

Teorías de la evolución

Antes de comenzar debemos entender que es la evolución...

EVOLUCIÓN: es el cambio que ocurre a lo largo del tiempo en las características de las poblaciones.

FIJISMO	TRANSFORMISMO
<ul style="list-style-type: none">• Los seres vivos no han cambiado desde la creación.• Siempre han existido los mismos seres vivos.• Lo único que pasa con los seres vivos es que pueden desaparecer• los científicos más destacados son: Linné, Cuvier y Pasteur	<ul style="list-style-type: none">• Los seres vivos cambian como respuesta a cambios ambientales.• Al cambiar los seres vivos se adaptan a las nuevas condiciones del medio.• Los seres vivos cambian poco a poco originando seres vivos nuevos• Todos los científicos aceptan hoy en día la teoría de la evolución

Teorías del Fijismo acuñada hasta finales del S XVIII (1700).

El **fijismo** o **teoría fijitista** es una creencia que sostiene que las especies actualmente existentes han permanecido básicamente invariables (sin evolucionar) desde la Creación.

Cuvier propuso que los fósiles eran el resultado de la extinción de animales creados por Yahveh (Dios) en las catástrofes bíblicas o producto de sucesivas creaciones. Así, por ejemplo, un animal que no hubiera entrado en el arca de Noé, nos dejaría ese vestigio de su existencia.

Lineo Clasificador de todas las especies vivientes, especialmente los vegetales. Decía que se podían numerar tantas especies como diversas formas se crearon al principio. Linneo es llamado el padre de la taxonomía. El aporte de Linneo fue clave para la eventual explicación de la evolución de las especies, pues permite crear cuadros filogenéticos, gracias a su sistema binomial para definir a cada ser vivo por un nombre genérico y otro específico.

Transformismo

Lamarck formuló que los seres vivos evolucionan adaptándose a las condiciones, circunstancias y ambientes en los que se desarrollan, y la diversidad de situaciones a la que pueden estar sometidos habría propiciado la gran diversidad de formas de vida actuales.

Charles **Darwin** era un naturalista británico que en 1858 planteo la “teoría de la evolución de las especies”. Descubrió que las especies evolucionan con el tiempo con las condiciones del ecosistema y a partir de un antepasado común mediante el proceso de **Selección Natural**.

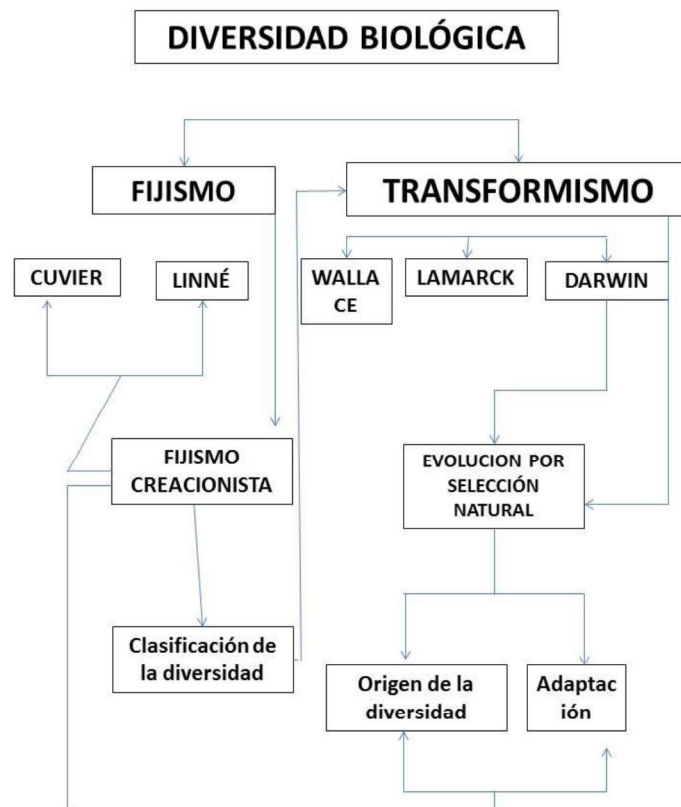
La selección natural es la base de todo cambio evolutivo y el mecanismo que la naturaleza “selecciona” a los seres vivos que logran sobrevivir y reproducirse. Esto puede dar lugar a la aparición de nuevas especies con características mejoradas.

Darwin descubrió todo esto en su viaje por América, especialmente por el archipiélago de Galápagos donde trabajo con una especie que se la conocería después como los “**pinzones de Darwin**”.

Esta teoría desarrollo dos tesis importantes:

- 1) Las especies derivaron de un ancestro en común, pero con el trascurso del tiempo las generaciones fueron acumulando diferencias.

A través de la selección natural solo los individuos más aptos logran sobrevivir y reproducirse dejando así descendientes con características similares.



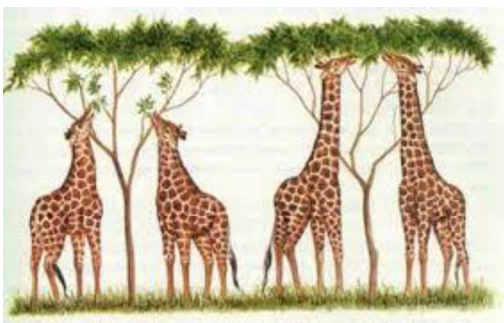
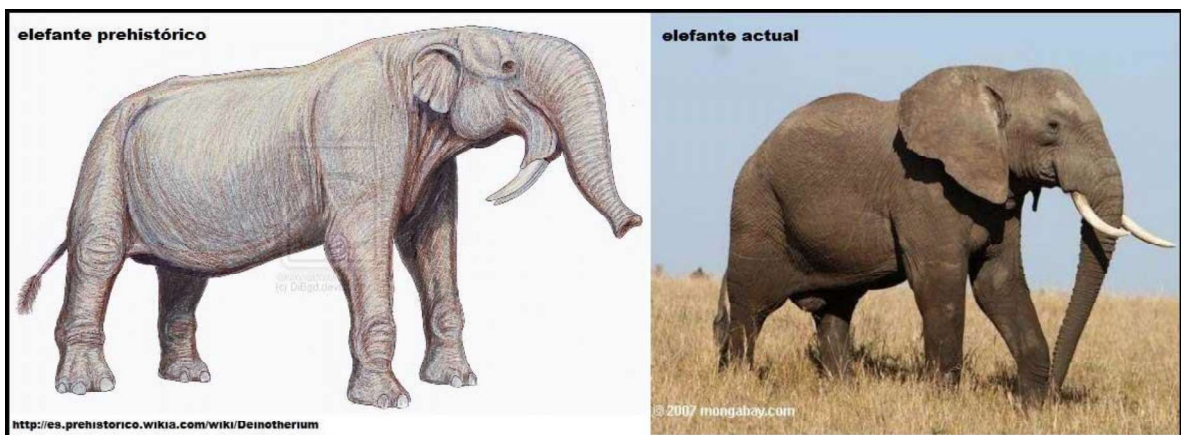
Esta lectura se debe complementar con el capítulo 14 del libro Biología “La vida en la Tierra de Audersik que se encuentra en NODOS.

ACTIVIDADES

1. Responde las siguientes preguntas de manera ordenada.
 - a) ¿Cómo se denomina la Teoría que postulo Charles Darwin? Explíquela en pocas palabras.
 - b) ¿Qué es Selección Natural? Ejemplifique.
 - c) ¿A qué especie se la conoce como ícono de la evolución? ¿En qué parte del mundo la estudio Darwin?
 - d) Nombra las dos tesis que postulo Darwin.
 - e) ¿La Teoría de la Evolución se cumple para el ser humano? Fundamente.
2. Lea el siguiente texto, razónelo y relaciónelo con alguno de los pensadores y sus teorías; para luego pasar al pizarrón y defender su decisión.

Texto 1.

Debido a las prolongadas épocas de sequía, los ríos con bajo nivel no ofrecen al voluminoso elefante la facilidad de tomar un baño. Tampoco le es posible, a este enorme animal, inclinarse para alcanzar con su boca el agua de un pequeño pozo. Por esto, generaciones sucesivas desarrollaron una larga trompa para poder beber y refrescar su cuerpo.



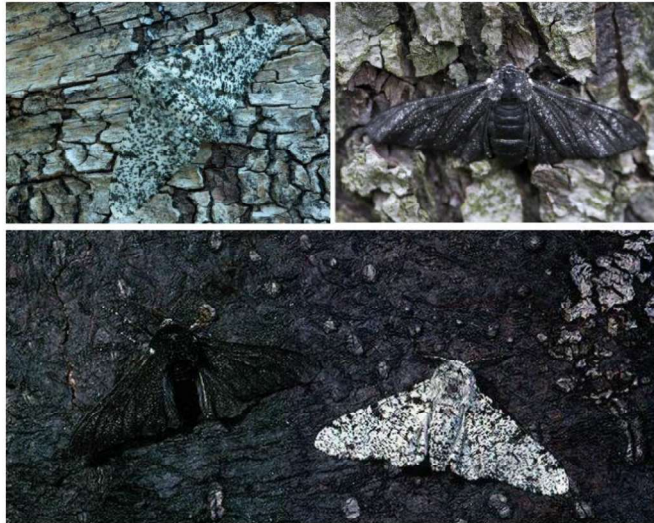
Texto 2

Originalmente, las jirafas tenían el cuello como el de los caballos. Solían vivir en zonas donde es frecuente la sequía, por lo tanto, la necesidad de adquirir las reservas de agua de las plantas creó el hábito de alimentarse de los brotes tiernos de las copas de los árboles.

A lo largo del tiempo, muchas generaciones de jirafas necesitaron cubrir esta necesidad, que provocó la modificación de la longitud de su cuello. Las jirafas de cuello más largo transmitieron esta característica a sus descendientes y cada generación nació con un cuello más largo que el de sus progenitores. Este proceso continuó hasta que el cuello de las jirafas alcanzó la longitud actual.

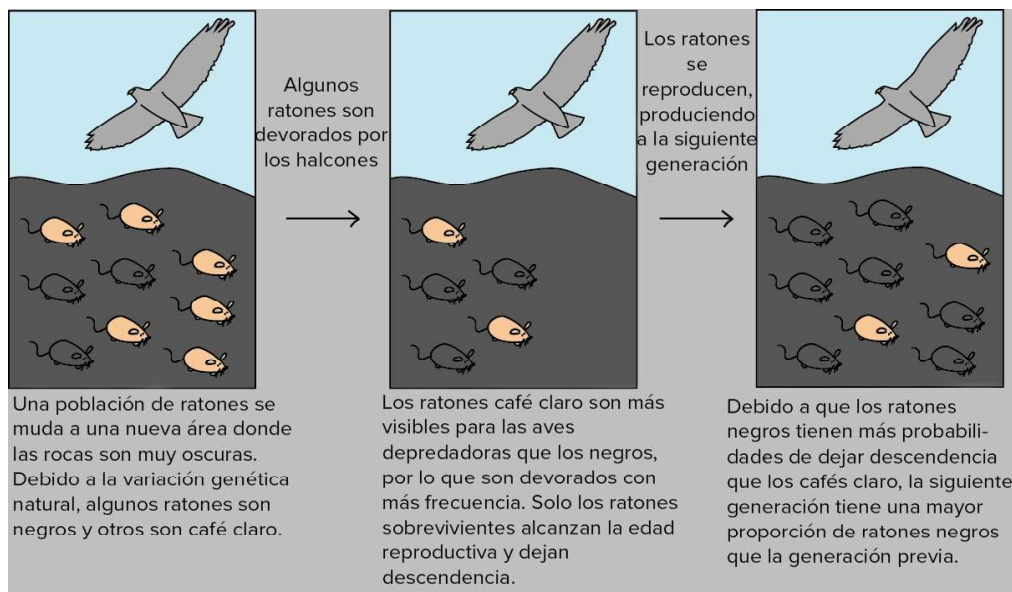
Texto 3

En Manchester, en el norte de Inglaterra, hay un bosque con árboles de corteza blanca llamados abedules. En este bosque habitan unas mariposas (*Biston Betula*) que suelen ponerse sobre ellos con las alas abiertas. Esta coloración evitaba que las aves se alimentaran de ellas, y sólo se podían comer las que eran más oscuras. Cuando llegó la



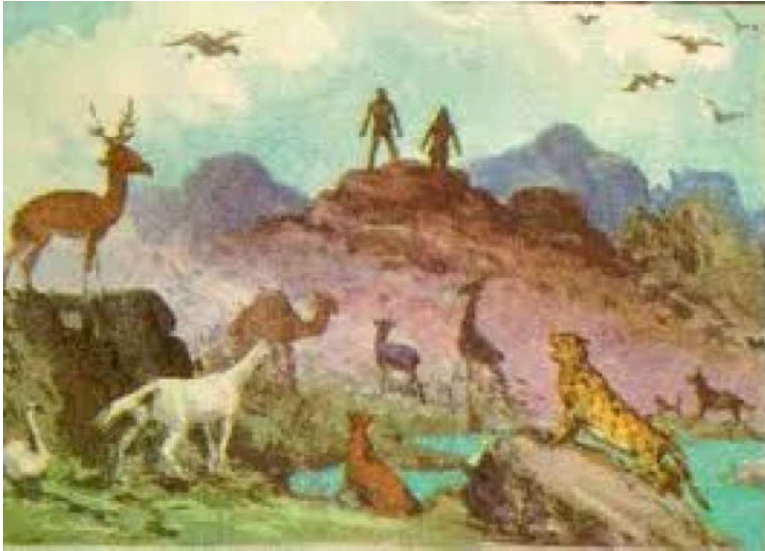
Revolución Industrial a mediados del siglo XIX, se instalaron fábricas en la ciudad que iban con carbón. El humo de estas ennegreció la corteza de los árboles, de manera que las mariposas blancas eran presa fácil para los pájaros. Así, la situación se invirtió y los descendientes que eran más oscuros pasaron desapercibidos, hasta que llegó un punto donde la mayoría de mariposas eran con alas negras.

