organismo pueden expresar partes diversas de su genoma. El modo como el control de la expresión génica permite el desarrollo y la función de un organismo complejo constituye un tema central de la investigación biológica actual.

El genoma de un organismo consiste en millones de genes. Si la secuencia de un nucleótido de un gen se altera, es probable que la proteína que codifica también resulte alterada. Las alteraciones de los genes se denominan *mutaciones*. Las mutaciones ocurren de manera espontánea y pueden ser inducidas por diversos factores externos, como las sustancias químicas y la radiación. Muchas mutaciones son perjudiciales, aunque a veces un cambio en las propiedades de una proteína altera su función de modo tal que mejora el funcionamiento del organismo en determinadas condiciones ambientales. Estas mutaciones beneficiosas constituyen el material crudo de la evolución.

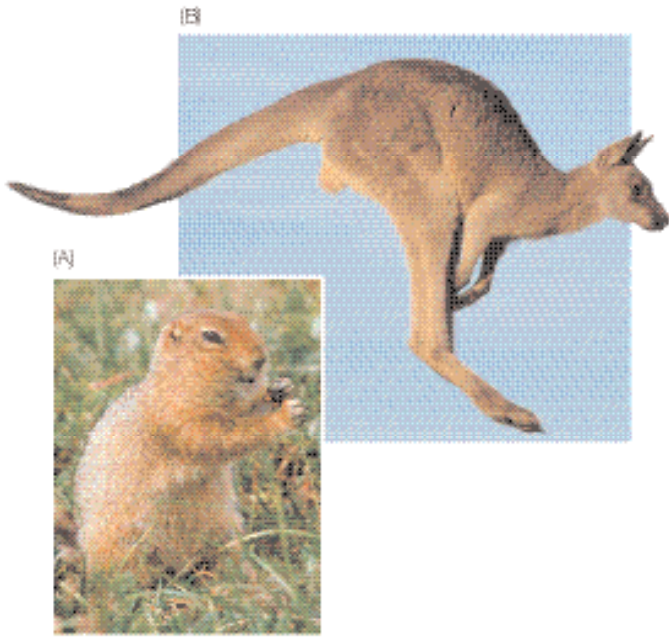
Las células utilizan nutrientes que proporcionan energía y construyen nuevas estructuras

Los organismos vivos adquieren sustancias denominadas *nutrientes* del ambiente. Los nutrientes proveen al organismo de energía y materiales para la construcción de las estructuras biológicas. Las células toman moléculas de los nutrientes y las degradan en unidades químicas más pequeñas. Al hacerlo, pueden captar la energía contenida en las uniones químicas de las moléculas de los nutrientes y usarla para realizar diferentes trabajos. Una clase de trabajo celular es la construcción o *síntesis* de nuevas moléculas complejas y de estructuras a partir de unidades químicas más pequeñas. Por ejemplo, todos estamos familiarizados con el hecho de que los hidratos de carbono consumidos hoy pueden depositarse en el cuerpo como grasa mañana (Figura 1.5A). Otra forma de trabajo celular es de tipo mecánico; por ejemplo, trasladando moléculas desde una ubicación celular a otra, o incluso moviendo células o tejidos enteros, como en el caso de los músculos (Figura 1.5B).

Los organismos vivos controlan su ambiente interno

La vida depende de miles de reacciones bioquímicas que ocurren dentro de las células. Estas estructuras requieren que los materiales sean trasladados hacia el interior o el exterior de las células de un modo controlado. En el interior de la célula, estas reacciones se hallan conectadas de modo que los productos de una de ellas constituyen los reactivos de la próxima. Esta red compleja de reacciones suele estar integrada en forma adecuada, de modo que las velocidades de reacción en la célula tienen que ser controladas en forma precisa. Una gran proporción de las actividades celulares se ocupa de la regulación de las múltiples reacciones químicas que tienen lugar en forma continua dentro de la célula.

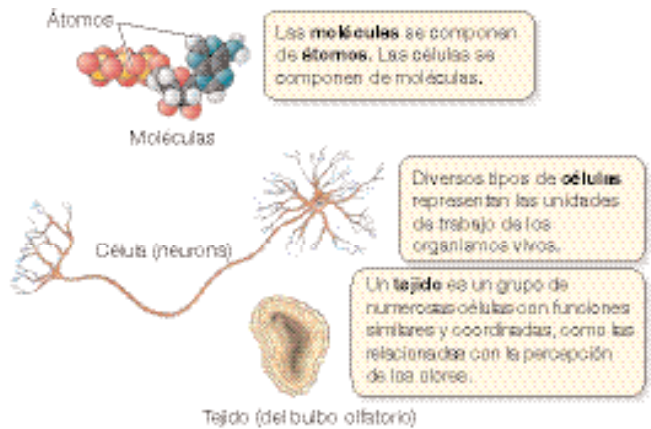
Los organismos formados por más de una célula cuentan con un *medio interno* no celular. Esto es, sus células individuales están rodeadas de fluidos extracelulares de los cuales reciben sus



1.5 La energía de los nutrientes puede almacenarse o utilizarse en forma inmediata (A) Las células de la ardilla terrestre ártica han degradado los hidratos de carbono de las plantas y convertido sus moléculas en lípidos, que se almacenan en el cuerpo del animal proporcionando energía suplementaria durante los meses fríos. (B) Las células de este canguro degradan moléculas de alimento y usan la energía de sus uniones químicas en la obtención del trabajo mecánico, en este caso, el salto.

nutrientes y en los cuales excretan sus desechos. Las células de los organismos multicelulares contribuyen de alguna manera en el mantenimiento del medio interno. Sin embargo, con la evolución de funciones especializadas, estas células pierden muchas de las funciones que cumplen en los organismos unicelulares y, por lo tanto, dependen de un medio interno para los procesos esenciales. La interdependencia de diferentes tipos de células en un organismo multicelular se puede expresar en el famoso lema de los *Tres Mosqueteros*: “Uno para todos y todos para uno”.

Estas tareas especializadas se llevan a cabo en conjuntos de células similares, los *tejidos*. Por ejemplo, una única célula muscular no puede generar suficiente fuerza, pero cuando varias de estas células se combinan en el tejido muscular, se pueden generar fuerzas y movimientos considerables (véase *Figura 1.5B*). Diferentes clases de tejidos están organizados en *órganos* que realizan funciones específicas. Ejemplos de órganos comunes son el corazón, el cerebro y el estómago, cuyas funciones se hallan interrelacionadas y se pueden agrupar en *sistemas de órganos*. Las funciones de las células, los tejidos, los órganos y los sistemas orgánicos están integradas en el organismo multicelular (*Figura 1.6*).



Las **moléculas** se componen de **átomos**. Las células se componen de moléculas.

Diversos tipos de **células** representan las unidades de trabajo de los organismos vivos.

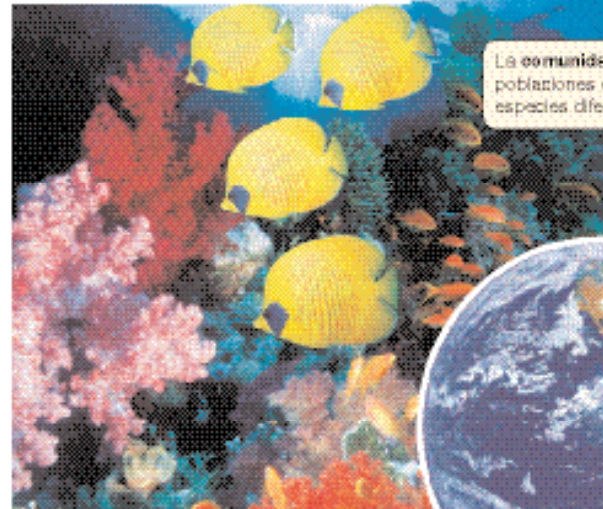
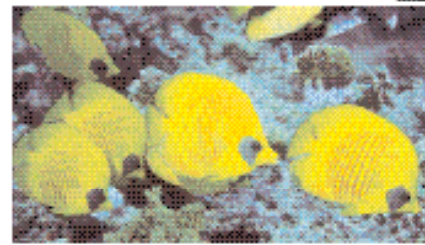
Un **tejido** es un grupo de numerosas células con funciones similares y coordinadas, como las relacionadas con la percepción de los olores.



Los **órganos** combinan diversos tejidos que funcionan en conjunto. Los órganos forman **sistemas**, como el sistema nervioso.

