

Biología y Geología

Unidad 3

Biodiversidad y clasificación de los seres vivos



Figura 3.1. Los arrecifes de coral son muy ricos en biodiversidad y están amenazados por la actividad humana.

Copyright (c) 2004 [Richard Ling](#).

El término biodiversidad alude a la cantidad, variedad y variabilidad de los organismos vivos que pueblan el planeta, cómo varía de un lugar a otro y también a lo largo del tiempo. Esta biodiversidad proporciona beneficios básicos al ser humano y su pérdida ocasiona grandes pérdidas en aspectos tan fundamentales como la seguridad alimentaria, disponibilidad de agua limpia y materias primas, vulnerabilidad frente a desastres naturales, expansión de algunas enfermedades transmisibles y otros.

Actualmente, los ecosistemas naturales continúan siendo modificados de una manera radical por intervención humana y la biodiversidad, a nivel mundial, está viviendo una tasa de pérdida hasta ahora desconocida, con un ritmo de extinción de especies más de cien veces superior al natural.

Las causas de origen antrópico y las naturales muchas veces se potencian mutuamente y hacen que las especies sean cada vez más vulnerables ante nuevas amenazas y que las poblaciones, ya diezmadas, vean reducido su potencial de recuperación.

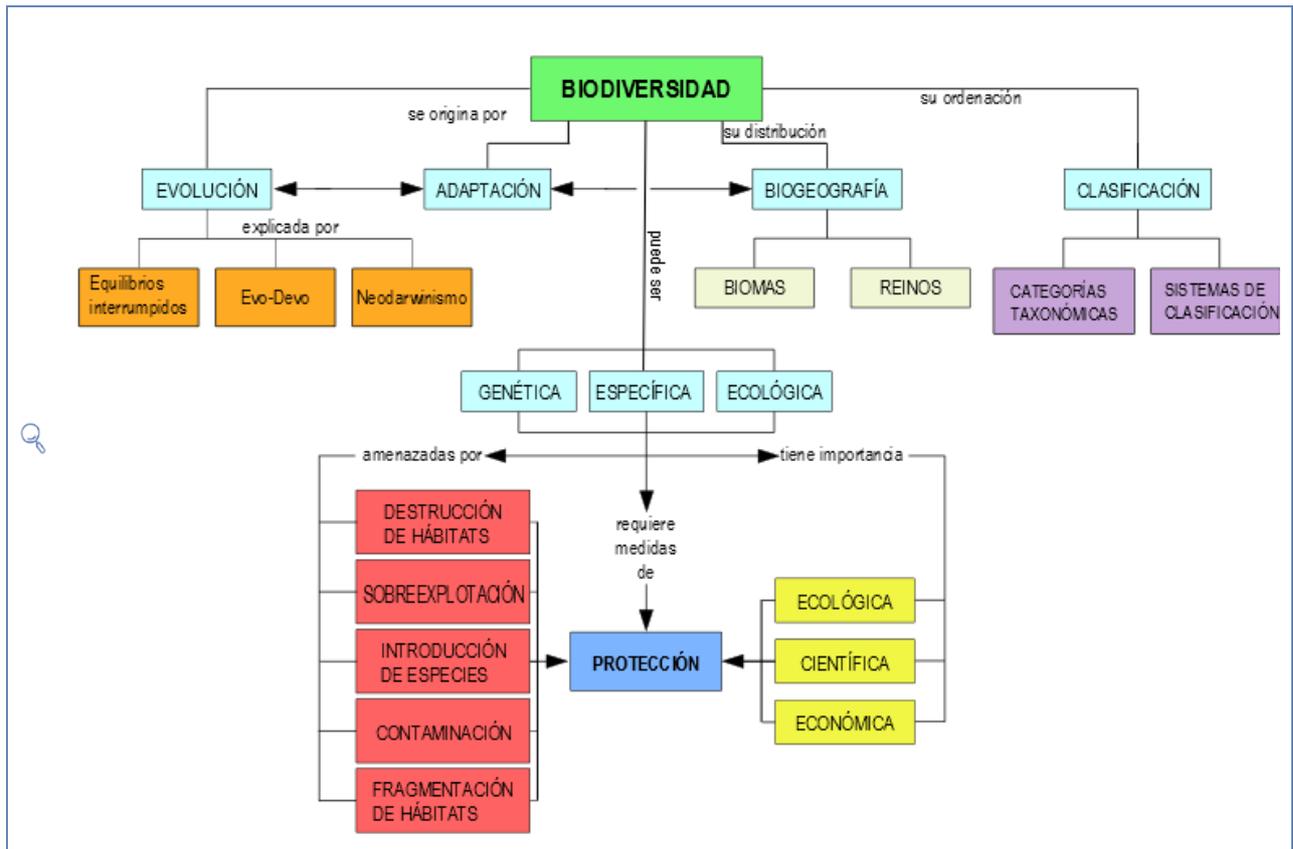
En el futuro inmediato se prevé un declive continuado de la biodiversidad, tanto en los ecosistemas acuáticos como terrestres, y que ello repercutirá muy negativamente en el bienestar humano por exposición a inundaciones, sequías, menor disponibilidad de agua potable, pérdida de alimentos, incendios forestales, enfermedades,... Además de que se ampliará la desigualdad entre diferentes poblaciones humanas, sobre todo en lo referente a disponibilidad de alimentos.