Texto 4

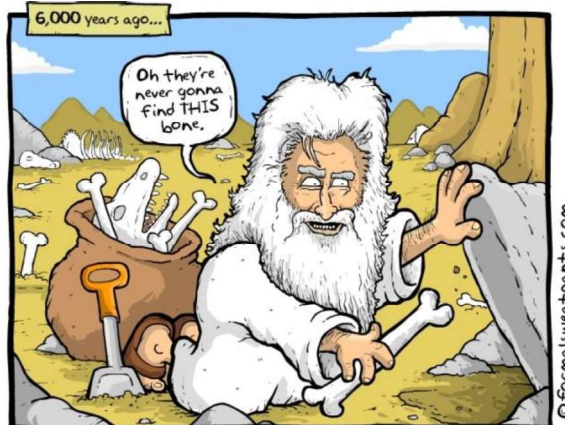


Texto 5

...el quinto día creo a los primeros seres vivos, las aves y los peces y animales acuáticos y el último día creo a todos los seres terrestres y al ser humano a su imagen y semejanza.



Texto 6



Los fósiles son el resultado de la extinción de los animales creados por Dios en catástrofes bíblicas o producto de sucesivas creaciones. Las especies actuales son las sobrevivientes de esas catástrofes.

Principios de la evolución

Capítulo 14



Estudio de caso

¿Qué tan útiles son las muelas del juicio?

¿YA TE EXTRAJERON LAS MUELAS DEL JUICIO? Si no es así, probablemente sólo es cuestión de tiempo. Casi todas las personas tienen que recurrir a un cirujano dental para que les extraigan las muelas del juicio. En las mandíbulas no hay suficiente espacio para estos molares y extraerlos es la mejor forma de evitar dolor, infecciones y enfermedades de las encías. Además, la extracción no causa daño, puesto que dichos molares no son indispensables. En realidad, son inútiles.

Si ya te extrajeron alguna de las muelas del juicio, quizá te hayas preguntado por qué *tienes* estos molares que carecen de utilidad. Los biólogos plantean la hipótesis de que se tienen porque nuestros antepasados, parecidos a los monos, los tenían y uno simplemente los hereda, aun cuando no se necesitan. La presencia de estructuras que no tienen una función en ciertas especies vivas, pero que *son* útiles en otras, demuestra que diferentes especies comparten antepasados comunes.

Una excelente evidencia de la conexión entre caracteres que carecen de utilidad y antepasados que evolucionaron está en las aves que no vuelan. Considera al avestruz, un ave que puede llegar a medir 2.5 metros y pesar unos 136 kilogramos (véase la fotografía de la izquierda). Estas enormes criaturas no vuelan. A pesar de ello, poseen alas, al igual que los gorriones y los patos. ¿Por qué los avestruces tienen alas que no les permiten volar? Porque el antepasado común de los gorriones, patos y avestruces tenía alas, y así también todos sus descendientes, incluso los que no pueden volar. Los cuerpos de los organismos actuales poseen algunas estructuras heredadas de sus antepasados que carecen de función.

▲ Este enorme avestruz posee alas, un legado de su herencia evolutiva.

De un vistazo

Estudio de caso *¿Qué tan útiles son las muelas del juicio?*

14.1 ¿Cómo se desarrolló el pensamiento evolutivo?

Los primeros estudios de biología no incluían el concepto de evolución

La exploración de nuevos territorios reveló una sorprendente diversidad de la vida

Algunos científicos plantearon que la vida había evolucionado

Los descubrimientos de fósiles demostraron que la vida había cambiado a través del tiempo

Algunos científicos idearon explicaciones no evolutivas para los fósiles

La geología ofreció pruebas de que la Tierra es sumamente antigua

Algunos biólogos anteriores a Darwin propusieron mecanismos de evolución

Darwin y Wallace plantearon un mecanismo de evolución

14.2 ¿Cómo funciona la selección natural?

La teoría de Darwin y Wallace se basa en cuatro postulados

Investigación científica Charles Darwin. *La naturaleza era su laboratorio*

Postulado 1: los individuos varían en una población

Postulado 2: los caracteres se heredan de padres a descendientes

Postulado 3: algunos individuos no logran sobrevivir y reproducirse

Postulado 4: la supervivencia y la reproducción no están determinadas por el azar

La selección natural modifica las poblaciones con el paso del tiempo

14.3 ¿Cómo sabemos que ocurrió la evolución?

Los fósiles ofrecen evidencias del cambio evolutivo al paso del tiempo

La anatomía comparada ofrece evidencia de la descendencia con modificación

Las similitudes embriológicas sugieren ancestros comunes

Los análisis bioquímicos y genéticos modernos revelan el parentesco entre organismos distintos

Estudio de caso **continuación** *¿Qué tan útiles son las muelas del juicio?*

14.4 ¿Cuáles son las evidencias de que las poblaciones evolucionan por selección natural?

La reproducción controlada modifica los organismos

La evolución por selección natural ocurre en la actualidad

Guardián de la Tierra *La humanidad promueve la evolución a gran velocidad*

Estudio de caso **otro vistazo** *¿Qué tan útiles son las muelas del juicio?*

14.1 ¿CÓMO SE DESARROLLÓ EL PENSAMIENTO EVOLUTIVO?

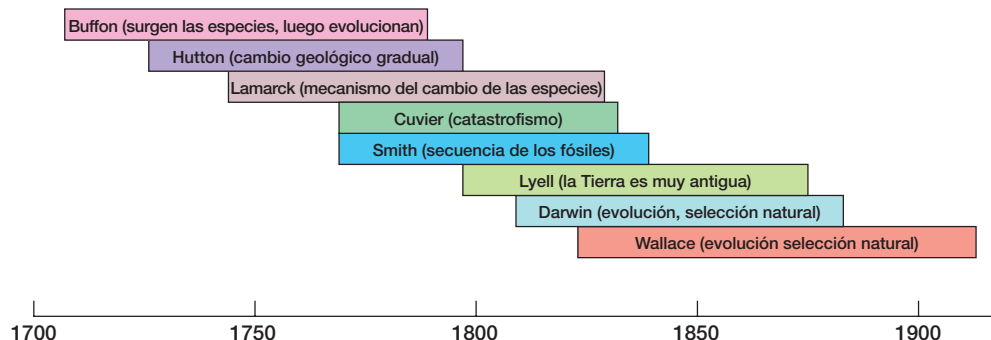
Cuando comenzaste a estudiar biología, es muy probable que no hayas encontrado la conexión entre tus muelas del juicio y las alas del avestruz. Pero la conexión existe y se puso al descubierto gracias al concepto que unifica toda la biología: la **evolución**, que es el cambio que ocurre a lo largo del tiempo en las características de las poblaciones.

La biología moderna se basa en la comprensión de que la vida ha evolucionado, pero los primeros científicos no reconocieron este principio fundamental. Las principales ideas de la biología evolutiva se aceptaron de manera generalizada sólo después de la publicación del trabajo de Charles Darwin a finales del siglo XIX. No obstante, el fundamento intelectual sobre el que se basan estas ideas se desarrolló gradualmente a lo largo de los siglos anteriores a la época en que vivió Darwin. (Te recomendamos consultar la línea del tiempo de la **FIGURA 14-1** a medida que lees la siguiente reseña histórica.)

Los primeros estudios de biología no incluían el concepto de evolución

La ciencia antes de Darwin, fuertemente influida por la teología, sostenía que todos los organismos fueron creados simultáneamente por Dios, y que toda forma de vida permanecía inalterable desde el momento de su creación. Esta explicación del origen de la diversidad de la vida fue expresada de forma elegante por los antiguos filósofos griegos, en especial por Platón y Aristóteles. Platón (427-347 a.C.) propuso que todo objeto existente en la Tierra era simplemente un reflejo temporal de su "forma ideal" inspirada por la divinidad. Aristóteles (384-322 a.C.), discípulo de Platón, clasificó todos los organismos en una jerarquía lineal a la que llamó la "escala de la Naturaleza" (**FIGURA 14-2**).

Estas ideas constituyeron el fundamento de la idea de que la forma de cada tipo de organismo permanecía inalterable. Dicha opinión prevaleció sin cuestionarse durante casi 2,000 años. Sin embargo, en el siglo XVIII varias líneas de evidencia comenzaron a erosionar el dominio de esta visión estática de la creación.



◀ **FIGURA 14-1** Línea del tiempo de los orígenes del pensamiento evolucionista. Cada barra representa el periodo de vida de un científico que jugó un papel esencial en el desarrollo de la biología evolutiva moderna.



▲ FIGURA 14-2 Escala de la naturaleza de Aristóteles En la visión de Aristóteles, las especies inalterables podían clasificarse de acuerdo con su cercanía creciente a la perfección; los tipos inferiores se encuentran en la parte baja y los superiores en la parte más alta.

La exploración de nuevos territorios reveló una sorprendente diversidad de la vida

Los europeos que exploraron y colonizaron África, Asia y América con frecuencia se hacían acompañar de naturalistas, quienes observaban y recolectaban las plantas y los animales de estas tierras antes desconocidas (para los europeos). En el siglo XVIII, las observaciones y colecciones acumuladas por los naturalistas comenza-

ron a revelar la verdadera magnitud de la diversidad de la vida. El número de especies, o diferentes tipos de organismos, era mucho mayor de lo que se pensaba.

Estimulados por la nueva evidencia de la increíble diversidad de la vida, algunos naturalistas del siglo XVIII comenzaron a tomar nota de algunos patrones fascinantes. Por ejemplo, observaron que cada área tenía su propio conjunto de especies. Además, los naturalistas notaron que algunas de las especies en un determinado lugar se parecían mucho entre ellas, aunque diferían en otras características. Para algunos científicos de la época, las diferencias entre las especies de distintas áreas geográficas y la existencia de grupos de especies similares dentro de una misma área parecían incongruentes con la idea de que las especies eran inalterables.