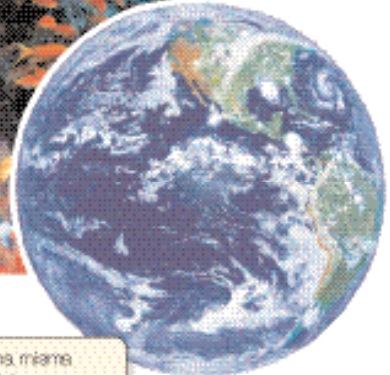
Un **organismo** es un individuo reconocible y autónomo. Un organismo multicelular está constituido por órganos y sistemas de órganos.

Una **población** es un conjunto de numerosos organismos pertenecientes a la misma especie.



La **comunidad** consiste en poblaciones de numerosas especies diferentes.

Comunidad (arrecife de coral)



Biosfera

Las comunidades biológicas en una misma localidad geográfica forman **ecosistemas** (biomas). Los ecosistemas intercambian energía y constituyen la **biosfera** terrestre.



1.6. El estudio de la biología se aplica a los diferentes niveles de organización Las propiedades de la vida surgen cuando el DNA y otras moléculas se organizan en las células. La energía fluye a través de todos los niveles biológicos que se muestran aquí.



1.7 Conflicto y cooperación Los organismos de la misma especie interactúan entre sí de varias maneras. (A) Los elefantes marinos machos territoriales defienden sectores de playa de otros competidores. El único macho que controla su sector es capaz de aparearse con todas las hembras (vistas en el fondo) que viven allí. (B) Los miembros de una colonia de suricatos se encuentran a menudo emparentados entre sí. Los suricatos cooperan de diferentes maneras, como la vigilancia de los predadores y el establecimiento de una alarma en caso de que se aproximen.

La biología de los organismos es la temática de las Partes 7 y 8 de este libro.

Como muestra la Figura 1.6, los organismos individuales no viven aislados y el ordenamiento jerárquico de la biología excede los límites de este nivel (individuo).

Los organismos vivos interactúan entre sí

Los organismos se relacionan tanto con su ambiente externo como con su medio interno. Los organismos individuales constituyen partes de *poblaciones* que interactúan entre sí y con otras de diferentes organismos.

Los organismos se relacionan de diversas maneras. Por ejemplo, algunos animales son *territoriales* y lucharán para impedir que otros individuos de su especie exploten los recursos que defienden, así se trate de alimento, sitios de nidificación o parejas (Figura 1.7A). También pueden *cooperar* con miembros de su propia especie y formar unidades sociales, como las colonias de las termitas, los cardúmenes de peces y las sociedades de suricatos (miembros de la familia de las mangostas) (Figura 1.7B). Tales interacciones entre los individuos dieron lugar a la evolución de conductas sociales, como la comunicación.

La interacción de las poblaciones de varias especies diferentes constituye una *comunidad* y las relaciones entre las especies representan una fuerza evolutiva fundamental. Las adaptaciones que le brindan ventajas al individuo de una especie para obtener alimento de miembros de otras especies (y en sentido inverso, las que disminuyen las oportunidades de los individuos de convertirse en alimento de otras especies) resultan primordiales en la historia de la evolución. Los organismos de diferentes especies pueden competir por los mismos recursos, lo que conduce a la selección natural de adaptaciones especializadas (las que permiten a algunos individuos explotar los recursos con mayor eficacia que otros).

En una localidad geográfica determinada, las comunidades que se relacionan forman *ecosistemas*, en los cuales los organismos pueden modificar el ambiente de manera que afecta a los restantes. Por ejemplo, en la mayoría de los ambientes aeroterrrestres, las plantas dominantes modifican en gran medida las condiciones en que deben vivir los animales y otras plantas. La forma en que las especies interactúan entre sí y con su ambiente es el tema de la ecología, el cual se trata en la Parte 9 de este libro.

Los descubrimientos en biología pueden generalizarse

Como toda la vida se halla relacionada por la descendencia a partir de un ancestro común, todos los organismos comparten un código genético y consisten en unidades estructurales similares, las células, de modo que el conocimiento obtenido en investigaciones específicas de un tipo de organismo puede, con prudencia, extenderse a otros organismos. En consecuencia, los biólogos tienen la posibilidad de aplicar sistemas modelos para la investigación, cuyos hallazgos pueden generalizarse a otros organismos y a los seres humanos. Por ejemplo, nuestro conocimiento básico de las reacciones químicas celulares proviene de la investigación sobre las bacterias, aunque es aplicable a todas las células, incluidas las humanas. Asimismo, la bioquímica de la fotosíntesis –el proceso por el cual las plantas usan la luz solar para producir moléculas biológicas– fue investigada mayormente mediante experimentos en *Chlorella* (un tipo de alga verde de agua dulce; véase Figura 8.12). Mucho de lo que sabemos acerca de los genes que controlan el desarrollo de las plantas lo aprendimos de la investigación con especies vegetales individuales (véase Capítulo 19). El conocimiento acerca de cómo se produce el desarrollo de los animales procede de la investigación con erizos de mar, ranas, pollos, nematodos y moscas de la fruta. Y recientemente, el descubrimiento de los principales genes que controlan el color de la piel en los seres humanos proviene del trabajo con los peces cebras. La generalización a partir de un sistema modelo es sin duda una herramienta poderosa.

REVISIÓN 1.1

Los organismos vivos están formados por células, evolucionan por selección natural, contienen información genética, extraen energía de su ambiente y la utilizan para realizar trabajo biológico, controlan su ambiente interno e interactúan entre sí.

- ¿Puede describir la relación entre evolución por selección natural y código genético? Véanse pp. 5-7
- ¿Comprende por qué los resultados de la investigación biológica sobre una especie pueden ser generalizados a varias especies diferentes? Véase p. 9

Luego de haber trazado un panorama de las principales características de la vida, que se explora en profundidad en este libro, cabe preguntar acerca de cuándo y de qué manera surgió. En la próxima sección se describe la historia de la vida desde las primeras formas simples hasta las complejas y diversas de los organismos que habitan actualmente en nuestro planeta.

1.2 ¿Cómo se relaciona toda la vida sobre la Tierra?

¿Qué quieren decir los biólogos cuando afirman que todos los organismos se hallan *genéticamente emparentados*? Esto significa que las especies terrestres comparten un *ancestro común*. Si dos especies son similares, como los perros y los lobos, es probable que hayan compartido un ancestro en un pasado más bien reciente. El ancestro común de dos especies que difieren en mayor grado –como el perro y el ciervo– probablemente proviene de un pasado más distante. Y si dos organismos son muy diferentes –por ejemplo, un perro y una almeja– entonces es necesario remontarse a un pasado *muy* lejano para hallar su ancestro común. ¿Cómo señalamos cuán distantes en el tiempo geológico se localiza el ancestro común de dos organismos? En otras palabras, ¿de qué manera descubrimos las relaciones evolutivas entre los organismos?

Durante muchos años, los biólogos investigaron la historia de la vida mediante el estudio del *registro fósil*, los restos preservados en las rocas de organismos que vivieron en el pasado geológico (Figura 1.8). Los geólogos proporcionaron el conocimiento acerca de las edades de los fósiles y la naturaleza del ambiente en que vivieron. Los biólogos lograron entonces inferir las relaciones evolutivas entre los organismos vivos y los fósiles mediante la comparación de las similitudes y las diferencias anatómicas. La aparición de los modernos métodos moleculares para la comparación de genomas, que se describe en el Capítulo 24, les permitió a los biólogos establecer en forma más precisa el grado de parentesco entre dos organismos vivos y usar esta información para ayudar a la interpretación del registro fósil.

En general, cuanto mayores son las diferencias entre los genomas de dos especies, más distante resulta el ancestro común. Utilizando las técnicas moleculares, los biólogos exploran cuestiones fundamentales acerca de la historia de la vida sobre la Tierra. ¿Cuáles eran las formas iniciales de vida? ¿Cómo dieron lugar estos organismos simples a la gran diversidad de seres que viven actualmente? ¿Es posible reconstruir el árbol familiar de toda la vida?

La vida surgió de compuestos no vivos por evolución química

Los geólogos estiman que la Tierra tiene una edad aproximada de 5.000 millones de años. Durante los primeros 1.000 millones de años no era un lugar muy hospitalario para los seres vivos y, de hecho, no había vida. Si representamos la historia de la Tierra como un calendario de 30 días, la vida probablemente surgió alrededor de la mitad de la primera semana, o sea, hace unos 4.000 millones de años (Figura 1.9).

Cuando suponemos que la vida debe haber surgido de la materia no viva, es necesario tomar en consideración las propiedades de la atmósfera, de



1.8 Los fósiles brindan una visión de la vida del pasado
Los más visibles de los organismos fosilizados de esta muestra de roca son los amonites, un grupo extinguido de moluscos cuyos parientes vivos incluyen los calamares y los pulpos. Los amonites proliferaron hace entre 200 y 60 millones de años. Este grupo particular de fósiles tiene aproximadamente 185 millones de años de antigüedad.