Prevenir situaciones como las indicadas pasa por tener en cuenta el efecto sobre la biodiversidad en la planificación de las actividades agrícolas, pesqueras, de silvicultura y, de manera fundamental, por informar al conjunto de la sociedad de cuáles son las opciones frente a esa pérdida y las consecuencias de no ponerlas en práctica.

Se hace imprescindible y urgente la puesta en práctica de medidas de protección y conservación a todos los niveles, incluyendo acuerdos internacionales, implantación de instrumentos financieros e incentivos económicos que valoren los servicios que prestan los ecosistemas, fomento de las técnicas agrícolas, ganaderas y energéticas sostenibles, declaración de más espacios protegidos y su vigilancia, de santuarios de conservación para especies en peligro y otras muchas medidas que, de no ponerse en práctica con carácter urgente, es posible que no lleguen a tiempo de impedir que se complete la sexta extinción.

Índice

1. Biodiversidad	128
1.1. Origen de la biodiversidad	130
2. Biodiversidad y medio ambiente	139
2.1. Adaptación de los seres vivos	139
2.2. Distribución de los seres vivos	147
2.3. Los grandes biomas	148
2.4. Reinos biogeográficos o ecozonas	152
3. La conservación de la biodiversidad	156
3.1. El valor de la biodiversidad	156
3.2. Las amenazas a la biodiversidad	159
3.3. Acciones para la conservación de la biodiversidad	159
4. Clasificación y nomenclatura de los seres vivos	162
4.1. Nomenclatura binomial	162
4.2. Sistemas de clasificación naturales	163
4.3. El nacimiento de la sistemática	165
4.4. ¿Tres o cuatro reinos?	166
4.5. El método cladístico	168
4.6. Los cinco reinos	171
4.7. La filogenia molecular	172
4.8. Clasificación de Cavalier-Smith (seis reinos)	173
4.9. Clasificación de Margulis (cinco reinos)	175
4.10. Clasificación de las plantas	181
4.11. Clasificación de los animales	183
5. Identificación con claves dicotómicas	187
Resumen	188
Solucionario	189
Glosario	193

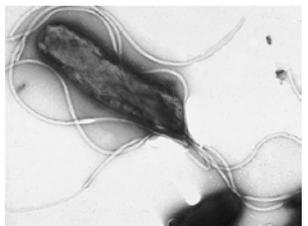


Objetivos

1. Reconocer los niveles de complejidad de los seres vivos.
2. Integrar la importancia de la biodiversidad como garante de la existencia de la biosfera en la Tierra.
3. Entender los cambios de las clasificaciones de los seres vivos como consecuencia del desarrollo de las técnicas de experimentación y análisis.
4. Desarrollar un recorrido histórico de las hipótesis evolucionistas en el contexto social en que se formularon.
5. Comprender la importancia y aplicación del método cladístico en la clasificación de los seres vivos.



«*Dinophysis acuminata*» de fjouenne CC BY-SA 3.0 nl vía Wikimedia Commons.



«EMpylori» de Yutaka Tsutsumi, Yutaka Tsutsumi, Copyrighted free use vía Wikimedia Commons.

Figuras 3.2. a 3.6. Ejemplos de seres vivos de cinco reinos.

1. Biodiversidad

En el convenio de Río se define biodiversidad (del griego *bio*, vida y del latín *diversitas*, variedad) o diversidad biológica, como *la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los de los ecosistemas terrestres y acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte*. Se puede distinguir, pues, entre diversidad dentro de cada especie (o diversidad **genética**), diversidad **entre especies** y diversidad de los ecosistemas (o diversidad **ecológica**).