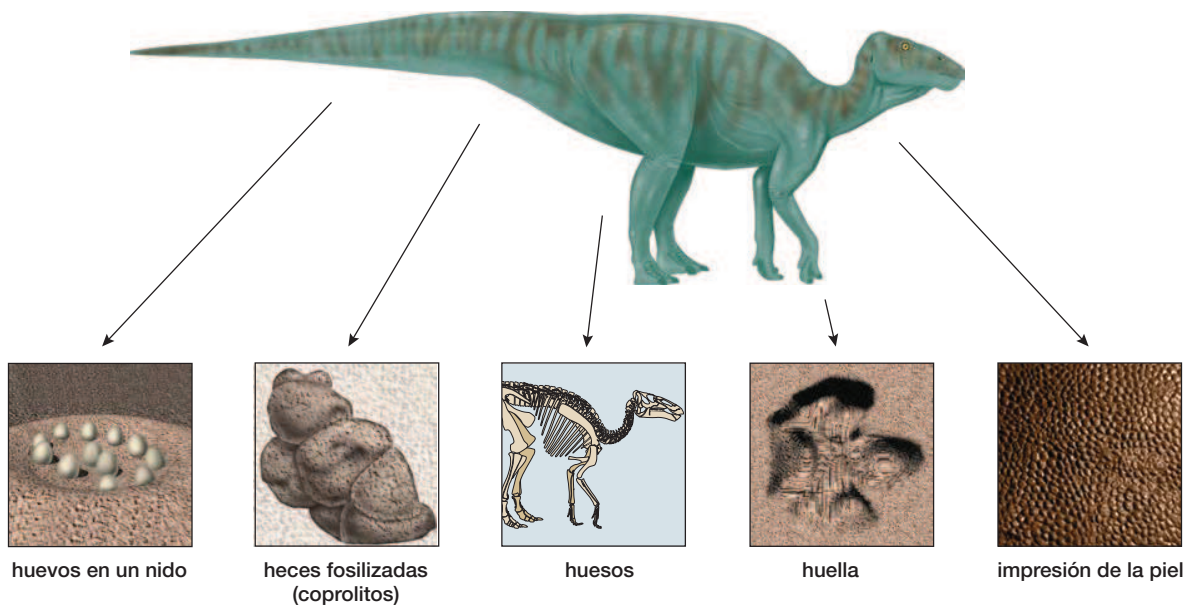
Algunos científicos plantearon que la vida había evolucionado

Algunos científicos del siglo XVIII se atrevieron a especular que las especies habían cambiado a través del tiempo. Por ejemplo, el naturalista francés Georges Louis LeClerc (1707-1788), conocido con el título de conde de Buffon, sugirió que quizá la creación original suministró un número relativamente reducido de especies fundadoras y que algunas de las especies modernas fueron “concebidas por la Naturaleza y producidas por el Tiempo”; es decir, que cambiaron con el tiempo mediante procesos naturales.

Los descubrimientos de fósiles demostraron que la vida había cambiado a través del tiempo

Conforme Buffon y sus contemporáneos ponderaban las repercusiones de los nuevos descubrimientos biológicos, los avances en geología despertaron más dudas acerca de la idea de que las especies permanecían inalterables. Fueron especialmente importantes los descubrimientos —durante las excavaciones para construir caminos, minas y canales— de fragmentos de roca que parecían ser parte de organismos vivos. La gente tenía conocimiento de tales objetos desde el siglo XV, pero la mayoría pensaba que se trataba de rocas comunes que el viento, el agua o las personas labraron hasta darles forma de seres vivos. Sin embargo, a medida que se descubrían más y más rocas con formas de organismos, se hizo evidente que se trataba de **fósiles**: restos o rastros conservados de organismos que murieron hace mucho tiempo (FIGURA 14-3). Muchos fósiles son huesos, madera, conchas o sus huellas en fango que se petrificó, o convirtió en piedra. Los fósiles también comprenden otros tipos de rastros conservados, como pisadas, madrigueras, granos de polen, huevos y heces fecales.

A principios del siglo XIX, algunos investigadores pioneros se dieron cuenta de que también era significativa la manera en que los fósiles estaban distribuidos en la roca. Muchas rocas aparecen en capas, las capas más recientes se ubican sobre las capas más antiguas. El topógrafo británico William Smith (1769-1839), quien estudió capas de rocas y los fósiles incrustados en ellas, reconoció que algunos fósiles siempre se encontraban en las mismas capas de roca. Más aún, la organización de los fósiles y de las capas de roca eran consistentes: el fósil de tipo A siempre se encontraba en una capa de roca asentada debajo de una capa más reciente que contenía el fósil de tipo B, que a su vez se ubicaba debajo de una capa aún más reciente donde se encontraba el fósil de tipo C, y así sucesivamente.



▲ FIGURA 14-3 Tipos de fósiles Cualquier parte o rastro conservado de un organismo es un fósil.

Los científicos de esa época también descubrieron que los restos fósiles mostraban una notable variación gradual en su forma. La mayoría de los fósiles encontrados en las capas de roca más antiguas eran muy diferentes de los organismos modernos, y la semejanza con los organismos modernos aumentaba de manera gradual a medida que las rocas eran cada vez más recientes. Muchos fósiles eran de especies vegetales o animales que se habían *extinguido*; es decir: ningún ejemplar de las especies vivía aún en la Tierra (FIGURA 14-4).

Al considerar en conjunto estos hechos, algunos científicos llegaron a una conclusión inevitable: distintos tipos de organismos vivieron en diferentes épocas del pasado.

Algunos científicos idearon explicaciones no evolutivas para los fósiles

A pesar de contar cada vez con más evidencia fósil, muchos científicos de la época no aceptaban la teoría de que las especies cambiaban y de que algunas surgieron con el transcurrir del tiempo. Con el fin de explicar la extinción de especies y al mismo tiempo dejar intacta la idea de la creación por parte de Dios, Georges Cuvier (1769-1832) propuso la teoría del *catastrofismo*. Cuvier, un paleontólogo francés, formuló la hipótesis de que en un principio se creó una cantidad inmensa de especies. Catástrofes sucesivas (como el diluvio universal descrito en la Biblia) produjeron las capas de roca y destruyeron muchas especies, y algunos de sus restos se fosilizaron en el proceso. Según esta teoría, los organismos del mundo moderno son las especies que sobrevivieron a las catástrofes.

La geología ofreció pruebas de que la Tierra es sumamente antigua

La hipótesis de Cuvier de un mundo moldeado por catástrofes sucesivas fue cuestionada por el trabajo del geólogo Charles Lyell (1797-1875). Con base en el pensamiento de James Hutton (1726-1797), Lyell consideró las fuerzas del viento, el agua y los volcanes, y llegó a la conclusión de que no había necesidad de recurrir a las catástrofes para explicar los descubrimientos de la geología. ¿Acaso los ríos desbordados no depositan capas de sedimen-

tos? ¿Los flujos de lava no producen capas de basalto? ¿No debe concluirse, entonces, que las capas de roca son una prueba de procesos naturales ordinarios, que ocurren de manera repetida en el transcurso de periodos prolongados? Este concepto acerca de que el paisaje actual de la Tierra se produjo por la acción de los mismos procesos geológicos graduales que se observan en la actualidad, se llama *uniformitarismo*. La aceptación del uniformitarismo por parte de la comunidad científica de la época tuvo un profundo impacto, pues supone la idea de que la Tierra es sumamente antigua.

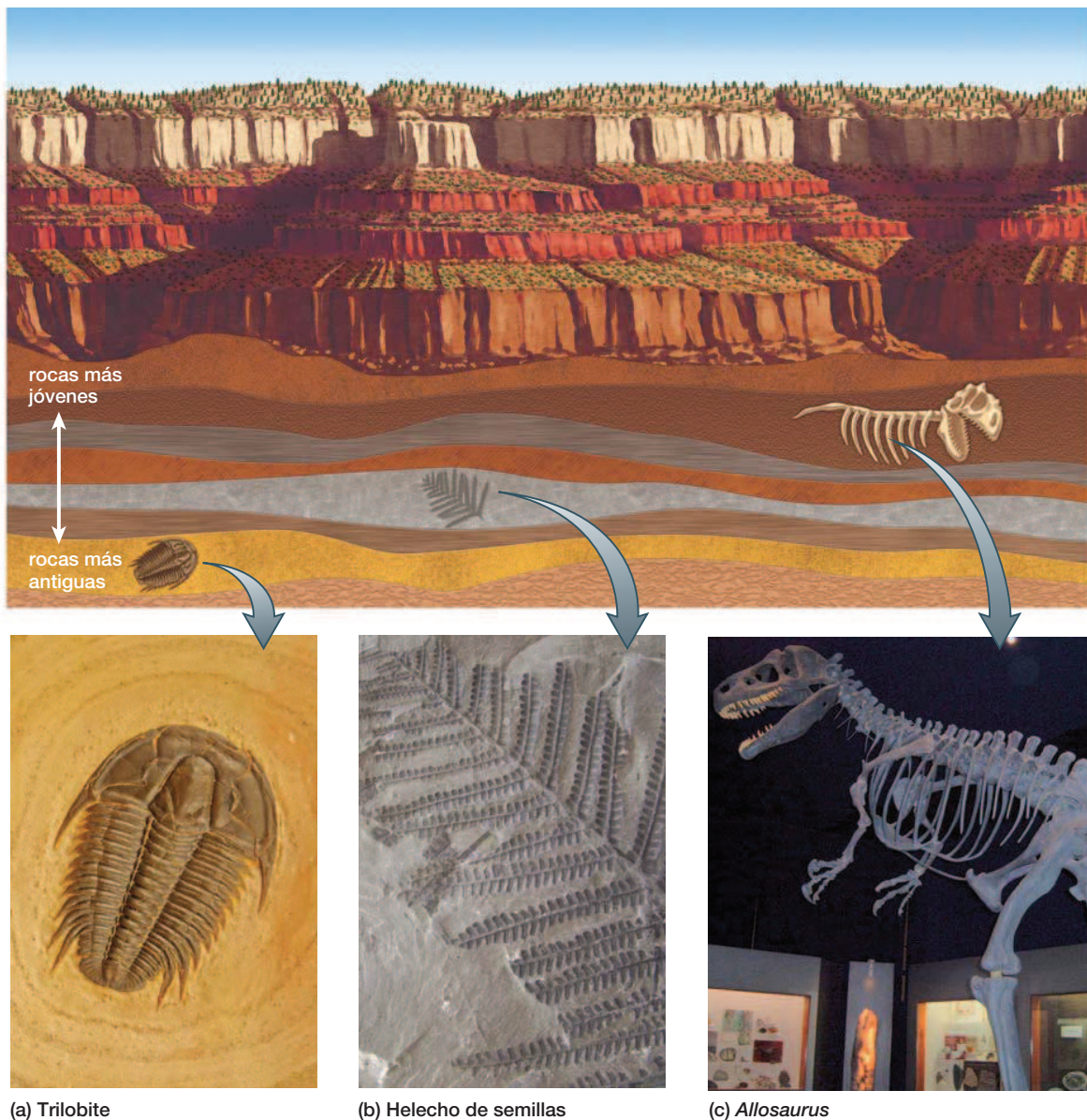
Antes de la publicación en 1830 de las pruebas de Lyell que sustentaban el uniformitarismo, algunos científicos pensaban que la Tierra podría tener tan sólo unos cuantos miles de años de antigüedad. Por ejemplo, si se cuentan las generaciones en el Antiguo Testamento se obtiene una edad máxima de 4,000 a 6,000 años. Una Tierra así de joven plantea problemas ante la idea de que la vida evolucionó. Por ejemplo, escritores tan antiguos como Aristóteles describieron lobos, ciervos, leones y otros organismos que eran idénticos a los que existieron en Europa más de 2,000 años después. Si los organismos cambiaron tan poco durante ese periodo, ¿cómo era posible que especies completamente nuevas hubieran surgido, si la Tierra fue creada tan sólo un par de miles de años antes de la época de Aristóteles?

Pero si, como pensaba Lyell, las capas de roca con un grosor de cientos de metros se formaron mediante lentos procesos naturales, entonces la Tierra debía ser realmente antigua, con una edad de varios millones de años. De hecho, Lyell concluyó que la Tierra era eterna. Los geólogos modernos estiman que la Tierra tiene una edad aproximada de 4,500 millones de años (consulta "Investigación científica: ¿Cómo se sabe cuán antiguo es un fósil?", en la página 324).

Lyell (y Hutton, su predecesor intelectual) demostraron que había suficiente tiempo para que hubiese ocurrido la evolución. Pero, ¿cuál era el mecanismo? ¿Qué proceso pudo desencadenarla?

Algunos biólogos anteriores a Darwin propusieron mecanismos de evolución

Uno de los primeros científicos en proponer un mecanismo de evolución fue el biólogo francés Jean Baptiste Lamarck (1744-



(a) Trilobite

(b) Helecho de semillas

(c) *Allosaurus*

▲ FIGURA 14-4 Fósiles de organismos extintos Los fósiles constituyen una sólida evidencia de que los organismos actuales no fueron creados todos de una sola vez, sino que surgieron con el transcurso del tiempo por el proceso de evolución. Si todas las especies se hubieran creado simultáneamente, no se encontraría **(a)** los primeros trilobites en capas de roca más antiguas que **(b)** los primeros helechos de semilla, los que a su vez no se encontrarían en capas más antiguas que **(c)** los dinosaurios, como el *Allosaurus*. Los trilobites aparecieron por primera vez hace alrededor de 520 millones de años, los helechos de semillas alrededor de hace 380 millones de años y los dinosaurios hace aproximadamente 230 millones de años.