1.9 Calendario de la vida Si la historia de la vida en la Tierra se traza en un calendario de 30 días, la historia humana registrada abarca únicamente los últimos 5 segundos.

los océanos y del clima del joven planeta, que eran muy diferentes de los de la Tierra actual. Los biólogos postulan que las moléculas biológicas complejas surgieron en primer lugar de la asociación física aleatoria de compuestos químicos en el ambiente. Los experimentos que simulan las condiciones de la Tierra primitiva han confirmado que la generación de moléculas complejas en tales condiciones es posible, incluso probable. Sin embargo, el paso crítico para la evolución de la vida tuvo que ser la aparición de moléculas que podían replicarse y también actuar como moldes para la síntesis de grandes moléculas con formas complejas aunque estables. La variación de las formas de estas moléculas estables (descritas en el Capítulo 3) les permitió participar en cada vez mayor número y clase de interacciones con otras moléculas mediante reacciones químicas.

La evolución biológica comenzó cuando se formaron las células

El siguiente paso crítico en el origen de la vida fue la inclusión de las moléculas biológicas complejas dentro de *membranas*, que las mantuvieron juntas e incrementaron su frecuencia de interacción. Las moléculas de lípidos constituyeron el componente crítico porque estas moléculas no son solubles en agua y dan lugar a membranas en forma de películas o láminas. Estas películas tienden a formar *vesículas* esféricas, que pueden contener encapsulados en su interior determinados conjuntos de moléculas biológicas. Los científicos postulan que hace 3.800 millones de años, este proceso natural de formación de membranas dio lugar a las primeras células capaces de autorreplicación, un evento que marcó el comienzo de la evolución biológica.

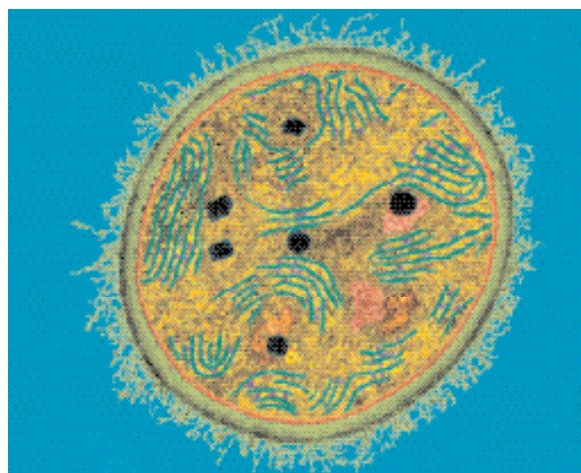
Durante 2.000 millones de años después de la aparición de las primeras células, todos los organismos fueron unicelulares. Estos primeros organismos unicelulares fueron (y son, ya que una multitud de sus descendientes existen en la actualidad) procariontes. La estructura de la célula procarionte consiste en DNA y otras sustancias bioquímicas encerradas dentro de una membrana.

Estos primeros procariontes se hallaban confinados a los océanos, donde existía una abundancia de moléculas complejas que podían utilizar como materias primas y fuentes de energía. Los océanos los protegieron de los efectos letales de la luz ultravioleta, muy intensa en aquel tiempo debido a la ausencia de oxígeno en la atmósfera y, en consecuencia, de la capa protectora de ozono.

La fotosíntesis cambió el curso de la evolución

La suma total de todas las reacciones químicas que tienen lugar en el interior de una célula constituye el metabolismo celular. A fin de controlar ese metabolismo, los primeros procariontes tomaron moléculas directamente del ambiente, degradándolas en otras más pequeñas y liberando así la energía contenida en los enlaces químicos. Numerosas especies modernas de procariontes aún funcionan de este modo con gran éxito.

Un paso extremadamente importante que cambiaría la naturaleza de la vida en la Tierra tuvo lugar hace 2.500 millones de años con la evolución de la fotosíntesis. Las reacciones químicas de la fotosíntesis (que se explican en el Capítulo 8) transforman la energía de la luz solar (energía radiante) en una forma de energía que puede emplearse en la síntesis de grandes moléculas biológicas. Estas moléculas constituyen los bloques de construcción de las células: también pueden ser degradadas y proporcionar energía metabólica. Como los procesos de captación de esta energía proveen alimento a otros organismos, la fotosíntesis es la base de gran parte de la vida actual en la Tierra.



1.10 Los organismos fotosintéticos transformaron la atmósfera terrestre Esta cianobacteria moderna podría ser muy similar a los primeros procariontes fotosintéticos que introdujeron oxígeno en la atmósfera terrestre.

Las primeras células fotosintéticas fueron probablemente similares a ciertos procariontes actuales denominados *cianobacterias* (Figura 1.10). A través del tiempo, los procariontes fotosintéticos se hicieron tan abundantes que grandes cantidades de oxígeno $-O_2$, un desecho metabólico de la fotosíntesis—comenzaron a acumularse en la atmósfera. El O_2 resultó tóxico para muchos procariontes que vivían en aquella época. Sin embargo, algunos organismos que lo toleraron pudieron proliferar, ya que la presencia de ese gas abrió nuevas y amplias “avenidas” en la evolución. El metabolismo basado en el uso del O_2 , llamado *metabolismo aerobio*, es más eficiente que el *anaerobio* (que no utiliza oxígeno), característico de los primeros organismos. El metabolismo aerobio permitió que las células crecieran más en tamaño y en la actualidad lo realizan la mayoría de los organismos terrestres.

A lo largo de millones de años, grandes cantidades de oxígeno liberadas por la fotosíntesis formaron la capa de ozono (O_3), ubicada en la alta atmósfera (estratosfera). A medida que esta capa se engrosó, interceptó en mayor grado las letales radiaciones solares ultravioleta. Únicamente en los últimos 800 millones de años la presencia de una densa capa de ozono les permitió a los organismos abandonar la protección de los océanos y vivir en tierra firme.

Las células eucariontes evolucionaron de las procariontes

Otro paso importante en la historia de la vida fue la evolución de células con compartimentos intracelulares separados, llamados orgánulos, que fueron capaces de realizar funciones celulares especializadas. Este suceso tuvo lugar aproximadamente transcurridas tres semanas del calendario de la historia de la Tierra (véase Figura 1.9). Uno de estos orgánulos, el *núcleo*, pasó a contener la información genética celular. El núcleo tiene el aspecto de un gránulo denso, que le otorga a estas células el nombre de eucariontes (del griego *eu*, “verdadero” y *karyon*, carozo, grano), a diferencia de las células procariontes, que carecen de compartimentalizaciones internas (pro, antes).

Se postula que algunos orgánulos se originaron cuando las células ingerieron otras más pequeñas (véase Figura 4.26). Por ejemplo, el orgánulo especializado en realizar la fotosíntesis, el *clo-*

roplasto, podría haber surgido como un procarionte fotosintético ingerido por un eucarionte más grande. Si la célula mayor no logró degradar este objeto nutricional, pudo desarrollarse una relación de cooperación (simbiosis) en la cual el procarionte ingerido proporcionó los productos de la fotosíntesis y la célula hospedadora ofreció un ambiente adecuado para su compañero menor.

Al surgir la multicelularidad, las células se especializaron

Hasta hace algo más de 1.000 millones de años, todos los organismos que existían –sean procariontes o eucariontes– eran unicelulares. Entonces otro paso evolutivo fundamental tuvo lugar cuando algunas células eucariontes no lograron separarse luego de la división celular y permanecieron unidas entre sí. La asociación permanente de células permitió que algunas se especializaran en ciertas funciones, como la reproducción, mientras que otras lo hicieron en variadas funciones, como la absorción de nutrientes y la distribución de éstos a las células vecinas. Esta especialización celular permitió un aumento de tamaño de los eucariontes pluricelulares, que se tornaron más eficientes en la recolección de recursos y en la adaptación a ambientes específicos.

Los biólogos pueden trazar el árbol evolutivo de la vida

Si todas las especies de organismos de la Tierra actual son descendientes de un único tipo de organismo unicelular que vivió hace alrededor de 4.000 millones de años, ¿cómo se volvieron tan diferentes entre sí? ¿Por qué existen tantas especies?

Cuando los individuos de una población se aparean al azar, los cambios estructurales y funcionales pueden evolucionar den-

tro de dicha población, si bien ésta continuará perteneciendo a una única especie. Sin embargo, si algún suceso separa algunos miembros de la población del resto de ella, se pueden acumular en el tiempo diferencias estructurales y funcionales entre ambos grupos. En resumen, los caminos evolutivos de los dos grupos de la población pueden divergir al punto que sus miembros ya no pueden volver a reproducirse entre sí; por lo tanto, habrán evolucionado en especies diferentes. Este proceso evolutivo, denominado *especiación*, se detalla en los Capítulos 22 y 23.