La biodiversidad actual de la Tierra es el resultado de cuatro mil millones de años de evolución. Como se verá en la Unidad 10, desde que hace 530 millones de años (Ma) se iniciara la llamada explosión del Cámbrico (durante la cual aparecieron representantes de prácticamente todos los **filos** del reino animal: artrópodos, cnidarios, equinodermos, moluscos, cordados...), apenas se han producido importantes cambios en el reino animal –la “conquista” del medio aéreo, la exuberante diversificación de los insectos, la irrupción de los dinosaurios, el amanecer de la inteligencia humana–, y éstos se han limitado a la introducción de modificaciones dentro de cada filo para adaptarse a nuevos ambientes. Ningún nuevo filo, ningún plan de organización novedoso, ha surgido entre los animales desde el último coletazo de creatividad, hará unos 500 Ma (aunque sí en otros reinos: las plantas con flores aparecieron hace “solo” unos 100 Ma).

Paralelamente, se produjeron grandes extinciones de origen natural que acabaron con gran parte de la vida existente en ese momento.

Como indicábamos en el epígrafe 6 de la Unidad 1 (página 43), no se conoce el número actual de especies vivientes. Se han catalogado hasta la fecha algo más de millón y medio, pero cada año se descubren regularmente nuevas especies –por ejemplo, un promedio de tres aves por año–, y muchas de ellas no han sido aún clasificadas. A modo de ejemplo, el 40 % de los peces de agua dulce de Sudamérica permanece sin identificar, clasificar y nombrar.

Lo que si se conoce es que actualmente se está produciendo una **pérdida de diversidad** o desaparición de un gran número de especies (algunas estimaciones la sitúan en el uno por mil anual) principalmente debido a **factores antrópicos** (es decir, debidos al ser humano ya sea directamente o indirectamente): contaminación ambiental, explotación de recursos naturales... Se calcula que el ritmo de desaparición de especies es 50 veces mayor que el “natural”.

A lo largo de esta unidad veremos de qué manera se estima la biodiversidad actual en la biosfera, cuál es el origen de toda esa biodiversidad y qué factores influyen en su distribución, cuál es su importancia y por qué está amenazada y de qué forma se clasifican y nombran los seres vivos para intentar profundizar en su conocimiento.

Diversidad genética

Es la variedad de **genotipos** presentes en los individuos de una misma especie. Sabemos que la información genética está codificada en fragmentos de ADN llamados genes, cuyo conjunto constituye el **genotipo** del individuo. La expresión del genotipo es el **fenotipo**. Pero no todos los individuos muestran los mismos caracteres en su fenotipo y se debe a que poseen distintas variantes para esos genes llamadas **alelos**. Por ejemplo, el carácter "*color de la semilla*" en el guisante (fenotipo) está controlado por un gen con dos alelos, uno que determina el "*color amarillo*" y otro que produce "*color verde*". De la presencia de unos u otros alelos y de su interacción dependerá el fenotipo del individuo.

La diversidad genética se debe a:

- **Mutaciones** o cambios en la información genética de un individuo que pueden afectar a un gen, a un cromosoma o al número de cromosomas. Si ocurre en las células reproductoras, la mutación se transmitirá a la descendencia.
- **Recombinación genética** durante la reproducción sexual, tanto por sobrecruzamiento en meiosis, como por el reparto aleatorio entre gametos y la combinación de genotipos procedentes de ambos progenitores.

*Ramón Margalef (1919-2004)

Primer catedrático de Ecología y fundador de esta disciplina en España.

Diversidad específica

Es la variedad de especies diferentes que habitan una zona, un ecosistema determinado o en toda la biosfera. Existen multitud de metodologías e índices propuestos por distintos investigadores para medir y poder comparar la diversidad entre diferentes ecosistemas. A título de ejemplo, citaremos el *índice de Margalef**:

$$D_{Mg} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

donde S es el número de especies y N el número total de individuos.

Diversidad ecológica

Es la variedad de **comunidades** y de relaciones que establecen entre sí y con el medio que les rodea.

Comunidad o **biocenosis**

es el conjunto de poblaciones de todas las especies que conviven en un ecosistema determinado.

La diversidad ecológica se manifiesta en la variedad de ecosistemas como praderas o bosques que podemos apreciar en distintos territorios y es consecuencia de un proceso histórico de cambio en los ecosistemas y de las interacciones de los seres vivos entre sí y con su medio.

1.1. Origen de la biodiversidad

Ya hemos dicho que existe una extraordinaria diversidad en la biosfera y que es el resultado de 4000 millones de años de evolución, pero ésta es una idea relativamente reciente en la historia: hasta bien entrado el siglo XIX prevalecieron las ideas **fijistas** que defendían la inmutabilidad de las especies. El concepto de **evolución** de las especies llegó con las propuestas de Lamarck, primero, y de Darwin y Wallace después.