1829). A Lamarck le impresionó la secuencia de organismos en las capas de roca. Observó que los fósiles más antiguos tienden a ser más simples, en tanto que los fósiles más recientes tienden a ser más complejos y más parecidos a los organismos actuales. En 1801 Lamarck planteó la hipótesis de que los organismos evolucionan mediante la herencia de características adquiridas, un proceso por el que los organismos vivos sufren modificaciones en función del uso o desuso de algunas de sus partes, y heredan estas modificaciones a sus descendientes. ¿Por qué tendría que modificarse el cuerpo de los organismos? Lamarck propuso que todos los organismos poseen un impulso innato hacia la perfección. Por ejemplo, si los antepasados de las jirafas intentaban aumentar su ración alimenticia al estirarse para comer las hojas que crecían a gran altura en los árboles, sus cuellos se alargaban

un poco en consecuencia. Sus descendientes heredarían este cuello más largo y luego se estirarían aún más para alcanzar hojas todavía más altas. Con el tiempo, este proceso produciría las jirafas modernas, con cuellos en verdad muy largos.

En la actualidad se sabe cómo funciona la herencia y puedes ver que el proceso evolutivo propuesto por Lamarck no podría funcionar tal como él lo describió. Las características adquiridas no se heredan. El hecho de que un futuro padre levante pesas no significa que su hijo parecerá un campeón de culturismo. Sin embargo, recuerda que en tiempos de Lamarck todavía no se descubrían los principios de la herencia. (Gregorio Mendel nació algunos años antes de la muerte de Lamarck, y su trabajo con la herencia en plantas de chícharo no se reconoció de manera universal sino hasta 1900; consulta las páginas 181-182.) De

cualquier forma, la idea de Lamarck de que la herencia desempeña una función importante en la evolución, tuvo una influencia notable en los biólogos posteriores, quienes descubrieron el mecanismo clave de la evolución.

Darwin y Wallace plantearon un mecanismo de evolución

A mediados del siglo XIX, cada vez más biólogos concluyeron que las especies existentes habían evolucionado de otras que les precedieron. Pero, ¿cómo lo hicieron? En 1858, Charles Darwin (1809-1882) y Alfred Russel Wallace (1823-1913), cada uno por su lado, aportaron pruebas convincentes de que la evolución era impulsada por un proceso simple, pero poderoso.

Aunque sus antecedentes sociales y su educación eran muy distintos, Darwin y Wallace eran muy semejantes en algunos aspectos. Ambos viajaron mucho por los trópicos y estudiaron las plantas y animales que habitaban esas regiones. También descubrieron que algunas especies diferían sólo en algunos aspectos (FIGURA 14-5). Darwin y Wallace estaban familiarizados con los fósiles que se habían descubierto, los cuales mostraban una tendencia a aumentar su complejidad con el paso del tiempo. Por último, ambos conocían los estudios de Hutton y Lyell, quienes proponían que la Tierra era sumamente antigua. Estos hechos sugirieron a Darwin y a Wallace que las especies cambian con el tiempo. Los dos buscaban el mecanismo capaz de provocar tal cambio evolutivo.

De estos dos hombres, Darwin fue el primero en plantear un mecanismo para la evolución, que describió en un ensayo escrito en 1842. Sin embargo, no lo publicó quizá porque sentía temor de la controversia que generaría la publicación. Algunos historiadores se preguntan si Darwin habría publicado su trabajo

alguna vez de no haber recibido —16 años después— el borrador de un documento de Wallace que contenía ideas notablemente similares a las suyas. Darwin comprendió que no podía esperar más.

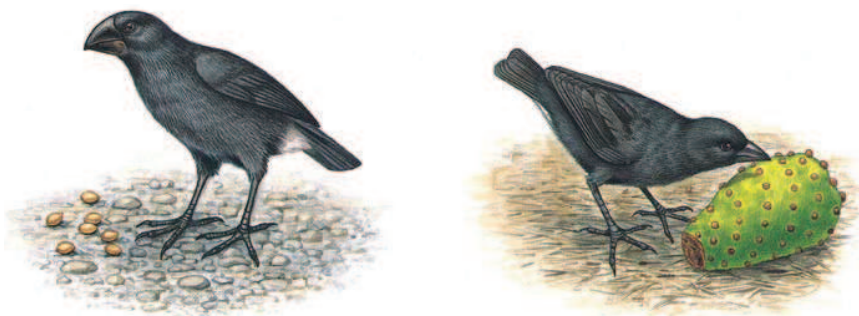
En artículos independientes pero similares que presentaron a la Linnaean Society de Londres en 1858, Darwin y Wallace describieron el mismo mecanismo de la evolución. En un principio, sus artículos tuvieron poca repercusión. De hecho, el secretario de la Sociedad escribió en su informe anual que nada interesante había ocurrido ese año. Por fortuna, al año siguiente, Darwin publicó su monumental obra, *El origen de las especies por medio de la selección natural*, que atrajo gran atención hacia las nuevas ideas acerca de la forma en que evolucionan las especies. (Para aprender más acerca de la vida de Darwin, consulta "Investigación científica: Charles Darwin. La naturaleza era su laboratorio", en la página 272.)

14.2 ¿CÓMO FUNCIONA LA SELECCIÓN NATURAL?

Darwin y Wallace propusieron que la inmensa variedad de excelentes diseños de vida surgió por un proceso de descendencia con modificación, en el que los individuos de cada generación difieren ligeramente de los miembros de la generación anterior. A lo largo de periodos prolongados, estas pequeñas diferencias se acumulan para producir grandes transformaciones.

La teoría de Darwin y Wallace se basa en cuatro postulados

El razonamiento que condujo a Darwin y Wallace a su propuesta de proceso de evolución resulta ser sorprendentemente simple y



(a) Pinzón grande de tierra, con pico adaptado para semillas grandes

(b) Pinzón pequeño de tierra, con pico adaptado para semillas pequeñas



(c) Pinzón gorrador, con pico adaptado para insectos

(d) Pinzón arbóreo vegetariano, con pico adaptado para hojas

◀ **FIGURA 14-5** Los pinzones de Darwin, residentes de las islas Galápagos. Darwin estudió un grupo de especies estrechamente relacionadas de pinzones en las Islas Galápagos. Cada especie se especializa en comer un tipo distinto de alimento y tiene un pico con tamaño y forma característicos, porque la selección natural favoreció a los individuos más aptos para explotar eficientemente cada fuente de alimento local.

Investigación científica

Charles Darwin. La naturaleza era su laboratorio

En 1831, cuando Charles Darwin tenía 22 años (FIGURA E14-1), obtuvo el puesto de “caballero de compañía” del capitán Robert Fitzroy en el HMS *Beagle*. El *Beagle* pronto se embarcó en una expedición de exploración que duró cinco años, primero a lo largo del litoral de América del Sur y luego alrededor del mundo.

El viaje de Darwin a bordo del *Beagle* sembró las semillas de su teoría sobre la evolución. Además de sus funciones como acompañante del capitán, Darwin fungió como el naturalista oficial de la expedición ya que sus tareas consistían en observar y recolectar especímenes geológicos y biológicos. El *Beagle* navegó hacia América del Sur e hizo muchas escalas a lo largo de su costa. Ahí, Darwin observó las plantas y los animales de los trópicos y quedó asombrado por la diversidad de especies en comparación con las de Europa.

Aunque abordó el *Beagle* convencido de la permanencia de las especies, sus experiencias le llevaron muy pronto a poner en duda esta idea. Darwin descubrió una serpiente con extremidades posteriores rudimentarias, a la cual calificó de “vía mediante la cual la naturaleza une los lagartos con las serpientes” (FIGURA E14-2). Darwin también advirtió que los pingüinos usaban sus alas como remos en el agua y no para volar, y observó otra serpiente que no tenía cascabel pero hacía vibrar la cola como dicha especie. Si el creador hubiese diseñado individualmente a cada animal en su forma presente, en armonía con su medio ambiente actual, ¿qué propósito podrían tener estos arreglos provisionales?

Tal vez la escala más importante del viaje fue el mes que permaneció en las islas Galápagos, cerca de la costa noroccidental de América del Sur. Ahí, Darwin halló tortugas enormes. En estas diversas islas habitaban tipos claramente



▲ FIGURA E14-1 Charles Darwin en su juventud



▲ FIGURA E14-2 Vestigios de extremidades posteriores en una serpiente. Algunas serpientes tienen pequeños “espolones” donde sus lejanos antepasados tenían extremidades posteriores. En algunas especies, estas estructuras vestigiales inclusive conservan garras.

diferentes de tortugas. Darwin también encontró varios tipos de pinzones y, como con las tortugas, distintas islas tenían pinzones un poco diferentes. ¿Sería posible que las diferencias entre estos organismos hubieran surgido después de quedar aislados unos de otros en islas separadas? La diversidad de tortugas y pinzones le obsesionó durante muchos años.

En 1836, Darwin regresó a Inglaterra y desde entonces se le consideró uno de los naturalistas más destacados de su época. Pero en su mente estaba siempre presente, atormentándolo, el problema de cómo llegaron a diferenciarse las poblaciones aisladas.

A partir de su experiencia como naturalista, Darwin comprendió que los miembros de una especie por lo general compiten mutuamente para sobrevivir. También reconoció que los ganadores y perdedores de la competencia no se determinan al azar, sino por las características y habilidades de los individuos competidores. En palabras de su colega Alfred Wallace: “Quienes año con año sobreviven a esta terrible destrucción deben ser, en conjunto, aquellos que cuentan con alguna pequeña superioridad que les permite escapar a cada forma especial de muerte a la que la gran mayoría sucumbe”. Darwin comprendió que si los descendientes heredaban estas “pequeñas superioridades”, las especies evolucionarían mediante selección natural. Escribió que “bajo estas circunstancias, las variaciones favorables tenderían a conservarse, y las desfavorables, a destruirse” y que “el resultado... sería la formación de nuevas especies. Así, tuve por fin una teoría con la que podía trabajar”.

Cuando Darwin publicó finalmente *El origen de las especies*, en 1859, sus pruebas resultaron abrumadoras. Si bien las repercusiones no se comprendieron plenamente durante varias décadas, la teoría de Darwin de la evolución por selección natural se convirtió en un concepto unificador en prácticamente todo el campo de la biología.

directo. Se basa en cuatro postulados acerca de las **poblaciones**, es decir, todos los individuos de una especie en una área particular.

Postulado 1 Los individuos varían en una población. Cada uno de los integrantes de una población difiere de los demás en muchos aspectos.

Postulado 2 Los caracteres se heredan de padres a descendientes. Al menos algunas de las diferencias entre los miembros de una población se deben a características que pueden transmitirse de los progenitores a la descendencia.

Postulado 3 Algunos individuos no logran sobrevivir y reproducirse. En cada generación, algunos individuos de una población sobreviven y se reproducen con éxito, pero otros no.

Postulado 4 La supervivencia y la reproducción no están determinadas por el azar. El destino de los individuos no está determinado completamente por el azar o la suerte. En vez de ello, la probabilidad de supervivencia y reproducción de un individuo depende de sus características. Los individuos con caracteres que les confieren ventajas sobreviven más tiempo y dejan mayor número de descendientes, un proceso conocido como **selección natural**.

Darwin y Wallace comprendieron que, si los cuatro postulados eran verdaderos, las poblaciones inevitablemente cambiarían a través del tiempo. Si los miembros de una población tienen caracteres diferentes, y si los individuos mejor adaptados a su medio ambiente dejan más descendencia y transmiten sus caracteres favorables a la siguiente generación, entonces los caracteres favorables serán más comunes en las generaciones posteriores. Las características de la población cambiarán ligeramente con cada generación. Este proceso es la evolución por selección natural.

¿Son verdaderos los cuatro postulados? Darwin así lo pensaba y dedicó buena parte de *El origen de las especies* a describir evidencia que lo sustentara. Examina brevemente cada postulado, en algunos casos con la ventaja del conocimiento que no estaba disponible para Darwin y Wallace.