Los biólogos designan cada especie con un nombre científico formado por dos nombres latinizados (*binomial*). El primero identifica el género –un grupo de especies que comparte un ancestro común reciente– y el segundo, la especie. Por ejemplo, el nombre científico de la especie humana es *Homo sapiens* (*Homo* es el género y *sapiens*, la especie). Los nombres científicos se refieren casi siempre a algunas características de la especie. *Homo* deriva de la palabra latina para “hombre”, mientras que *sapiens* significa “inteligente” o “racional”.

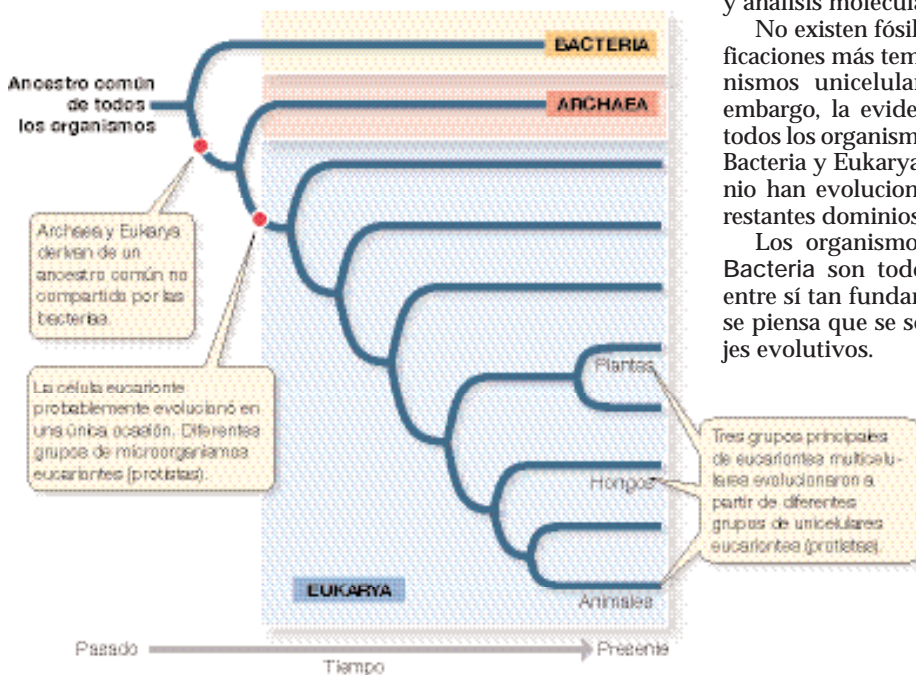
Se calcula que existen en la Tierra actual alrededor de 30 millones de especies de organismos. Varios millones de sucesos de especiación crearon la vasta diversidad; el desglosamiento de estos eventos puede diagramarse en un “árbol” evolutivo que indica el orden en que las poblaciones se separaron y derivaron en especies diferentes. Un árbol evolutivo traza la descendencia de los ancestros que vivieron en momentos diferentes del pasado. Los organismos de cada rama comparten un ancestro común en su base. Los grupos más íntimamente relacionados se sitúan juntos en la misma rama; los menos relacionados se ubican en ramas diferentes. En este libro se adoptó por convención que el tiempo corre de izquierda a derecha, por lo que el árbol de la Figura 1.11 (y otras similares en este texto) está en posición horizontal, con la raíz (el ancestro de todos los seres vivos) ubicada a la izquierda. Si bien muchos detalles permanecen sin resolución, los rasgos generales del árbol de la vida ya fueron determinados. Su patrón de ramificación se basa en un rico conjunto de evidencias: fósiles, estructuras, procesos metabólicos, comportamiento y análisis moleculares de genomas.

No existen fósiles que ayuden a la determinación de las ramificaciones más tempranas del linaje de la vida, ya que estos organismos unicelulares no presentaban partes fosilizables. Sin embargo, la evidencia molecular puede utilizarse para separar todos los organismos vivos en tres dominios principales: Archaea, Bacteria y Eukarya (Figura 1.11). Los organismos de cada dominio han evolucionado separadamente de otros ubicados en los restantes dominios durante más de mil millones de años.

Los organismos pertenecientes a los dominios Archaea y Bacteria son todos procariontes. Archaea y Bacteria difieren entre sí tan fundamentalmente en sus procesos metabólicos que se piensa que se separaron muy temprano en sus distintos linajes evolutivos.

Los miembros del tercer dominio –Eukarya– tienen células eucariontes. Tres conjuntos principales de eucariontes multicelulares –plantas, hongos y animales– evolucionaron a partir de *microorganismos eucariontes* unicelulares, más conocidos como *protistas*. El protista fotosintético que originó a las plantas era completamente diferente del protista ancestral de los animales y los hongos (como se evidencia en el patrón de ramificación de la Figura 1.11).

Algunas especies de Bacteria, Archaea y protistas, y la mayoría de las plantas pueden realizar fotosíntesis. Estos organismos se denominan *autótrofos* (“que se nutren a sí mismos”). Las moléculas bio-



1.11 El árbol de la vida El sistema de clasificación usado en este libro divide a los organismos terrestres en tres dominios: Bacteria, Archaea y Eukarya. Las ramas azules no rotuladas dentro de Eukarya representan varios grupos de microorganismos eucariontes, más conocidos como “protistas”.

lógicas que producen constituyen el alimento principal para casi todos los organismos vivos.

El grupo Fungi (hongos) incluye los mohos, los champiñones, las levaduras y otros organismos similares, todos los cuales son *heterótrofos* (“que se nutren de otros”), lo que significa que requieren una fuente de moléculas sintetizadas por otros organismos que luego degradan y así obtienen energía destinada a sus propios procesos metabólicos. Los hongos degradan las moléculas de alimento ricas en energía directamente del ambiente y luego absorben los productos degradados hacia el interior de sus células. Algunos hongos son importantes como descomponedores de los productos de desecho y los cadáveres de otros organismos.

Al igual que los hongos, los animales son heterótrofos, si bien a diferencia de ellos ingieren antes su fuente de alimento y luego la degradan en el sistema digestivo. Los animales consumen otras formas de vida, incluidas las plantas, los hongos y otros animales. Sus células absorben los productos degradados a partir de los cuales obtienen energía.

REVISIÓN 1.2

La primera forma de vida en la Tierra fue procarionte y surgió hace aproximadamente 4.000 millones de años. La complejidad de los organismos que existen en la actualidad es el resultado de varios sucesos evolutivos importantes, que incluyen la evolución de la fotosíntesis, las células eucariontes y la multicelularidad. Las relaciones genéticas entre todos los organismos pueden observarse en las ramificaciones del árbol de la vida.

- ¿Puede explicar el significado evolutivo de la fotosíntesis? Véase p. 11
- ¿Qué representan los dominios de la vida? ¿Cuáles son los grupos más importantes de eucariontes? Véanse p. 12 y Figura 1.11

En febrero de 1676, Robert Hooke recibió una carta del físico sir Isaac Newton, en la cual le escribía la famosa frase: “Si he podido ver un poco más allá es porque estoy parado sobre los hombros de gigantes”.

Todos estamos parados sobre los hombros de gigantes al construir nuestras investigaciones sobre las de los científicos que nos precedieron. Hacia el final de este curso, usted sabrá más de la evolución de lo que Darwin alguna vez pudo saber y conocerá infinitamente más acerca de las células de lo que Schleiden y Schwann supieron. Observemos los métodos utilizados por los biólogos para expandir el conocimiento de la vida.

1.3 ¿Cómo investigan los biólogos la vida?

Los biólogos utilizan numerosas herramientas y métodos en sus investigaciones, pero independientemente del método que utilicen, tienen en cuenta dos aproximaciones básicas para el estudio de la vida: observan y realizan experimentos.