La evolución de los seres vivos

Se conoce con el nombre de **evolución biológica**, o simplemente evolución, a la transformación gradual y progresiva, a lo largo de extensos períodos de tiempo, de las especies de seres vivos.

La evolución implica que:

- **Los seres vivos cambian a lo largo del tiempo: unas especies desaparecen y aparecen otras nuevas.**
- **Todos los seres vivos tenemos un parentesco más o menos cercano en función del tiempo transcurrido desde que se separaron los correspondientes linajes.**

Las ideas fijistas

Los filósofos griegos buscaban ya una explicación racional de la naturaleza o *fisis*, a la que concebían como algo unitario y sometido a continuo cambio. Anaximandro (siglo VI aC) supuso que los primeros seres vivos aparecieron en el agua, colonizando posteriormente la tierra, e imaginó que el propio hombre debía proceder de criaturas diferentes.

Paralelamente a esta línea de pensamiento, se fue imponiendo una filosofía completamente opuesta, que terminó por desplazarla. Así, el filósofo griego Parménides (510 aC–450 aC) consideraba la realidad como algo fundamentalmente inmóvil, inmutable, que no está sujeto a ningún cambio o devenir. Estas ideas tuvieron continuación en Platón (427 aC–347 aC) y su discípulo Aristóteles y perduraron durante toda la Edad Media.

Dentro de esta idea de una realidad inmóvil, se desarrolló una corriente de pensamiento que gozó de gran credibilidad durante siglos. Se trata del **fijismo**, doctrina que consideraba a todas las especies vivientes como invariables (fijas), creadas al principio de los tiempos —aunque los fósiles se conocían y se coleccionaban desde la antigüedad, eran considerados como caprichos de la naturaleza o, a lo sumo, como especies que desaparecieron por ac-

ción de diversas catástrofes, del tipo del diluvio universal, pero sin relación alguna con los seres actuales—.

Todas estas hipótesis se encuadraban en el contexto de una época en la que se atribuía a la Tierra una edad muchísimo menor de la que actualmente se le calcula —sirva como ejemplo el cálculo realizado, en el siglo XVII, por el arzobispo irlandés Ussher mediante la interpretación literal de la Biblia, y que le llevaron a concluir que la Tierra fue creada en el año 4004 aC—.

El desarrollo formal del fijismo como hipótesis científica fue realizado por Linneo en el siglo XVIII al concebir las especies como entidades definitivas, sin relación entre sí, que se habían creado de forma separada e independiente, negando la posibilidad del origen común de los seres vivos. Sin embargo, a finales de este siglo resurgió el interés por el estudio de los fósiles y se comenzó a plantear que tal vez la Tierra había tenido una larga historia.

A este respecto, fue el naturalista francés Cuvier quien, a principios del siglo XIX, apuntó la idea de que fósiles podrían corresponder a especies extinguidas. Esta idea chocaba frontalmente con el fijismo, por lo que Cuvier y sus seguidores pretendieron hacer compatible el fijismo con el incesante aumento de evidencias de cambios y diversidad que aportaban los fósiles. Para ello idearon la llamada teoría de las creaciones sucesivas o teoría de los grandes cataclismos. Los catastrofistas, nombre con el que se conocían a Cuvier y sus seguidores, proponían que la Tierra habría estado poblada por una sucesión de floras y faunas independientes entre sí, producto de una serie de actos creadores seguidos de aniquilaciones catastróficas, la última de las cuáles fue el diluvio universal. Cuvier llegó a contabilizar hasta 27 creaciones distintas.

Teorías evolucionistas

El transformismo de Lamarck

El primer naturalista que desarrolló toda una teoría general de la evolución, tratando de explicar sus mecanismos, fue el francés **Jean Baptiste de Lamarck** (1744-1829). Lamarck se opuso a la creencia de la invariabilidad de las especies, manteniendo la opinión de que la naturaleza ha producido gradualmente los diferentes grupos de seres vivos, desde los más simples a los más. Sus ideas se conocen como **transformismo** y se pueden resumir en los siguientes postulados:



Figura 3.7. "Jean-baptiste lamarck2" by Jules Pizzetta - Galerie des naturalistes de J. Pizzetta, Paris: Ed. Hennuyer, 1893. Licensed under Public Domain via Wikimedia.

1. Admite la generación espontánea, aunque sólo de *organismos sencillos*.
2. Los organismos tienen una tendencia innata hacia la complejidad y perfección.
3. Las condiciones del medio imponen exigencias que llevan al uso o desuso reiterado de unos u otros órganos produciendo su desarrollo o degeneración.
4. Los caracteres adquiridos son heredables y se transmiten a la descendencia.