Postulado 1: los individuos varían en una población

La precisión del postulado 1 es evidente para quienquiera que haya observado gente dentro de una habitación llena. Las personas difieren en estatura, color de ojos, de piel y muchas otras características físicas. La misma variabilidad se presenta en poblaciones de otros organismos, aunque esto podría ser menos obvio para el observador casual (**FIGURA 14-6**). Ahora se sabe que las variaciones en las poblaciones naturales surgen enteramente por el azar, como resultado de mutaciones aleatorias en el ADN (véanse las páginas 213-214 y 229-231). Por ende, las diferencias entre individuos se extienden al nivel molecular. La razón de que las pruebas de ADN permitan relacionar sangre en la escena del crimen con un sospechoso es que la secuencia exacta del ADN de cada persona es única.

Postulado 2: Los caracteres se heredan de padres a descendientes

Cuando Darwin publicó *El origen de las especies* todavía no se descubrían los principios de la genética. Por consiguiente, aunque la observación de la gente, las mascotas y los animales de granja parecía indicar que la descendencia generalmente se parece a sus progenitores, Darwin y Wallace no contaban con evidencias científicas que fundamentaran el postulado 2. Sin embargo, el trabajo posterior de



▲ **FIGURA 14-6 Variación en una población de caracoles** Aunque todos estos caracoles son miembros de la misma población, no hay dos iguales.

PREGUNTA Para generar la variabilidad en estructuras y comportamientos que se necesitan para la selección natural, ¿se requiere la reproducción sexual?

Mendel demostró de manera concluyente que hay caracteres particulares que pueden transmitirse a la descendencia. Desde la época de Mendel, los investigadores en el campo de la genética han producido una imagen detallada de cómo funciona la herencia.

Postulado 3: algunos individuos no logran sobrevivir y reproducirse

La formulación de Darwin del postulado 3 tuvo una fuerte influencia del *Ensayo sobre el principio de la población* (1798) de Thomas Malthus, que describía los peligros del crecimiento sin control de las poblaciones humanas. Darwin estaba muy consciente de que los organismos pueden producir mucha más descendencia de la que se requiere sólo para reemplazar a los progenitores. Por ejemplo, calculó que una sola pareja de elefantes se multiplicaría hasta constituir una población de 19 millones en 750 años si cada descendiente tuviera seis hijos.

Pero el mundo no está invadido de elefantes. El número de elefantes, al igual que el número de individuos en la mayoría de las poblaciones naturales, tiende a permanecer relativamente constante. Por tanto, deben nacer más organismos que sobrevivan el tiempo suficiente para reproducirse. En cada generación, muchos individuos deben morir jóvenes. Incluso entre los que sobreviven, muchos no se reproducen, engendran pocos descendientes o producen una descendencia poco vigorosa que no logra sobrevivir ni reproducirse. Como cabría esperar, siempre que los biólogos hacen un conteo de la progenie en una población, encuentran que algunos individuos tienen más descendientes que otros.

Postulado 4: la supervivencia y la reproducción no están determinadas por el azar

Si la reproducción desigual es la norma en las poblaciones, ¿qué determina cuáles individuos dejan más descendientes? Una gran

cantidad de evidencia científica ha demostrado que el éxito reproductivo depende de las características de un individuo. Por ejemplo, los científicos descubrieron que los elefantes marinos machos más grandes en una población de California tienen más descendencia que los de menor tamaño (porque las hembras prefieren aparearse con los machos grandes). En una población de Colorado, las plantas llamadas boca de dragón con flores blancas tienen más descendencia que las plantas con flores amarillas (porque los polinizadores encuentran más atractivas las flores blancas). En el cuerpo de un paciente de hospital, las bacterias de tuberculosis resistentes a un antibiótico se reprodujeron más rápidamente que las sensibles al antibiótico (porque el paciente era tratado con antibióticos). Tales resultados, y cientos de otros similares, demuestran que, en la competencia por sobrevivir y reproducirse, los ganadores se determinan no por el azar, sino por los caracteres que poseen.

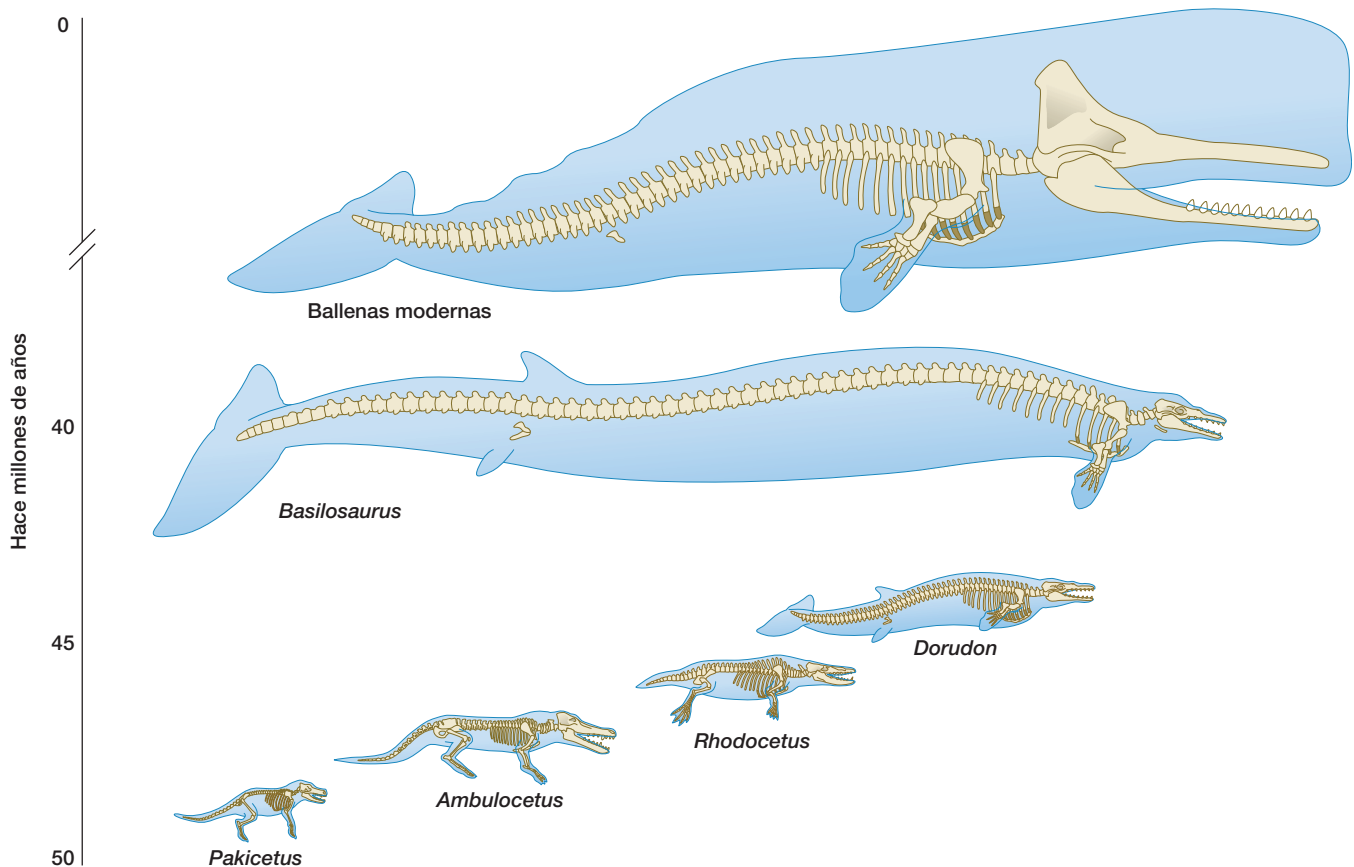
La selección natural modifica las poblaciones con el paso del tiempo

La observación y los experimentos sugieren que los cuatro postulados de Darwin y Wallace son sólidos. La lógica sugiere que la consecuencia resultante debe ser el cambio a lo largo del tiempo en las características de las poblaciones. En *El origen de las especies*, Darwin propuso el siguiente ejemplo: "Tomemos el caso de

un lobo, que se alimenta de diversos animales y [los] atrapa mediante... velocidad... Los lobos más veloces y esbeltos tendrían las mejores posibilidades de sobrevivir, y de esta forma de conservarse o ser seleccionados... Ahora bien, si un leve cambio innato de hábito o estructura beneficiara a un lobo individual, éste tendría la mayor probabilidad de sobrevivir y dejar descendientes. Algunas de sus crías probablemente heredarían los mismos hábitos o estructuras y, mediante la repetición de este proceso, se podría formar una nueva variedad". El mismo argumento sería aplicable a las presas del lobo; las más rápidas o las que están más alerta tendrían mayores posibilidades de evadir a sus depredadores y transmitirían dichos caracteres a su prole.

Observa que la selección natural actúa sobre los individuos dentro de una población. La influencia de la selección sobre el destino de los individuos a la larga tiene consecuencias para la población en su totalidad. Al paso de las generaciones, la población cambia conforme aumenta el porcentaje de individuos que heredan caracteres favorables. Un individuo no evoluciona, pero una población sí lo hace.

Aunque resulta más fácil comprender cómo la selección natural generaría cambios dentro de una misma especie, en circunstancias adecuadas el proceso puede producir especies completamente nuevas. En el capítulo 16 estudiarás las circunstancias que dan origen a especies nuevas.



▲ FIGURA 14-7 La evolución de la ballena Durante los últimos 50 millones de años, las ballenas evolucionaron de ser animales terrestres de cuatro patas, a remadores semiacuáticos, a nadadores acuáticos con patas traseras encogidas, hasta los habitantes del océano con cuerpo liso de la actualidad.

PREGUNTA La historia fósil de algunos tipos de organismos modernos, como los tiburones y cocodrilos, muestra que su estructura y apariencia cambió muy poco a lo largo de cientos de millones de años. Esta falta de cambio, ¿es evidencia de que tales organismos no evolucionaron con el paso del tiempo?

14.3 ¿CÓMO SABEMOS QUE OCURRIÓ LA EVOLUCIÓN?

En la actualidad, la evolución es una teoría científica aceptada. Recuerda, del capítulo 1, que una teoría científica es una explicación general de fenómenos naturales importantes, desarrollada a través de amplias observaciones reproducibles. Un conjunto abrumador de datos respalda la conclusión de que la evolución ocurrió. Las líneas fundamentales de prueba proceden de los fósiles, la anatomía comparada (estudio de cómo las estructuras anatómicas difieren entre las especies), la embriología, la bioquímica y la genética.