La observación es una importante destreza

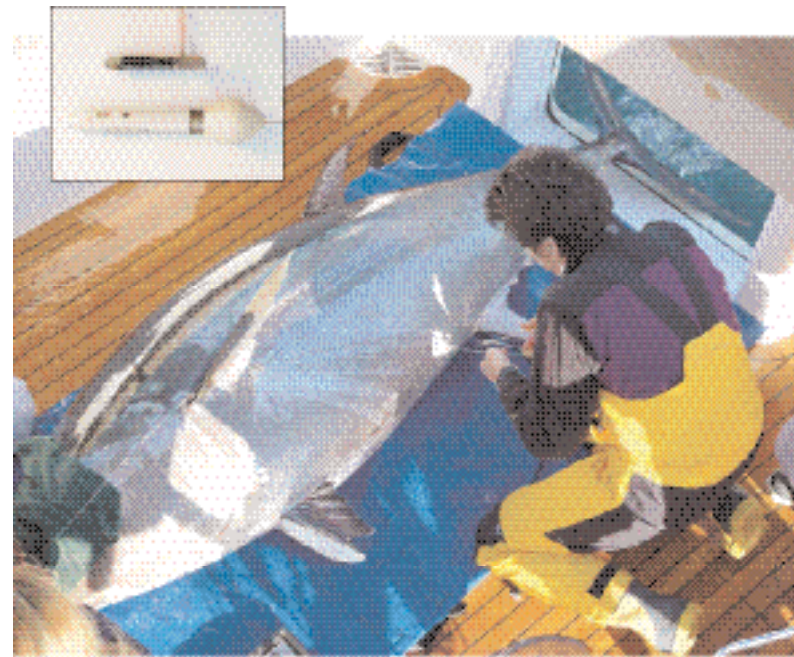
Los biólogos siempre observaron el mundo que los rodeaba, aunque en la actualidad estas capacidades se hallan muy ampliadas debido a las numerosas y complejas técnicas, como el microscopio electrónico, los chips de DNA, la resonancia magnética y los satélites globales de posicionamiento. Los avances en la tec-

nología son responsables de los fundamentales progresos de la biología. Por ejemplo, no hace demasiado tiempo, resultaba extremadamente difícil descifrar una secuencia de nucleótidos que componía un único gen y debía invertirse mucho tiempo en ello. Las nuevas técnicas les permitieron a los biólogos secuenciar el genoma humano completo en tan sólo 13 años (de 1990 a 2003). En la actualidad, los científicos emplean estos métodos en forma habitual, mediante la secuenciación de los genomas de los organismos (incluidos los que causan enfermedades graves) en sólo días. Algunas de estas técnicas y lo que se explicó de ellas se detallan en la Parte 4 de este libro.

Nuestra capacidad para observar la distribución de organismos, por ejemplo los peces en los océanos mundiales, ha mejorado en forma drástica. Hasta hace poco, los investigadores debían pegar una etiqueta sobre los peces y esperar que en algún momento un pescador lo capturara y devolviera la etiqueta, lo que al menos revelaría en qué sitio culminó el pez su viaje. Hoy, los aparatos de registro electrónico unidos al pez inspeccionan en forma continua no sólo su ubicación, sino también la profundidad en la que nada en diferentes horas del día, junto con la temperatura y la salinidad del agua que lo rodea (Figura 1.12). En determinados intervalos, estos registros envían la información hasta los satélites, los cuales, a su vez, la derivan a los investigadores. Como resultado, se está acumulando un amplio conocimiento acerca de la distribución de la vida en los océanos.

El método científico combina observación y lógica

Las observaciones conducen a interrogantes, y los científicos realizan observaciones adicionales y experimentos para responderlos. La aproximación conceptual que subyace al diseño y la



1.12 Mercado del atún La bióloga marina Barbara Block colocó marcas de registro electrónico a un atún de aletas azules. El uso de tales marcas posibilita el seguimiento de cada atún por dondequiera que viaje en los océanos mundiales.

conducción de la mayoría de las investigaciones científicas modernas se denomina método científico. Esta poderosa herramienta, también conocida como *método de hipótesis-predicción (H-P)*, es una aproximación conceptual que proporciona fuertes fundamentos para avanzar en el conocimiento biológico. El método científico consta de cinco pasos:

- Realizar *observaciones*.
- Formular *preguntas*.
- Postular *hipótesis*, o respuestas tentativas a los interrogantes.
- Hacer *predicciones* sobre la base de las hipótesis.
- *Probar* esas predicciones mediante observaciones adicionales o la realización de experimentos.

Cuando se ha planteado un interrogante, el científico emplea la lógica inductiva para proponer una respuesta tentativa a dicha pregunta. Esa respuesta tentativa se llama hipótesis. Por ejemplo, en el comienzo de este capítulo relatamos cómo a Pieter Johnson le llamaron la atención las ranas anormales que habitaban ciertos estanques. El primer interrogante que estimuló la observación fue si existía algo en estos cuerpos de agua que hiciera que las ranas sufrieran anomalías anatómicas tan extremas.

Al formular una hipótesis, los científicos reúnen todos los hechos ya conocidos para proponer una o más posibles respuestas a la cuestión. Pieter sabía que probablemente existían contaminantes en los estanques donde se hallaban las ranas deformes, ya que los pesticidas agrícolas eran de uso frecuente en la región. Además, el mercurio se había extraído de minas situadas en las proximidades y, en consecuencia, las minas abandonadas podían ser una fuente de metales pesados en el agua. También sabía que había estanques próximos en los que las ranas se desarrollaban normalmente. Por lo tanto, su primera hipótesis fue que los contaminantes en el agua causaban mutaciones en los huevos de las ranas.

El siguiente paso en el método científico es la aplicación de una forma diferente de lógica –la *lógica deductiva*– para realizar predicciones basadas en las hipótesis. Sobre la base de sus hipótesis, Pieter predijo 1) que se hallarían contaminantes en los estanques con ranas anormales y 2) que los huevos provenientes de dichos estanques producirían ranas anormales cuando se hicieran eclosionar en el laboratorio.

Los buenos experimentos pueden falsear hipótesis

Tan pronto como se realizan predicciones a partir de una hipótesis, es posible diseñar experimentos para probarlas. Los experimentos más informativos son aquellos que pueden demostrar que estas predicciones son incorrectas. Si la predicción es incorrecta, la hipótesis debe ser cuestionada, modificada o rechazada.

Ambas predicciones iniciales de Pieter Johnson resultaron erróneas. Contó las ranas y otros organismos en 35 estanques de la región donde se hallaban las ranas anormales y registró la

EXPERIMENTO

HIPÓTESIS: Algo en el ambiente está causando anomalías en el desarrollo de las patas de las ranas arborícolas del Pacífico (*Hyla regilla*).


MÉTODO

1. Se identifica un área de ensayo de estanques pequeños en un sector en el que se hallaron ranas arborícolas deformes (tierra agrícola en el Condado de Santa Clara, California).
2. Se recolectan muestras de agua de los estanques y se analizan.
3. Se efectúa un censo de los organismos de los estanques.
4. Se buscan relaciones entre la presencia de anomalías en las ranas y las características de los estanques.


RESULTADOS

Se encontraron ranas arborícolas del Pacífico en 13 de 35 estanques. Las ranas con anomalías en las patas traseras fueron halladas en 4 de estos 13 estanques. El análisis del agua y el censo de los 13 estanques con ranas revelaron que no existía diferencia de polución en el agua, aunque sí la presencia de caracoles infectados con gusanos planos parásitos del género *Ribeiroia* en los 4 estanques con ranas anormales.

	¿Pesticidas de plaguicidas en el agua?	¿Metales pesados en el agua?	¿Agentes químicos industriales en el agua?	¿Caracoles en el agua?	¿ <i>Ribeiroia</i> en el agua?	¿Larvas de <i>Ribeiroia</i> en las ranas?
Estanques con ranas normales	No	No	No	No	No	No
Estanques con ranas anormales	No	No	No	Si	Si	Si



Patá trasera deformada



Condado de Santa Clara, California

CONCLUSIÓN: La infección con el parásito *Ribeiroia* puede causar anomalías en el desarrollo de las patas traseras de las ranas arborícolas del Pacífico.

1.13 Los experimentos comparativos buscan las diferencias entre grupos Pieter Johnson analizó las diferencias entre los estanques con ranas deformes y los estanques cercanos sin ellas. Tales comparaciones pueden aportar datos valiosos.

presencia de sustancias químicas en el agua. Trece de los estanques estaban habitados por las ranas arborícolas del Pacífico, aunque sólo en cuatro se hallaron ranas deformes. Para su sorpresa, el análisis de las muestras de agua no mostró cantidades aumentadas de pesticidas, químicos industriales o metales pesados en los estanques donde se hallaban las ranas deformes. Asombrosamente también para él, cuando recolectó huevos de esos estanques y los hizo eclosionar en el laboratorio, siempre obtuvo ranas normales. La hipótesis original que establecía que los contaminantes causaban mutaciones en los huevos de rana debió ser rechazada. Así, se formuló una nueva hipótesis y se realizó un nuevo experimento.