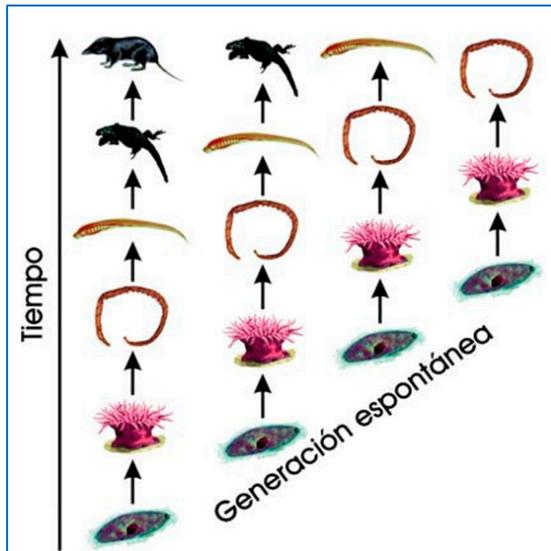


Figura 3.8.

Para Lamarck la vida surge continuamente en forma de organismos simples que, generación tras generación, se van transformando en especies más "perfectas", ascendiendo por una escala natural o cadena del ser. Si la acción humana llegara a exterminar una especie, ésta, tarde o temprano, volvería a resurgir (figura 3.8).

En el siglo XIX se acumularon evidencias científicas que hacían cada vez más difícil la aceptación del fijismo. La publicación de **El origen de las especies** de Charles Robert Darwin (1809-1882) desató una polémica que, finalmente, condujo a la aceptación del hecho de la evolución por la práctica totalidad de los naturalistas, si bien la teoría evolutiva de Darwin tardaría más tiempo en ser definitivamente aceptada.

La evolución por *selección natural* según Darwin

Paradójicamente, Charles Robert Darwin (1809-1882) desaprobaba la evolución cuando embarcó en 1831 como naturalista en el H. M. S. Beagle. Pero lo que vio en su viaje por el mundo le hizo cambiar de opinión (véase la figura 3.10) y le condujo a dar con un mecanismo completamente original para explicarla. Podemos resumir de forma muy concisa los postulados en los que se basa el mecanismo evolutivo propuesto por Darwin:

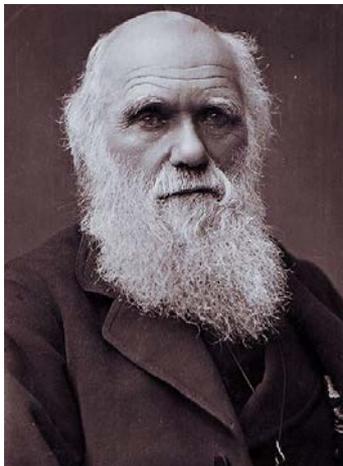


Figura 3.9. "Charles Darwin photograph by Herbert Rose Barraud, 1881" by Herbert Rose Barraud (1845 - 1896) - Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons.

1. En las poblaciones naturales nacen más individuos de los que pueden sobrevivir con los recursos disponibles.
2. Entre los individuos de una población existe cierta variabilidad en sus caracteres.
3. Algunas de esas variantes pueden resultar ventajosas en un momento determinado bajo ciertas condiciones ambientales.
4. Los individuos poseedores de esas variantes ventajosas tendrán mayor probabilidad de supervivencia y se reproducirán dejando más descendientes a los que transmitirán esos caracteres ventajosos.

En los puntos 3 y 4 anteriores están implícitas las conocidas ideas sobre la "*lucha por la existencia*", entendida en un sentido amplio y metafórico. No se refería únicamente a los enfrentamientos directos y violentos, ni a la competencia por recursos escasos, sino a todas las situaciones en las que los organismos de una población han de hacer frente a dificultades que amenacen su supervivencia.

El *vencedor* en la "lucha" por la existencia no es necesariamente el individuo más listo, el más fuerte o el más complejo, sino sencillamente, y dicho en términos modernos, aquel que posea mayor **eficacia biológica**, es decir, el que tenga más descendientes que puedan, a su vez, reproducirse.