Los fósiles ofrecen evidencias del cambio evolutivo al paso del tiempo

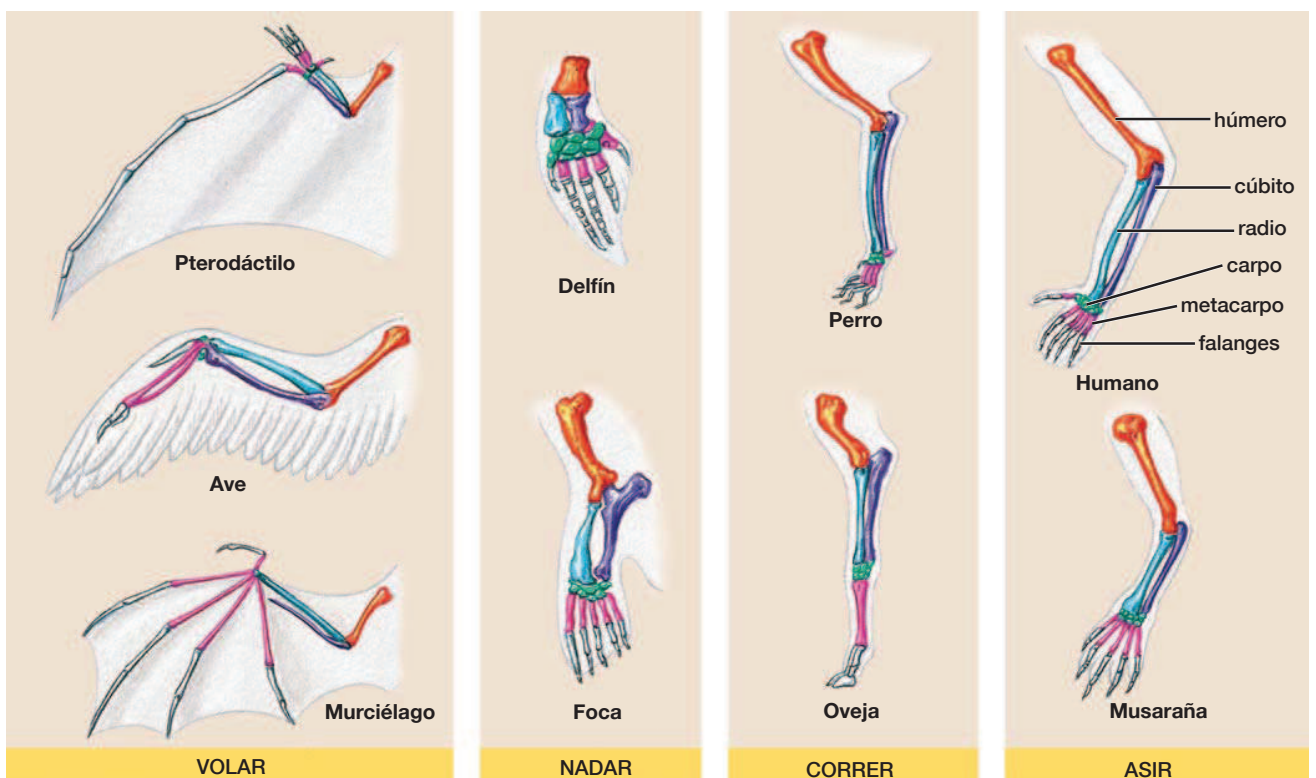
Si es cierto que muchos fósiles son los restos de especies ancestrales de las especies modernas, cabe esperar el descubrimiento de series progresivas de fósiles que partan de un organismo antiguo, pasen por varias etapas intermedias y culminen en una especie moderna. De hecho, esas series progresivas se han encontrado. Por ejemplo, los fósiles de los antepasados de las ballenas modernas ilustran las etapas en la evolución de una especie acuática a partir de ancestros terrestres (FIGURA 14-7). Series de fósiles pertenecientes a jirafas, elefantes, caballos y moluscos también muestran la evolución de sus estructuras corporales con el transcurso del tiempo. Estas series de fósiles sugieren que las nuevas especies evolucionaron a partir de especies previas y tomaron su lugar.

La anatomía comparada ofrece evidencia de la descendencia con modificación

Los fósiles brindan fotografías instantáneas del pasado, que permiten a los biólogos seguir el rastro de los cambios evolutivos, pero el examen meticuloso de los organismos actuales también ayuda a descubrir evidencia de la evolución. La comparación de los cuerpos de organismos de diferentes especies puede revelar semejanzas que sólo se explican mediante ancestros compartidos, y diferencias que sólo podrían resultar de cambios evolutivos en la descendencia de un ancestro común. De esta forma, el estudio de la anatomía comparada aporta fuerte evidencia de que diferentes especies están vinculadas mediante una herencia evolutiva común.

Estructuras homólogas ofrecen pruebas de ancestros comunes

Una estructura corporal puede modificarse mediante evolución para cumplir diferentes funciones en distintas especies. Por ejemplo, las extremidades anteriores de aves y mamíferos tienen usos diversos, como volar, nadar, correr en diferentes tipos de terreno y asir objetos como ramas de árboles y herramientas. A pesar de esta enorme diversidad de funciones, la anatomía interna de todas las extremidades anteriores de aves y mamíferos es muy similar (FIGURA 14-8). Parece inconcebible pensar que una misma disposición de huesos sirva para desempeñar funciones tan diversas, si cada animal se hubiera creado por separado. Sin embargo, esta



▲ FIGURA 14-8 Estructuras homólogas Pese a grandes diferencias en cuanto a función, las extremidades anteriores de todos estos animales contienen el mismo conjunto de huesos, heredados de un ancestro común. Los diferentes colores de los huesos resaltan las correspondencias entre las diversas especies.

PREGUNTA Recopila una lista de estructuras vestigiales humanas. Para cada estructura, menciona la correspondiente estructura homóloga en una especie no humana.

semejanza es exactamente la que se esperaría si las extremidades anteriores de aves y mamíferos provinieran de un ancestro común. Mediante selección natural, las extremidades anteriores ancestrales experimentaron diferentes modificaciones en distintos tipos de animales. Las estructuras resultantes con similitudes internas se llaman **estructuras homólogas**, lo que significa que tienen el mismo origen evolutivo, a pesar de las posibles diferencias en función o aspecto actuales.

Estructuras sin función se heredaron de los ancestros

La evolución por selección natural también ayuda a explicar la curiosa circunstancia de **estructuras vestigiales** que, al parecer, carecen de un propósito definido. Los ejemplos incluyen estructuras como los molares de los vampiros (que se alimentan de sangre y, por tanto, no mastican sus alimentos) y los huesos pélvicos de las ballenas y ciertas serpientes (**FIGURA 14-9**). Es claro que estas dos estructuras vestigiales son homólogas a estructuras que tienen y usan otros vertebrados (animales con columna vertebral). El hecho de que sigan existiendo en animales que no las usan se explica mejor como una especie de "equipaje evolutivo". Por ejemplo, los antiguos mamíferos a partir de los cuales evolucionaron las ballenas tenían cuatro patas y un conjunto bien desarrollado de huesos pélvicos (consulta la figura 14-7). Las ballenas no tienen patas traseras, pero poseen pequeños huesos pélvicos y de extremidades dentro de sus costados. Durante la evolución de las ballenas, la pérdida de las patas traseras les dio una ventaja: un cuerpo más aerodinámico para desplazarse dentro del agua. El resultado es la ballena moderna con pequeños huesos pélvicos inútiles.

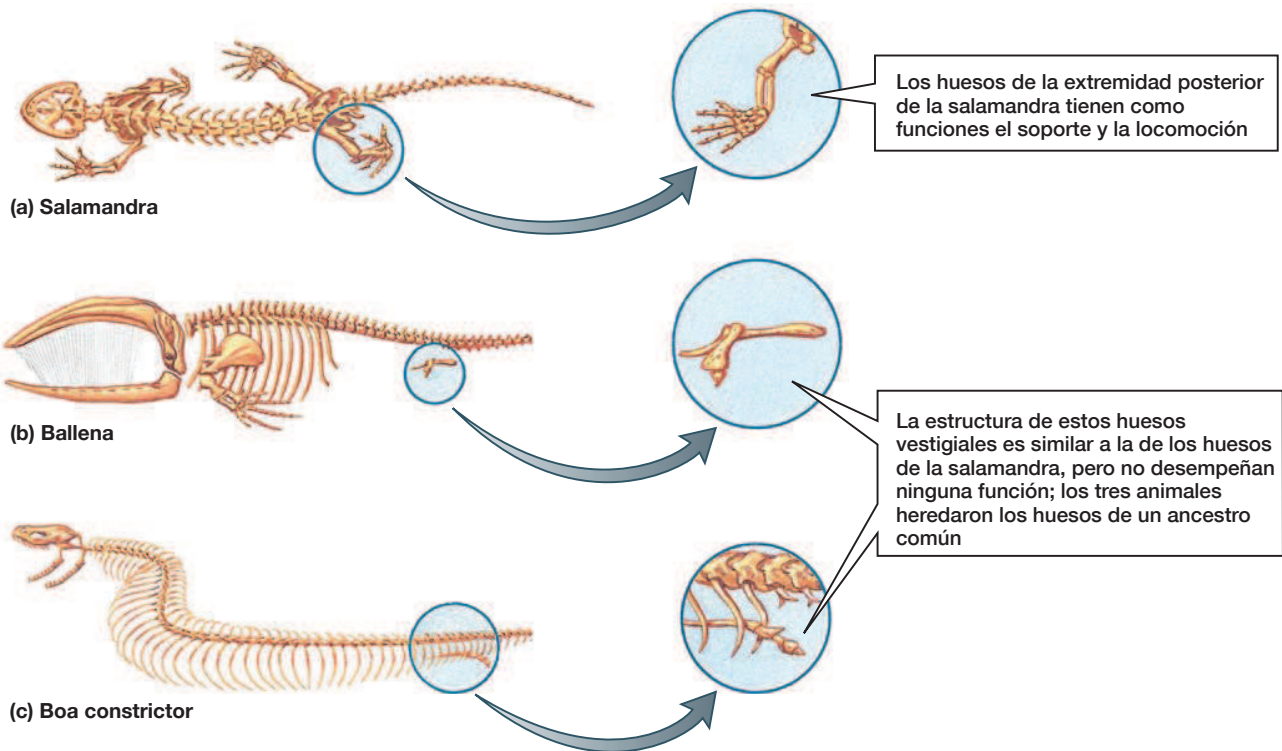
¿Te has preguntado...

por qué los dolores de espalda son tan comunes?

Entre 70 y 85% de las personas experimentará dolor lumbar en algún momento de su vida y, para muchas personas, este padecimiento es crónico. Esta situación es una consecuencia desafortunadamente dolorosa del proceso evolutivo. Los seres humanos caminan erectos sobre dos extremidades, y los ancestros distantes caminaban en cuatro patas. Por ende, para que la columna vertebral tuviera una orientación vertical, la selección natural remodeló una cuya orientación normal era paralela al suelo. La anatomía vertebral evolucionó y sufrió algunas modificaciones en respuesta a su nueva postura pero, como es frecuente con la evolución, esto tuvo un costo. La disposición de huesos y músculos que permiten el suave andar bípedo también genera compresión vertical de la columna vertebral, y la presión resultante puede causar lesiones dolorosas a los tejidos musculares y nerviosos, como sucede con frecuencia.

Algunas semejanzas anatómicas resultan de la evolución en ambientes similares

El estudio de la anatomía comparada demostró la ancestría compartida de la vida al identificar estructuras homólogas que diferentes especies heredaron de sus ancestros comunes, aunque las personas dedicadas a esta disciplina también han identificado muchas semejanzas anatómicas que no provienen de un ancestro común. En vez de ello, dichas similitudes provienen de una



▲ FIGURA 14-9 Estructuras vestigiales Muchos organismos poseen estructuras vestigiales que no tienen una función evidente. **(a)** La salamandra, **(b)** la ballena y **(c)** la boa constrictor heredaron los huesos de las extremidades posteriores de un ancestro común. Dichos huesos todavía desempeñan una función en la salamandra, pero son vestigiales en la ballena y la serpiente.

evolución convergente, donde la selección natural hace que estructuras no homólogas que tienen funciones similares se parezcan entre ellas. Por ejemplo, tanto aves como insectos poseen alas, pero esta semejanza no surgió de la modificación evolutiva de una estructura que tanto aves como insectos heredaron de un ancestro común, sino que surgió de la modificación de dos estructuras no homólogas diferentes que con el tiempo originaron estructuras superficialmente similares. Puesto que la selección natural favoreció el vuelo tanto en las aves como en los insectos, los dos grupos desarrollaron estructuras superficialmente similares: las alas, que son útiles para el vuelo. Tales estructuras similares en lo externo, mas no homólogas, se denominan **estructuras análogas** (FIGURA 14-10). Por lo general, las estructuras análogas son muy diferentes en su anatomía interna, porque sus partes no provienen de estructuras ancestrales comunes.

Las similitudes embriológicas sugieren ancestros comunes

A principios del siglo XIX, el embriólogo alemán Karl von Baer observó que todos los embriones (organismos en desarrollo en el periodo que va de la fertilización al nacimiento o salida del cascarón) de vertebrados muestran un gran parecido entre ellos en las primeras etapas de su desarrollo (FIGURA 14-11). En estas etapas embrionarias iniciales, peces, tortugas, pollos, ratones y seres humanos tienen cola y hendiduras branquiales (también llamadas ranuras branquiales). Pero entre este grupo de animales, sólo los peces conservan las branquias como adultos, y sólo peces, tortugas y ratones conservan colas apreciables.

¿Por qué vertebrados que son tan diferentes presentan etapas de desarrollo similares? La única explicación convincente es que los vertebrados ancestrales poseían genes que dirigían el desarrollo de branquias y colas. Todos sus descendientes poseen todavía esos genes. En los peces, estos genes permanecen activos durante todo el desarrollo, lo que resulta en adultos con cola y branquias totalmente desarrollados. En los seres humanos y en los pollos estos genes sólo están activos durante las etapas iniciales del desarrollo, y las estructuras se pierden o son poco notorias en los adultos.