Existen dos tipos generales de experimentos y Pieter recurrió a ambos:

- En un experimento comparativo, se predice que van a existir diferencias entre las muestras o grupos basados en las hipótesis. Entonces, se prueba si existen o no las diferencias postuladas.
- En un experimento controlado, de igual manera se comparan muestras o grupos, aunque en este caso se inicia el experimento con grupos que resultan lo más parecidos posibles. Se predice sobre la base de las hipótesis que algún factor, o variable, desempeñará un papel en el fenómeno que se está investigando. A continuación, se emplea algún método para

la manipulación de la *variable* en un grupo “experimental” mientras se deja un grupo “control” sin alteraciones; luego se prueba si esa manipulación genera la diferencia postulada entre los grupos experimental y de control.

EXPERIMENTOS COMPARATIVOS Los experimentos comparativos resultan valiosos cuando no se conocen o no es posible controlar las variables críticas. Pieter Johnson realizó un experimento comparativo en el que analizó el agua de los estanques (Figura 1.13). Su desafío fue hallar alguna variable que mostrara diferencias entre los estanques con ranas normales y anormales. Al no hallar diferencias en la química del agua de los dos tipos de estanques, debió rechazar la hipótesis que postulaba que los contaminantes ambientales eran la causa de las mutaciones de las ranas. Entonces, comparó los dos tipos de estanques para ver qué variables *resultaban* diferentes entre ellos.

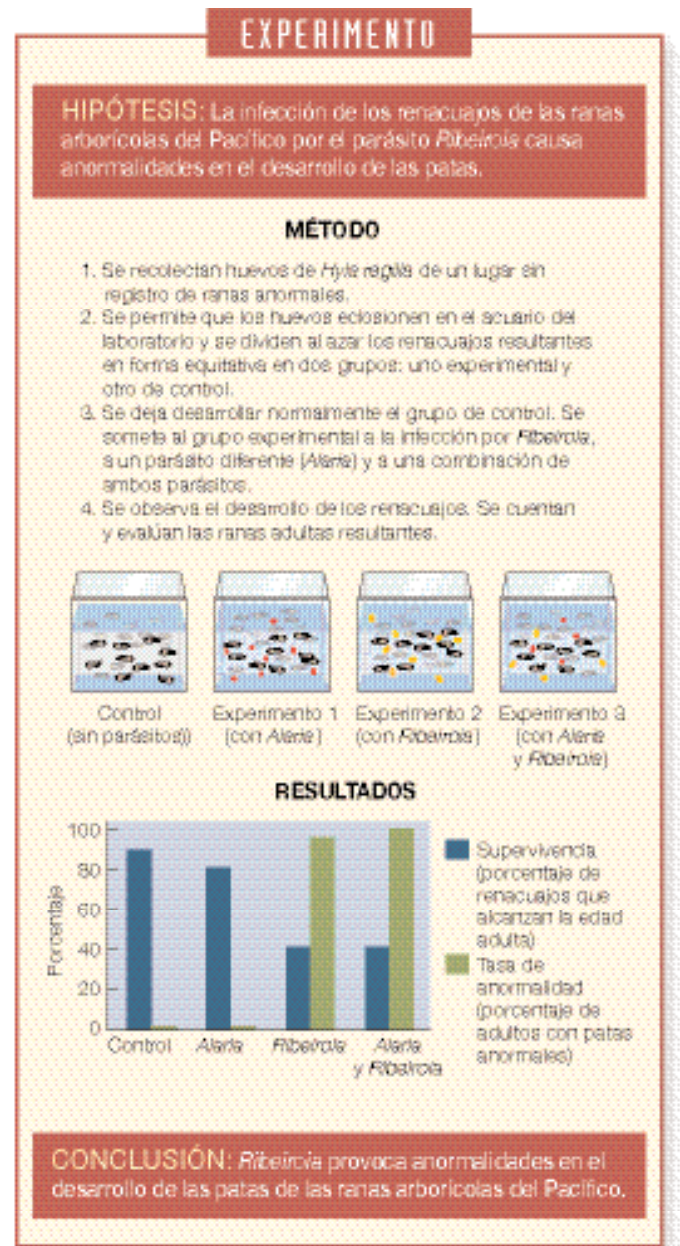
Encontró que una especie de caracol de agua dulce se hallaba presente en los estanques con ranas anormales, aunque faltaba en aquellos con ranas normales. Los caracoles de agua dulce son hospedadores de numerosos parásitos. Entonces, la nueva hipótesis consistió en que un parásito que infectaba al caracol era de alguna forma responsable de las deformidades de las ranas. Para probarlo, realizó experimentos controlados.

EXPERIMENTOS CONTROLADOS En los experimentos controlados, una variable es manipulada mientras que otras se mantienen constantes. La variable modificada se llama *variable independiente* y la respuesta medida es la *variable dependiente*. Un buen experimento controlado no resulta fácil de diseñar, ya que las variables biológicas están tan interrelacionadas que es difícil alterar una sola de ellas.

Muchos parásitos atraviesan ciclos de vida complejos y con numerosas etapas, cada una de las cuales requiere un hospedador animal específico. Pieter se centró en la posibilidad de que algún parásito que utilizaba los caracoles de agua dulce como uno de sus hospedadores infectaba también a las ranas y causaba sus deformidades y lo encontró: un pequeño gusano plano cuyo nombre científico es *Ribeiroia* se hallaba presente en los estanques donde vivían las ranas deformes.

En el experimento controlado de Pieter, la variable independiente fue la presencia o la ausencia del caracol y del parásito (Figura 1.14). Controló todas las restantes variables mediante la recolección de huevos de rana de los estanques donde faltaban los caracoles o los gusanos planos parásitos y los hizo eclosionar en el laboratorio. Dividió los renacuajos resultantes en dos grupos, que colocó en tanques separados. Introdujo caracoles y parásitos en la mitad de estos tanques (el grupo experimental) y dejó los restantes tanques (el grupo control) libres de caracoles y parásitos. Su variable dependiente fue la frecuencia de anomalías en las ranas que se desarrollaban en diferentes conjuntos de condiciones. Encontró que el 85% de las ranas en los tanques experimentales con *Ribeiroia* tenían anomalías, mientras que las de los restantes estanques no presentaban ninguna anomalía. Por lo tanto, los resultados de Pieter confirmaron sus hipótesis y pudo continuar su investigación acerca de cómo los parásitos causaban anomalías en el desarrollo de las ranas.

Ribeiroia utiliza tres hospedadores en los estanques de California: caracoles, ranas y aves predatoras, como las garzas. Para que el parásito complete su ciclo de vida y se reproduzca debe trasladarse desde la rana al ave. Las deformidades que causa en las patas de las ranas hacen que les resulte más fácil a las aves capturar y comer a las ranas infectadas.



1.14 Los experimentos controlados manipulan una variable La variable manipulada por Johnson era la presencia o la ausencia de dos especies de gusanos planos parásitos. Otras condiciones del experimento se mantuvieron constantes.

Los métodos estadísticos son herramientas científicas esenciales

Ya sea que se realicen experimentos comparativos o controlados, al finalizarlos se debe decidir si existen diferencias entre las muestras, los individuos, los grupos o las poblaciones en estudio. ¿De qué manera se puede decidir si las diferencias medidas resultan suficientes para confirmar o falsificar una hipótesis? En otras palabras, ¿cómo es posible decidir de un modo objetivo y al azar por qué estas diferencias son significativas?

La significación puede medirse mediante métodos estadísticos. Los científicos recurren a las estadísticas porque reconocen

que la variación es común. Los ensayos estadísticos analizan la variación y calculan la probabilidad de que las diferencias se deban a una variación aleatoria. Los resultados de los ensayos estadísticos son, en consecuencia, probabilidades. Un ensayo estadístico comienza con una hipótesis nula: la premisa de que no existen diferencias. Cuando las observaciones cuantificadas, o datos, son recabados, se utilizan los métodos estadísticos para calcular la probabilidad de que la hipótesis nula resulte correcta.

Más específicamente, los métodos estadísticos indican la probabilidad de obtener los mismos resultados por casualidad aun si la hipótesis nula es correcta. Explicándolo de otra manera, es necesario eliminar todo lo posible la probabilidad de que las diferencias que se muestran entre los datos sean el mero resultado de variaciones aleatorias en las muestras analizadas. En general, los científicos concluyen que las diferencias medidas resultan significativas si los ensayos estadísticos muestran que la *probabilidad de error* (la probabilidad de que los resultados se expliquen por casualidad) es de 5% o menor. En particular, en los experimentos críticos, como los ensayos sobre la inocuidad de un nuevo fármaco, los científicos requieren valores de probabilidad mucho menores, por ejemplo de 1% o hasta de 0,1%.