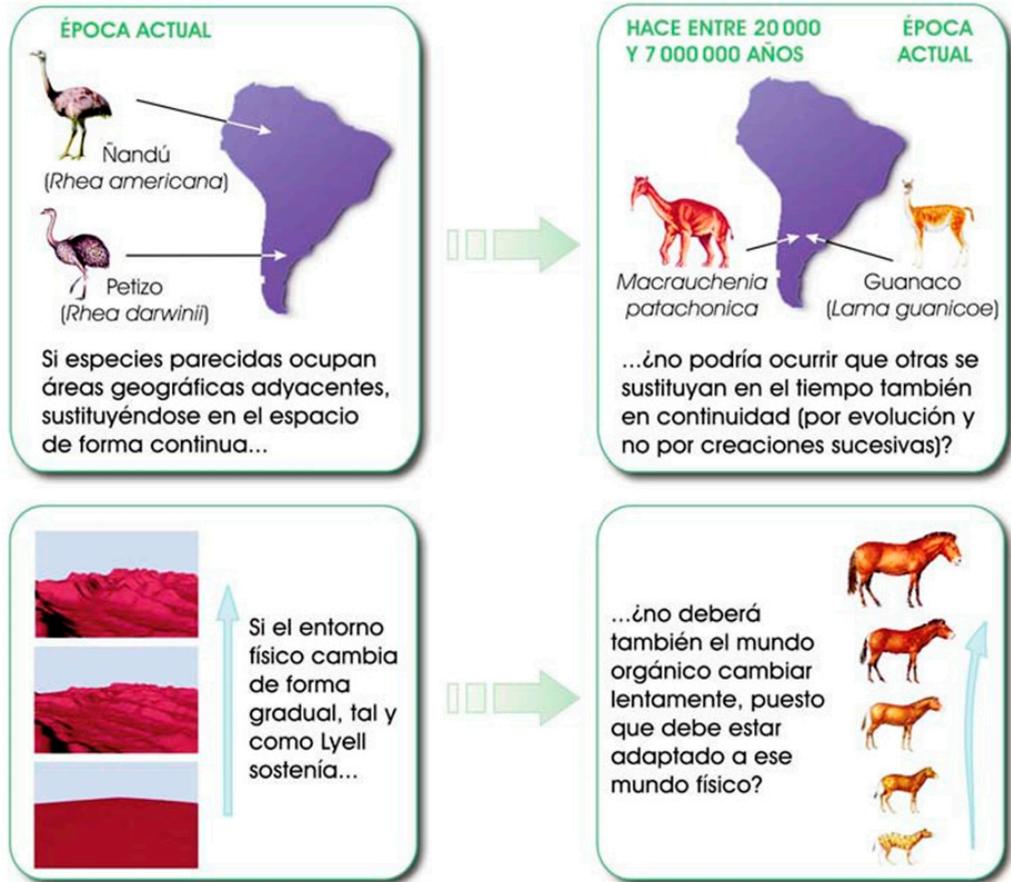


Figura 3.10. Doble razonamiento por analogía (flechas verdes) que permitió a Darwin llegar a la conclusión de que las especies biológicas evolucionan en el tiempo. (Darwin creyó que el fósil de *Macrauchenia* que él mismo había recolectado era un antepasado del guanaco; hoy sabemos que no es así, pero ello no invalida su razonamiento.)

Selección artificial y selección natural

Darwin perteneció a varios clubes de **colombófilos** y se asoció con importantes criadores de palomas. Quedó impresionado por la ingente diversidad de estas aves, que no solo diferían en el color y la disposición del plumaje, sino también en el número de vértebras y costillas, en el desarrollo de patas y alas, en el tamaño de los huevos, en la manera de volar e incluso en el **zureo** y en el temperamento. Un ornitólogo que nunca antes hubiese visto palomas las clasificaría seguramente como especies distintas.

Pero Darwin llegó a la conclusión de que todas ellas no son sino variantes de una única especie, la paloma bravía (figura 3.11). La clave de su existencia descansa en la selección que ejecutan los criadores. La naturaleza produce variaciones al azar (hoy diríamos mutaciones), muchas veces inapreciables; por ejemplo, un número de plumas en la cola ligeramente superior al habitual. Si la variación se hereda y el criador favorece la reproducción de los ejemplares que la porten, los de la siguiente generación tendrán, por término medio, un número algo mayor de plumas que sus predecesores. Si de nuevo escoge para procrear solo a los

individuos con más plumas en la cola, y repite el proceso de forma sistemática, terminará por obtener palomas en las que la pequeña variación inicial se habrá amplificado espectacularmente: una raza de palomas colipavas.

Selección natural

Llegamos así a la culminación del razonamiento de Darwin. El arte del ganadero o del horticultor se puede aplicar a casi cualquier rasgo: basta con que exista variación del mismo (si todos los individuos son iguales no hay nada que “seleccionar”) y que sea heredable (de lo contrario el carácter no se transmitirá de generación en generación).