(a) Libélula



(b) Golondrina

▲ FIGURA 14-10 **Estructuras análogas** La evolución convergente puede producir estructuras similares en lo externo que difieren anatómicamente, como las alas de (a) los insectos y (b) las aves.

PREGUNTA La cola de un pavo real y la cola de un perro, ¿son estructuras homólogas o análogas?



(a) Ratón



(b) Cerdo



(c) Ser humano

▲ FIGURA 14-11 **Las etapas embrionarias revelan relaciones evolutivas** Etapas embrionarias tempranas de (a) un ratón, (b) un cerdo y (c) un ser humano presentan características anatómicas sorprendentemente similares.

Los análisis bioquímicos y genéticos modernos revelan el parentesco entre organismos distintos

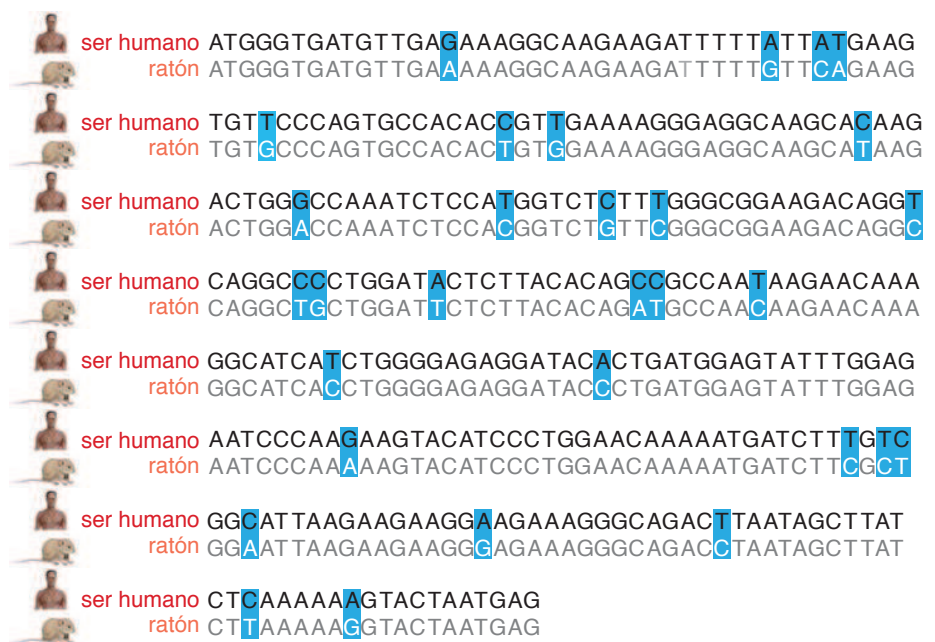
Durante siglos, los biólogos han estado conscientes de las similitudes anatómicas y embriológicas entre organismos, pero era necesario el surgimiento de la tecnología moderna para descubrir la semejanza a nivel molecular. Las semejanzas bioquímicas entre los organismos proporcionan acaso la evidencia más sorprendente de su parentesco evolutivo. Tanto las estructuras anatómicas homólogas como las moléculas homólogas ponen de manifiesto el parentesco.

Los científicos modernos tienen acceso a una poderosa herramienta para revelar las homologías moleculares: la secuenciación de ADN. Ahora es posible determinar rápidamente la secuencia de nucleótidos en una molécula de ADN y comparar el ADN de diferentes organismos. Por ejemplo, considera el gen que codifica la proteína citocromo *c* (consulta los capítulos 11 y 12 para información acerca del ADN y cómo codifica proteínas). El citocromo *c* está presente en todas las plantas y animales (y en muchos organismos unicelulares) y desempeña la misma función en todos ellos. La secuencia de nucleótidos en el gen para citocromo *c* es similar en estas especies diversas (FIGURA 14-12). La presencia generalizada de la misma proteína compleja, codificada por el mismo gen y que realiza la misma función, es evidencia de que el ancestro común de plantas y animales tenía citocromo *c* en sus células. Sin embargo, al mismo tiempo, la secuencia del gen del citocromo *c* difiere un poco en diferentes especies, lo que demuestra que las variaciones surgieron durante la evolución independiente de la multitud de especies vegetales y animales de la Tierra.

Algunas similitudes bioquímicas son tan fundamentales que se extienden a todas las células vivientes. Por ejemplo:

- Todas las células tienen ADN como el portador de información genética.
- Todas las células usan ARN, ribosomas y aproximadamente el mismo código genético para traducir dicha información genética en proteínas.

► FIGURA 14-12 La semejanza molecular demuestra las relaciones evolutivas. Secuencias de ADN de los genes que codifican el citocromo *c* en un ser humano y en un ratón. De los 315 nucleótidos en el gen, sólo 30 (resaltados en azul) difieren entre las dos especies.



Estudio de caso continuación

¿Qué tan útiles son las muelas del juicio?

Así como la homología anatómica puede conducir a estructuras vestigiales como las muelas del juicio en los seres humanos y las alas de las aves que no vuelan, la homología genética puede conducir a secuencias vestigiales de ADN. Por ejemplo, muchas especies de mamíferos producen una enzima, la l-gulonolactona oxidasa, que cataliza el último paso en la producción de vitamina C. Las especies que producen la enzima pueden hacerlo porque todas heredaron de un ancestro común el gen que la codifica. Sin embargo, los seres humanos no producen l-gulonolactona oxidasa, de modo que no pueden producir vitamina C ellos mismos y deben consumirla en sus dietas. Pero, aun cuando no produzcan la enzima, las células de los seres humanos contienen una hebra de ADN con una secuencia muy similar a la del gen que produce la enzima en las ratas y casi todos los demás mamíferos. No obstante, la versión humana no codifica la enzima (o proteína alguna). Esta hebra de ADN se heredó de un ancestro que el ser humano comparte con otras especies de mamíferos, pero en los seres humanos, la secuencia experimentó un cambio que la volvió no funcional. Permanece como carácter vestigial, evidencia de la ancestría compartida.

- Todas las células usan aproximadamente el mismo conjunto de 20 aminoácidos para construir proteínas.
- Todas las células usan ATP como portador de energía celular.

La manera más convincente de explicar el hecho de que se compartan de forma tan generalizada caracteres bioquímicos complejos y específicos es que los caracteres son homologías. Esto es, surgieron sólo una vez, en el ancestro común de todas las cosas vivientes, de donde la heredaron todos los organismos actuales.

14.4 ¿CUÁLES SON LAS EVIDENCIAS DE QUE LAS POBLACIONES EVOLUCIONAN POR SELECCIÓN NATURAL?

Hemos observado evidencia de que la evolución proviene de muchas fuentes. Pero, ¿cuál es la prueba de que la evolución ocurre mediante el proceso de selección natural?

La reproducción controlada modifica los organismos

Una línea de evidencia que respalda la evolución por selección natural es la **selección artificial**, la reproducción de plantas y animales domésticos para producir características específicas deseables. Las diversas razas de perros ofrecen un ejemplo notable de selección artificial (**FIGURA 14-13**). Los perros descienden de los lobos



(a) Lobo gris



(b) Perros diversos

▲ **FIGURA 14-13** La diversidad de los perros ilustra la **selección artificial**. Una comparación de (a) el perro ancestral (lobo gris, *Canis lupus*) con (b) varias razas de perros en la actualidad. La selección artificial practicada por los seres humanos produjo gran divergencia en el tamaño y forma de los perros en unos cuantos miles de años.

y aun en la actualidad ambas especies se cruzarían con facilidad. Sin embargo, con raras excepciones, los perros modernos no se parecen a los lobos. Algunas razas son tan diferentes entre sí que se les consideraría como especies distintas si se encontraran en estado salvaje. Los seres humanos produjeron estos perros radicalmente diferentes en unos cuantos miles de años sólo con seleccionar repetidamente individuos con caracteres deseables para cruzarlos. Por consiguiente, es muy creíble que la selección natural pudiera producir, mediante un proceso análogo que actuara durante cientos de millones de años, el espectro de los organismos vivos. Darwin estaba tan impresionado por la conexión entre la selección artificial y la selección natural que dedicó a este tema un capítulo entero de *El origen de las especies*.

La evolución por selección natural ocurre en la actualidad

La lógica de la selección natural no brinda razones que hagan pensar que el cambio evolutivo se limita al pasado. Al fin y al cabo, la variación hereditaria y la competencia por el acceso a los recursos sin duda no se limitan al pasado. Si Darwin y Wallace tuvieron razón en cuanto a que esas condiciones llevan inevitablemente a la evolución por selección natural, entonces los observadores y experimentadores científicos tendrían que ser capaces de detectar el cambio evolutivo mientras éste ocurre, y lo han hecho. A continuación, considera algunos ejemplos que te permitirán ver la selección natural en acción.

Cuando hay menos depredadores, puede evolucionar la coloración más brillante

En la isla de Trinidad, los peces millón (guppis) viven en arroyos donde también habitan varias especies de peces depredadores más grandes, que suelen alimentarse de guppis (**FIGURA 14-14**). Sin embargo, en las partes más altas de estos arroyos, el agua no tiene la profundidad que necesitan los depredadores y los guppis están a salvo de ellos. Cuando los científicos compararon un grupo de guppis machos en una zona situada corriente arriba con guppis



▲ **FIGURA 14-14** Los guppis evolucionan para volverse más coloridos en ambientes sin depredadores. Los guppis machos (arriba) tienen colores más brillantes que las hembras (abajo). Algunos guppis machos son más coloridos que otros. En algunos ambientes se seleccionan los machos más brillantes; en otros se seleccionan los machos menos vistosos.

de un área corriente abajo, descubrieron que los primeros tenían una coloración mucho más brillante que los guppis del otro grupo. Los científicos sabían que la fuente de la población que vivía corriente arriba eran guppis que encontraron su camino hacia aguas menos profundas muchas generaciones atrás.

La explicación para la diferencia en coloración entre las dos poblaciones surge de las preferencias sexuales de los guppis hembras. Las hembras prefieren aparearse con los machos de colores más brillantes; así que los machos más vistosos gozan de una gran ventaja en materia de reproducción. En las zonas donde no hay depredadores, los guppis machos con los colores brillantes que prefieren las hembras tienen más descendencia que los machos menos vistosos. Sin embargo, la coloración brillante hace a los guppis más llamativos para los depredadores y, en consecuencia, aumenta para ellos el riesgo de ser devorados. Por tanto, donde abundan los depredadores, éstos actúan como agentes de selección natural al eliminar a los machos de coloración brillante antes de que puedan reproducirse. En dichas áreas, los machos menos llamativos tienen la ventaja y engendran más descendientes. La diferencia de color entre las poblaciones de guppis corriente arriba y corriente abajo es un resultado directo de la selección natural.

La selección natural puede conducir a la resistencia a los pesticidas

La selección natural también es evidente en los numerosos casos de plagas de insectos que se vuelven resistentes a los pesticidas con los que se intenta combatirlos. Por ejemplo, hace algunas décadas, los habitantes de Florida quedaron consternados al darse cuenta de que las cucarachas se mostraban indiferentes ante un cebo envenenado anteriormente eficaz llamado Combat®. Los investigadores descubrieron que el cebo actuó como agente de selección natural. Las cucarachas a las que les gustaba el cebo morían invariablemente; las que sobrevivieron heredaron una rara mutación que hacía que les disgustara la glucosa, un tipo de azúcar presente en el jarabe de maíz utilizado como cebo en el Combat®. Para cuando los investigadores identificaron el problema, la mutación que antes era rara se había vuelto común entre la población de cucarachas urbanas de Florida. (Para más ejemplos de cómo los seres humanos influyen en la evolución, consulta el "Guardián de la Tierra: La humanidad promueve la evolución a gran velocidad".)

Por desgracia, la evolución de la resistencia a los pesticidas en los insectos es un ejemplo frecuente de selección natural en acción. Tal resistencia se ha documentado en más de 500 especies de insectos que dañan los sembradíos, y prácticamente todos los pesticidas han impulsado la evolución de la resistencia en al menos una especie de insectos. Por este fenómeno evolutivo se paga un precio muy alto. Los pesticidas adicionales que los granjeros aplican en su intento por exterminar los insectos resistentes cuestan casi dos mil millones de dólares cada año sólo en Estados Unidos, además de que añaden millones de toneladas de sustancias tóxicas al suelo y agua del planeta.