No todas las formas de investigación son científicas

La ciencia constituye un proyecto humano único basado en ciertos estándares de prácticas. Otras áreas de investigación comparten con ella la práctica de realizar observaciones y plantear preguntas. Sin embargo, los científicos se distinguen por lo que hacen con sus observaciones y por la manera como responden a sus interrogantes. Los datos, sujetos a un análisis estadístico adecuado, resultan críticos para la prueba de las hipótesis. El método científico es el medio más poderoso diseñado por el hombre para aprender acerca del mundo y de cómo éste funciona. Las explicaciones científicas para los procesos naturales son objetivas y confiables porque las hipótesis propuestas deben ser probadas y deben poder ser rechazadas por la observación directa o la experimentación. Los científicos describen con claridad los métodos utilizados para probar sus hipótesis, de manera que otros puedan repetir sus observaciones o experimentos. No todos los experimentos se repiten, aunque los resultados sorprendidos o controvertidos están siempre sujetos a la verificación independiente. Todos los científicos del mundo comparten este proceso de construcción, de ensayo y rechazo de hipótesis, de modo que, en conjunto, contribuyen a un cuerpo común de conocimiento científico.

Si se entienden los métodos de la ciencia, es posible distinguir la ciencia de la no ciencia. La pintura, la música y la literatura son actividades que contribuyen a la calidad de la vida humana, pero no son ciencia. No utilizan el método científico para establecer qué es un hecho. La religión no es ciencia, aunque históricamente las religiones han pretendido explicar los fenómenos naturales, desde los patrones climáticos inusuales, la pérdida de las cosechas y las enfermedades humanas hasta las afecciones mentales. Muchos de estos fenómenos que en algún momento resultaron misteriosos pueden ahora explicarse en términos de principios científicos.

El poder de la ciencia deriva de la objetividad sin compromisos y de la absoluta dependencia de la evidencia que proviene de *observaciones reproducibles y cuantificables*. Una explicación religiosa o espiritual para un fenómeno natural puede ser coherente y satisfactoria para una persona o grupo que la sostiene, aunque no es comprobable y, en consecuencia, no es ciencia. Invocar una explicación sobrenatural (como el “diseño inteligente” sin bases conocidas) es alejarse del mundo científico.

La ciencia describe los hechos acerca de cómo funciona el mundo y no como éste “debería ser”. Muchos de los adelantos científicos recientes que contribuyeron en gran medida al bienestar humano también constituyen temas éticos fundamentales. Los avances de la genética y de la biología del desarrollo, por ejemplo, ahora permiten seleccionar el sexo de nuestros hijos, usar células madre para reparar nuestro cuerpo y modificar el genoma humano. Si bien el conocimiento científico nos faculta a realizar estas cosas, la ciencia no puede indicarnos si debemos o no hacerlas, o en caso de queelijamos hacerlo, decirnos de qué manera debe regularse.

La toma de decisiones inteligentes acerca de estos temas requiere una clara comprensión de las implicancias de la información científica disponible. El éxito en la cirugía depende de un diagnóstico acertado. Lo mismo ocurre con el manejo del ambiente. Sin embargo, para tomar decisiones sabias acerca de las políticas públicas, necesitamos también emplear el mejor razonamiento ético posible para decidir qué resultados deberíamos obtener. Para un futuro brillante, la sociedad requiere tanto buenos científicos como una buena ética, pero también un público educado que comprenda la importancia de ambos y las diferencias críticas entre ellos.

REVISIÓN 1.3

El método de investigación científica comienza con la formulación de hipótesis basadas en las observaciones y los datos. Para probar las hipótesis, se realizan experimentos comparativos y controlados.

- ¿Es posible explicar la relación entre la hipótesis y un experimento? Véase p. 14
- ¿Qué aspectos caracterizan a las preguntas que pueden responderse únicamente mediante una aproximación comparativa? Véanse p. 14 y Figura 1.13
- ¿Qué se controla en un experimento controlado? Véanse p. 15 y Figura 1.14
- ¿Por qué los argumentos deben estar respaldados por datos cuantificables y reproducibles para poderlos considerar científicos? Véase p. 16

La vasta cantidad de conocimiento científico acumulado durante siglos de civilización le permite al hombre comprender y manipular los aspectos del mundo natural de una forma imposible de lograr por otras especies. Estas capacidades plantean desafíos, oportunidades y, en especial, responsabilidades. A continuación se analiza de qué manera el conocimiento biológico puede afectar la formulación de las políticas públicas.

1.4 ¿Cómo influye la biología en las políticas públicas?

El estudio de la biología ha tenido implicancias fundamentales para la vida humana. La agricultura y la medicina son dos actividades importantes que dependen del conocimiento biológico. Nuestros antepasados aplicaron sin saberlo principios de biología evolutiva al domesticar las plantas y los animales. Desde tiempos remotos el hombre ha especulado acerca del origen de las enfermedades y buscado métodos para combatirlas. Mucho antes de que se conocieran sus causas, ya se reconocía

que las enfermedades podían ser transmitidas de una persona a otra. El aislamiento de los pacientes infectados se practica desde tiempos pasados, al menos desde cuando se dispone de registros escritos, aunque la mayoría de las llamadas curas no fueron eficaces hasta que los científicos hallaron la etiología de las enfermedades.

En la actualidad, gracias al desciframiento de los genomas y a la capacidad de manipularlos, existen nuevas y amplias posibilidades para el mejoramiento del control de las enfermedades humanas y de la productividad agrícola. Al mismo tiempo, dichas capacidades han abierto problemas éticos y políticos relacionados.

¿En qué extensión y de qué forma deberíamos jugar con la genética humana y de otras especies? ¿Qué reglas deberían gobernar la liberación en el ambiente de organismos modificados genéticamente? La ciencia por sí sola no puede dar respuestas a estas preguntas, si bien las decisiones políticas sabias deben basarse en una información científica adecuada.

Otra razón para el estudio de la biología es la comprensión de los efectos que causa sobre el ambiente el enorme crecimiento de la población humana. Nuestro uso de los recursos naturales está llevando a un límite la capacidad de los ecosistemas terrestres para continuar produciendo algunos bienes y servicios de los cuales depende la sociedad. Las actividades humanas están cambiando el clima global, causando la extinción de un gran número de especies y diseminando nuevas enfermedades, a la vez que facilitan el resurgimiento de algunas ya conocidas. Por ejemplo, la rápida dispersión de los virus SARS y del Nilo Occidental fue facilitada por los medios de transporte modernos y el reciente resurgimiento de la tuberculosis es el resultado de la evolución de bacterias que se han vuelto resistentes a los antibióticos. El conocimiento biológico es vital para determinar las causas de estos cambios y para diseñar políticas sabias para tratarlos. El conocimiento biológico también ayuda a las personas a apreciar la maravillosa diversidad de los organismos vivos que proveen bienes y servicios a la humanidad y que enriquecen estética y espiritualmente nuestras vidas.

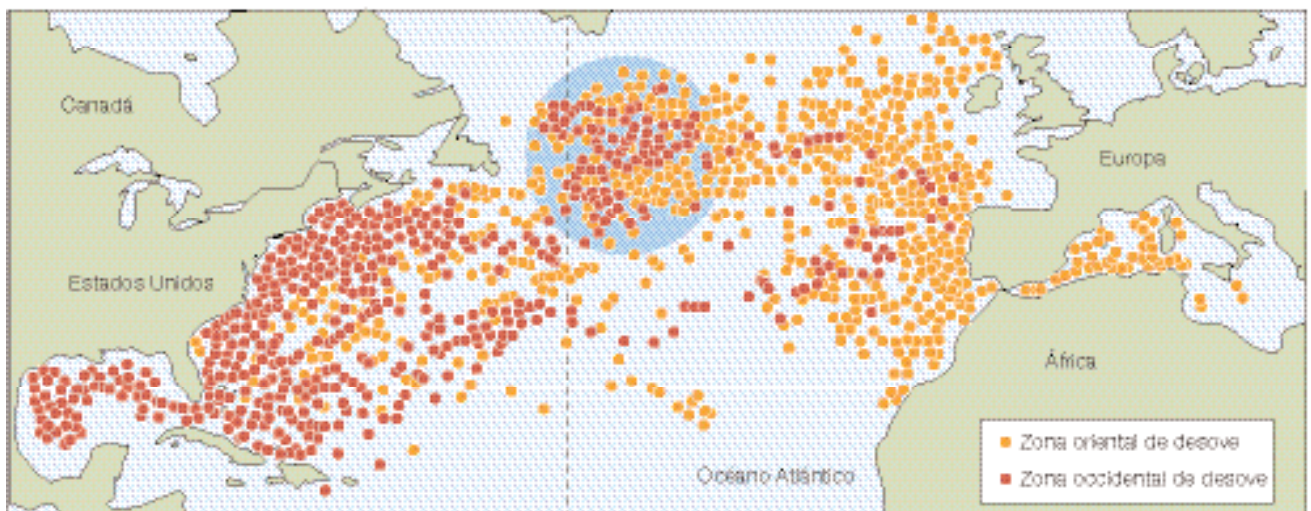
Los biólogos son consultados cada vez con mayor frecuencia para asesorar a las agencias de gobierno en lo que concierne a leyes, reglas y regulaciones mediante las cuales la sociedad maneja un número creciente de problemas y desafíos que tienen, al menos parcialmente, una base biológica. Como ejemplo del valor del conocimiento científico para la adecuación y formulación de políticas públicas, volvamos al estudio del registro del