Ahora bien, los rasgos de los que depende la eficacia biológica cumplen, en general, ambos requisitos. Por ejemplo, si en una población de gacelas unas tienen mayor facilidad para huir de los depredadores por tener las patas más largas, disfrutarán de mayor esperanza de vida y se reproducirán más; y sus descendientes heredarán ese rasgo –patas de mayor longitud– que les confiere mayor eficacia biológica.

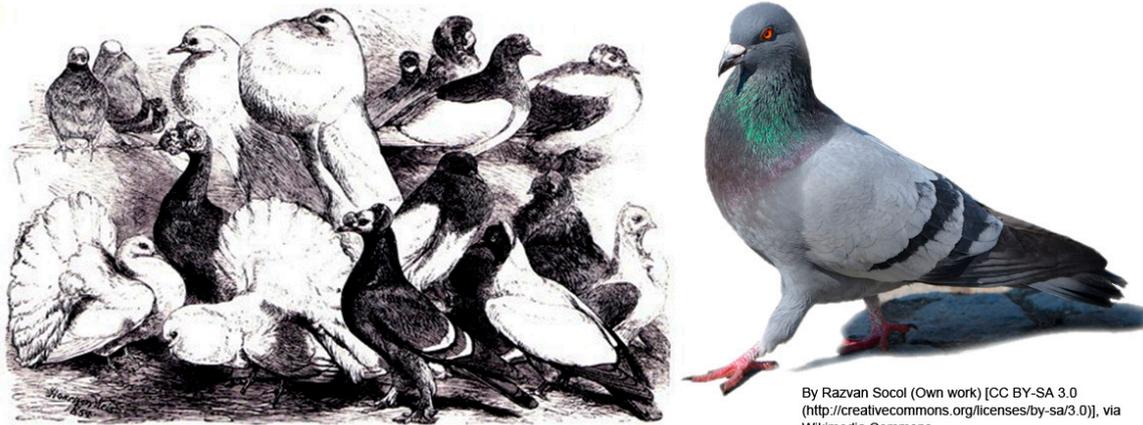


Figura 3.11. Todas las variedades de palomas a la izquierda, como las que se exhibieron en 1864 en un club de Darwin, descienden de la paloma bravía (*Columba livia*), a la derecha.

¿Podríamos, pues, seleccionar ejemplares con elevada eficacia biológica, igual que seleccionamos palomas con muchas plumas en la cola? La verdad es que sería muy fácil: no tendríamos que hacer nada. Bastaría con que dejásemos que la naturaleza siguiera su curso (por eso hablamos de **selección natural**), porque de todas maneras esos individuos, por definición, van a aportar un mayor número de hijos que heredarán los rasgos de sus padres, y la eficacia biológica crecerá en promedio y por sí sola generación tras generación.

La selección natural, por tanto, actúa pura y exclusivamente para incrementar la eficacia biológica media de la población. Rasgos como la salud, la habilidad para conseguir comida o la protección frente a los depredadores suelen presentar una correlación positiva con la eficacia biológica: los individuos que los posean en mayor cuantía tenderán a dejar más descendientes que la media. Por eso, a medida

que crece la eficacia biológica de la población puede incrementarse correlativamente su aptitud (que resulta también seleccionada, si bien indirectamente); pero no siempre ocurre así para cualquier carácter, ni en cualquier población.

El nacimiento de nuevas especies

Para Darwin en toda población surgen continuamente pequeñas variaciones que afectan a rasgos de todo tipo; estas variaciones son contingentes y aparecen con independencia de si pueden o no resultar “positivas” para sus portadores. La lucha por la existencia actúa como un filtro, amplificando las variaciones que confieran mayor eficacia biológica y eliminando a las restantes. Indirectamente pueden ser así seleccionados un gran número de rasgos, y el linaje resultante acabará poseyendo un comportamiento, una morfología o una fisiología muy diferentes a los de la población de partida. Ello podría traducirse en la imposibilidad de que se cruzaran los individuos de ambos grupos para reproducirse: habría nacido una nueva especie. Véase la figura 3.12:

Figura 3.12. Formación de especies por aislamiento reproductivo



La teoría sintética o neodarwinismo

Darwin se vio obligado a admitir la *herencia de caracteres adquiridos* ante la imposibilidad de explicar cómo se heredaban los caracteres de los individuos y cuál era la fuente de variabilidad. Pero en 1900, se redescubrieron los trabajos de Mendel (1865) por parte de Correns, von Tschermak y de Vries. A partir de ese momento y a lo largo del siglo XX, el desarrollo de la Genética aportó los datos que faltaban para poder explicar algunos de los mecanismos de la evolución sin descartar la idea de selección natural darwiniana. La unión de la teoría de Darwin y las aportaciones de la Genética, la Paleontología y otras ciencias se calificó como la **nueva síntesis** y, de ahí, la denominación de teoría sintética o neodarwinismo.