Los experimentos pueden demostrar la selección natural

Además de observar la selección natural en la naturaleza, los científicos también idearon numerosos experimentos que confirman la acción de la selección natural. Por ejemplo, un grupo de biólogos evolutivos dejaron en libertad pequeños grupos de lagartos *Anolis sagrei* en 14 pequeñas islas de las Bahamas donde antes no habitaban los lagartos (FIGURA 14-15). Los lagartos originales provenían de una población del Cayo Staniel, una isla con vegetación alta que incluía abundantes árboles. Por el contrario, las islas donde se



▲ FIGURA 14-15 El tamaño de las patas del lagarto *Anolis sagrei* evoluciona en respuesta a los cambios en el ambiente

introdujeron los pequeños grupos de colonizadores tenían pocos árboles o ninguno, y estaban cubiertas principalmente con pequeños arbustos y otras plantas de escasa altura.

Los biólogos regresaron a esas islas 14 años después de liberar a los colonizadores y descubrieron que los pequeños grupos originales de lagartos produjeron florecientes poblaciones de cientos de individuos. En las 14 islas experimentales, los lagartos tenían patas más cortas y delgadas que los lagartos de la población original del Cayo Staniel. Al parecer, en poco más de una década, las poblaciones de lagartos cambiaron en respuesta a su nuevo ambiente.

¿Por qué las nuevas poblaciones de lagartos evolucionaron para tener patas más cortas y delgadas? Las patas largas permiten correr más rápido, pero las patas más cortas permiten mayor agilidad y maniobrabilidad sobre superficies angostas. De este modo, la selección natural favorece unas patas tan largas y gruesas como sea posible, siempre y cuando permitan suficiente maniobrabilidad. Cuando los lagartos se mudaron de un ambiente con árboles de ramas gruesas a uno donde sólo había arbustos de ramas delgadas, los individuos con patas largas, antes favorables, se encontraron en desventaja. En el nuevo ambiente, los individuos de patas más cortas eran más ágiles y, en consecuencia, más capaces de escapar de los depredadores y sobrevivir para producir mayor número de crías. Por consiguiente, los miembros de generaciones posteriores tuvieron patas más cortas en promedio.

La selección actúa sobre la variación aleatoria para favorecer los fenotipos que funcionan mejor en ambientes específicos

Dos puntos importantes subyacen en los cambios evolutivos recién descritos:

- Las variaciones sobre las que opera la selección natural son producto de mutaciones fortuitas. La brillante coloración de los guppis de Trinidad, la aversión de las cucarachas de Florida

Guardián de la Tierra

La humanidad promueve la evolución a gran velocidad

Probablemente tú no te consideres como un gran motor de evolución. No obstante, a medida que abor das las tareas de tu vida diaria, contribuyes a lo que acaso es hoy la causa más significativa de cambio evolutivo rápido. La actividad humana ha cambiado enormemente los ambientes de la Tierra, y cuando los ambientes cambian, las poblaciones se adaptan o perecen. La lógica biológica de la selección natural, explicada tan claramente por Darwin, dice que el cambio ambiental conduce inevitablemente al cambio evolutivo. Por tanto, al cambiar el medio ambiente, los seres humanos se convirtieron en un gran agente de selección natural.

Por desgracia, muchos de los cambios evolutivos causados por las personas resultan ser malas noticias para la humanidad. El uso indiscriminado de pesticidas selecciona plagas resistentes que frustran los esfuerzos para proteger las fuentes de alimentos. Al tomar antibióticos u otros medicamentos en exceso, se seleccionaron "supergermenes" resistentes y enfermedades que cada vez son más difíciles de tratar. La pesca excesiva en los océanos del mundo favorece a peces más pequeños que pueden deslizarse con mayor facilidad y escapar de las redes, lo que por tanto selecciona a individuos de crecimiento lento que permanecen pequeños incluso cuando son adultos maduros. Como resultado, los peces de muchas especies con importancia comercial ahora son tan pequeños que la posibilidad de extraer alimentos del mar está en riesgo.

El uso de pesticidas, antibióticos y tecnología pesquera ha provocado cambios evolutivos que amenazan la salud y el bienestar de las personas, pero el alcance de dichos cambios puede empequeñecer ante los que surgirán por la modificación humana del clima de la Tierra. Las actividades de los seres humanos, en especial las actividades que usan energía derivada de combustibles fósiles, modifica el clima al contribuir al calentamiento global. En los años por venir, la evolución de las especies estará influida por cambios ambientales asociados a un clima más caliente, como la reducción del hielo y la nieve, periodos más largos de cultivo y cambios en los ciclos de vida de otras especies que proporcionan alimento o cobijo.

Cada vez hay más evidencia de que el calentamiento global ya provoca cambios evolutivos. La evolución relacionada con el calentamiento se ha descubierto en varias especies de poblaciones vegetales y animales. Por ejemplo, algunos investigadores descubrieron que, en poblaciones norteañas de una especie de mosquito, la respuesta genéticamente programada del mosquito ante el cambio en la duración del día se ha modificado durante las últimas cuatro décadas. (Los mosquitos usan la duración del día como una pista que les dice qué época del año es.) Como resultado, ahora se necesitan días más cortos para estimular las larvas de los mosquitos para que entren a su etapa de pupa en hibernación, y la transición tiene lugar mucho más tarde en el otoño. La demora permite

que las larvas saquen ventaja de la época de alimentación y crecimiento más larga producida por el calentamiento global.

En Canadá, las ardillas rojas de una colonia vigilada muy de cerca por científicos ahora producen camadas 18 días antes, en promedio, de lo que lo hacían hace 10 años (FIGURA E14-3). El cambio está ligado a un clima más caliente, porque ahora la primavera llega más pronto y los abetos producen semillas más temprano, el único alimento de las ardillas. Las ardillas que se aparean tempranamente obtienen una ventaja competitiva al explotar mejor el clima más cálido y comida más abundante. Y, dado que la época cuando una ardilla da a luz está influida por la constitución genética del animal, las ardillas de apareamiento temprano transmiten a sus descendientes los genes que confieren esta ventaja. Como resultado, la constitución genética de la población de ardillas está cambiando, y las ardillas de apareamiento temprano se vuelven más comunes que las de apareamiento tardío.

La evidencia disponible sugiere que el cambio climático global tendrá un enorme impacto evolutivo, lo que potencialmente afectará la evolución de casi todas las especies. ¿Cómo estos cambios evolutivos afectarán a la humanidad y a los ecosistemas de los que depende? Esta pregunta no se responde con facilidad, porque la ruta de la evolución no es predecible. Sin embargo, hay esperanza de que una monitorización cuidadosa de las especies en evolución y un conocimiento cada vez más profundo de los procesos evolutivos ayuden a dar los pasos adecuados para asegurar la salud y el bienestar de los seres humanos a medida que la Tierra se calienta.



▲ FIGURA E14-3 Las ardillas rojas evolucionaron en respuesta al calentamiento global

a la glucosa y las patas más cortas de los lagartos de las Bahamas no fueron *producto* de las preferencias de apareamiento de las hembras, del jarabe de maíz envenenado o de las ramas más delgadas. Las mutaciones que produjeron cada uno de estos caracteres ventajosos surgieron espontáneamente.

- **La selección natural favorece a los organismos mejor adaptados a un ambiente particular.** La selección natural no es un mecanismo para generar grados cada vez mayores de perfección. La selección natural no selecciona lo "mejor" en

un sentido absoluto, sino sólo lo que es mejor en el contexto de un medio ambiente particular, que varía de un lugar a otro y puede cambiar con el paso del tiempo. Un carácter que es ventajoso bajo un conjunto de condiciones puede llegar a ser desfavorable si las condiciones cambian. Por ejemplo, en presencia de jarabe de maíz envenenado, la aversión a la glucosa produce una ventaja para una cucaracha, pero bajo condiciones naturales el rechazo de la glucosa haría que el insecto pasara por alto valiosas fuentes de alimento.

Estudio de caso otro vistazo

¿Qué tan útiles son las muelas del juicio del juicio?

Las muelas del juicio son un ejemplo entre muchas estructuras anatómicas humanas que, al parecer, ya no desempeñan alguna función importante (FIGURA 14-16). El mismo Darwin hizo notar la existencia de estos caracteres “sin utilidad o casi sin utilidad” en el primer capítulo de su libro *El origen de las especies* y afirmó que constituían la principal evidencia de que los seres humanos evolucionaron a partir de especies anteriores.

El vello corporal es otro carácter vestigial humano. Parece ser una reliquia evolutiva del pelaje que mantenía calientes a los ancestros distantes (y que aún brinda calor a los parientes evolutivos más cercanos, los grandes simios). No sólo se conserva el vello corporal carente de función, también se conservan los erectores del pelo, las fibras musculares que permiten a otros mamíferos esponjar su pelaje para aislarse mejor. En los seres humanos, estas estructuras vestigiales sólo provocan el efecto de “piel de gallina”.

Si bien los seres humanos no tienen ni necesitan cola, sí tienen el hueso correspondiente o cóccix. El cóccix consta de algunas vértebras diminutas fundidas en una pequeña estructura en la base de la columna vertebral, en donde se hallaría una cola si tuvieran una. Las personas que nacen sin cóccix o a quienes se les extirpa quirúrgicamente no sufren consecuencias negativas.

Considera esto

Los defensores del creacionismo argumentan que no hay órganos vestigiales porque, si una estructura puede hacer *algo*, no puede



▲ FIGURA 14-16 Muelas del juicio Apretadas en una mandíbula sin espacio suficiente para contenerlas, las muelas del juicio con frecuencia se impactan, por lo que quedan imposibilitadas para salir a la superficie de la encía. Los dientes superior e inferior en la extrema izquierda de esta radiografía son muelas del juicio impactadas.

considerarse inútil, incluso si al eliminarla no se produce un efecto. Por tanto, desde esta perspectiva, las muelas del juicio no son evidencia de la evolución porque, si no se extraen, *pueden* utilizarse para masticar. ¿Consideras que este argumento es convincente?

Repaso del capítulo

Resumen de conceptos clave

14.1 ¿Cómo se desarrolló el pensamiento evolutivo?

Históricamente, la explicación más común del origen de las especies fue la creación divina de cada especie en su forma actual, y se creía que las especies permanecían inalterables después de su creación. Esta visión fue puesta en duda por la evidencia de los fósiles, la geología y la exploración biológica de los trópicos. Desde mediados del siglo XIX, los científicos se dieron cuenta de que las especies se originan y evolucionan mediante la operación de procesos naturales que modifican la constitución genética de las poblaciones.

14.2 ¿Cómo funciona la selección natural?

Charles Darwin y Alfred Russel Wallace propusieron de forma independiente la teoría de la evolución por selección natural. Su teoría expresa las consecuencias lógicas de cuatro postulados acerca de las poblaciones. Si (1) las poblaciones son variables, (2) los caracteres variables pueden heredarse, (3) existe reproducción diferencial (desigual) y (4) las diferencias en el éxito reproductivo dependen de los caracteres de los individuos, entonces las características de los individuos exitosos serán “seleccionadas naturalmente” y se volverán más comunes con el paso del tiempo.

14.3 ¿Cómo sabemos que ocurrió la evolución?

Muchas líneas de evidencia indican que ocurrió la evolución, incluidas las siguientes:

- Los fósiles de especies antiguas tienden a ser más simples en forma que las especies modernas. Se han descubierto secuencias de fósiles que muestran una graduación de cambios de forma. Ambas observaciones se esperarían si las especies modernas evolucionaron a partir de especies más antiguas.
- Las especies que se consideran emparentadas a través de la evolución a partir de un ancestro común presentan muchas estructuras anatómicas similares. Un ejemplo son las extremidades anteriores de anfibios, reptiles, aves y mamíferos.
- Las primeras etapas del desarrollo embrionario son muy similares entre tipos muy diferentes de vertebrados.
- Las semejanzas en caracteres bioquímicos como el uso del ADN como portador de la información genética apoyan la noción de que las especies emparentadas descienden por evolución de ancestros comunes.

14.4 ¿Cuáles son las evidencias de que las poblaciones evolucionan por selección natural?

De igual modo, muchas líneas de evidencia indican que la selección natural es el principal mecanismo que dirige los cambios en las características de las especies a lo largo del tiempo, incluidas las siguientes:

- Los caracteres heredables han sido modificados rápidamente en poblaciones de plantas y animales domésticos mediante