atún de aletas azules presentado en la Sección 1.3. Antes de la realización de este estudio, tanto los científicos como los pescadores sabían que los atunes de aletas azules tenían un sitio de apareamiento en el atlántico occidental, en el Golfo de México, y otro en el atlántico oriental, en el Mar Mediterráneo. El exceso de pesca estaba poniendo en peligro la población del sitio de apareamiento occidental. Así como los peces tenían regiones de apareamiento geográficamente separadas, todos supusieron que también tenían lugares de alimentación separados; por lo tanto, una comisión internacional trazó una línea a través de la zona media del Atlántico y estableció estrictas cuotas de pesca en el lado occidental de esta línea. La intención era permitir la recuperación de la población occidental. Sin embargo, nuevos datos revelaron que, de hecho, las poblaciones oriental y occidental de atunes de aletas azules se mezclaban libremente en los territorios de alimentación (y, por consiguiente, de pesca) a lo largo de todo el Atlántico Norte (Figura 1.15). En consecuencia, un pez capturado en el lado oriental de la línea podría provenir de la población de la región de apareamiento occidental, de modo que la política establecida no era la adecuada para lograr la meta buscada.

A través de este libro compartiremos el excitante estudio de los seres vivos e ilustraremos el rico conjunto de métodos que emplean los biólogos para determinar por qué el mundo de los seres vivos funciona como tal. La motivación más importante de la mayoría de los biólogos es la curiosidad. Las personas se fascinan por la riqueza y la diversidad de la vida y desean aprender más acerca de los organismos y de la forma como interactúan unos con otros. Esta condición de curiosidad de los seres humanos podría considerarse incluso adaptativa y puede haber sido

1.15. Los atunes de aletas azules no reconocen las líneas trazadas en los mapas por las comisiones internacionales

Como se suponía que las poblaciones de apareamiento de atunes de aletas azules (puntos rojos) y oriental (puntos dorados) también se alimentaban en sus respectivos sectores del océano Atlántico, se establecieron cuotas diferentes de pesca a uno y otro lado de la longitud 45° Oeste (línea de puntos). Se creía que esto iba a permitir la recuperación de la población occidental. Sin embargo, los datos de registros electrónicos mostraron que las dos poblaciones se mezclaban libremente, en especial en las aguas con sobrepesca de la zona más septentrional del Atlántico (círculo celeste), de modo que la política aplicada no protegía a la población occidental.



seleccionada, porque cabe pensar que los individuos que estaban motivados a aprender acerca de su ambiente tal vez hayan sobrevivido más y se hayan reproducido mejor, en promedio, que sus parientes menos curiosos.

Numerosos interrogantes todavía no tienen respuestas y los nuevos descubrimientos suelen originar nuevas preguntas que antes nadie se cuestionó. Quizá algunos de nuestros lectores se planteen y respondan a uno o más de esos interrogantes.

RESUMEN DEL CAPÍTULO

1.1 ¿Qué es la biología?

La **biología** es el estudio de la vida en todos los niveles de organización, que van desde las moléculas hasta la biosfera.

La **teoría celular** establece que toda la vida se compone de células y que todas las células provienen de otra preexistente.

Todos los organismos vivos se hallan relacionados entre sí a través de la descendencia con modificaciones. La **evolución por selección natural** es responsable de la diversidad de **adaptaciones** halladas en ellos.

Las instrucciones para una célula están contenidas en su **genoma**, el cual consiste en moléculas de DNA construidas a partir de secuencias de **nucleótidos**. Los segmentos específicos de DNA llamados genes contienen la información que la célula utiliza para fabricar **proteínas**. Véase Figura 1.4.

Las células constituyen las unidades de vida estructurales y funcionales básicas. La mayoría de las reacciones químicas de la vida tienen lugar en las células. Los organismos vivos controlan su medio interno. También interactúan con otros organismos de la misma especie o de otras diferentes. Los biólogos estudian la vida en todos estos niveles de organización. Véanse Figura 1.6 y Actividad 1.1 en el sitio web.

El conocimiento biológico obtenido de un **sistema modelo** puede generalizarse a otras especies.

1.2 ¿Cómo se relaciona toda la vida sobre la Tierra?

Los biólogos usan los fósiles, las similitudes y diferencias anatómicas y las comparaciones moleculares de genomas para reconstruir la historia de la vida. Véase Figura 1.9.

La vida se originó en primer lugar como una evolución química. La evolución biológica comenzó con la formación de las células.

La **fotosíntesis** representó un importante paso evolutivo porque provocó un cambio en la atmósfera terrestre y proporcionó los medios para capturar la energía lumínica.

Los primeros organismos eran **procariontes**; aquellos con células más complejas, llamados **eucariontes**, surgieron posteriormente. Las células eucariontes tienen compartimentos intracelulares separados llamados **orgánulos** que incluyen el **núcleo**, el cual contiene el material genético celular.

La relación genética entre las **especies** se puede representar como un árbol evolutivo. Las especies están agrupadas en tres **dominios**: **Archaea**, **Bacteria** y **Eukarya**. Los dominios Archaea y Bacteria se componen de procariontes unicelulares. El dominio Eukarya consiste en microorganismos eucariontes (protistas), además de plantas, hongos y animales. Véanse Figura 1.11 y Actividad 1.2 en el sitio web.

1.3 ¿Cómo investigan los biólogos la vida?

El **método científico** usado en la mayoría de las investigaciones biológicas comprende cinco pasos: observar, formular interrogantes, plantear hipótesis, hacer predicciones y probar esas predicciones.

Las **hipótesis** son las respuestas tentativas a estos interrogantes. Las predicciones realizadas sobre la base de una hipótesis son contrastadas mediante observaciones adicionales y dos tipos de **experimentos**: **comparativos** y **controlados**. Véanse Figuras 1.13 y 1.14.

Los métodos estadísticos se aplican a los **datos** para establecer si las diferencias observadas son significativas o no, o bien si se pueden explicar por el azar. Estos métodos se inician con la **hipótesis nula** de que no existen diferencias.

La ciencia puede decirnos de qué manera funciona el mundo, aunque no puede indicarnos lo que debemos o no hacer.

1.4 ¿Cómo influye la biología en las políticas públicas?

Las decisiones sensatas de políticas públicas deben basarse en información científica precisa. Los biólogos son convocados a menudo para asesorar a las agencias gubernamentales en la solución de importantes problemas que tienen componentes biológicos.

ANÁLISIS

1. Aun si supiéramos todas las secuencias de genes de un organismo unicelular y pudiéramos hacer que se expresaran en un tubo de ensayo, todavía no podríamos crear uno de esos seres en el laboratorio. ¿Por qué cree que esto es así? A la luz de este hecho, ¿qué piensa acerca de la afirmación de que el genoma contiene toda la información para una especie?
2. Si alguien le contara que las jirafas desarrollaron cuellos largos porque se estiraron para alcanzar hojas ubicadas cada vez más altas en los árboles, ¿cómo podría usted ayudar a la persona a pensar más adecuadamente acerca de las jirafas en términos de evolución y de selección natural?
3. En el descubrimiento reciente de que los genes controlan el color de la piel en el pez cebrado, ¿por qué los biólogos presuponen que los mismos genes podrían ser también responsables del color de la piel en los seres humanos?
4. ¿Por qué resulta tan importante en ciencia diseñar y realizar ensayos capaces de falsear una hipótesis?
5. ¿Qué aspectos caracterizan a los interrogantes que pueden ser respondidos únicamente mediante una aproximación cuantitativa?

INVESTIGACIÓN

1. Las anomalías de las ranas del estudio de Pieter Johnson se asociaban con la presencia de un parásito. ¿Cómo investigaría el modo en que este parásito induce la formación de ranas monstruosas? Ayuda: cuando los renacuajos se hallaban expuestos a los parásitos luego de comenzar a desarrollar patas no mostraban anomalías.
2. Así como todas las células provienen de otras preexistentes, las mitocondrias –órganulos celulares que convierten la energía de los alimentos en una forma que puede utilizarse como trabajo biológico– provienen también de una preexistente. Las células no sintetizan mitocondrias a partir de la información genética nuclear. ¿Qué investigaciones llevaría a cabo para comprender la naturaleza de las mitocondrias?