Las nuevas aportaciones al darwinismo tradicional son:

- Las fuentes de variación son la **mutación** y la **recombinación genética**.

Las mutaciones pueden ser deletéreas, neutras y, algunas, también beneficiosas.

- Genética de poblaciones: varía la frecuencia con que aparecen los diferentes alelos entre poblaciones y entre generaciones. Ahora, el sujeto del hecho evolutivo ya no es el individuo, sino la población.

Equilibrio puntuado y saltacionismo

Frente al *gradualismo* inherente a la teoría de Darwin (el cambio lento y progresivo a lo largo de largos períodos de tiempo), Stephen Jay Gould y Niles Eldredge propusieron en 1972 que las especies se mantendrían en un estado de equilibrio, duradero en el tiempo, durante el que apenas sufrirían cambios. A ese período le seguiría una *explosión evolutiva* durante la que se producirían grandes cambios en poco tiempo dando lugar a la aparición de varias nuevas especies distintas a partir de la original.

A veces se confunde con el *saltacionismo*, una hipótesis prácticamente abandonada que proponía el cambio y aparición de una nueva especie en una sola generación.

Evo-devo

El nombre de esta teoría procede de los términos *evolution and development*, o evolución y desarrollo. En los años 80 del siglo XX, los descubrimientos en el campo del control genético del desarrollo mostró que un número muy reducido de genes, comunes a diferentes grupos animales, se encargan de organizar importantes procesos del desarrollo. Por ejemplo, los genes *Pax-6* dirigen la formación del ojo en insectos, cefalópodos y vertebrados. Así, pequeñas variaciones en esos sistemas de genes podrían originar grandes novedades morfológicas en los animales.

Hay que decir que estas nuevas teorías evolutivas no refutan el neodarwinismo, sino que aportan nuevas explicaciones para los mecanismos responsables de la evolución.



EVOLUCIÓN

¿sólo una “teoría”?

Aún hoy se pueden oír opiniones en contra de la evolución que niegan la realidad de la misma. En la actualidad se habla del **hecho evolutivo** como una realidad innegable, como un hecho, mientras que la moderna teoría de la evolución, que intenta explicar cómo ocurre ese hecho y cuáles son los mecanismos por los que lo hace, no es una simple especulación, sino un amplio cuerpo de conocimiento sólidamente fundamentado en observaciones y evidencias acumuladas durante más de 150 de desarrollo.

La evolución hoy

Actualmente se entiende por evolución biológica el cambio en la frecuencia de los alelos en el acervo genético de una población, atribuible a la reproducción diferencial de los individuos que la componen.

Las causas o *motores* de la evolución son:

- Las mutaciones
- Las migraciones
- La reproducción diferencial
- El tamaño de la población
- La diferente probabilidad de supervivencia de los distintos genotipos



ACTIVIDADES

1. Muchos organismos potencialmente peligrosos muestran una “*coloración de advertencia*” que consta de patrones de color llamativos y contrastados, como las bandas amarillas y negras de las avispas. Este fenómeno, conocido como aposematismo, incrementa la eficacia biológica de estos animales. Razona cómo se explicaría el desarrollo del aposematismo desde el punto de vista del transformismo lamarckista, según el modelo darwinista tradicional y según el neodarwinismo.
2. Algunos animales inofensivos, como la mosca de la fotografía de la derecha, imitan a otros peligrosos mostrando un patrón de color similar (mimetismo batesiano). ¿Qué ventajas les aporta este mimetismo siendo inofensivos? ¿Cómo explica este rasgo la teoría de la evolución?
 
3. Dos ornitólogos, Christopher Perrins y David Moss, comprobaron en 1975 que en las poblaciones de un pájaro muy corriente, el carbonero común (*Parus major*), la mayor eficacia biológica correspondía a hembras que ponían dos o tres huevos. Efectivamente, a base de cambiar huevos de un nido a otro consiguieron nidos con una puesta muy variable, y observaron que en los nidos donde había menos de dos o más de tres huevos se producían menos descendientes viables que en los restantes. ¿A qué puede deberse esto?
4. Supón que en una población de peces aparecen por mutación individuos capaces de transformar cierto contaminante tóxico del agua en un pigmento coloreado inofensivo que se deposita en la piel; como consecuencia, esta variante tendrá vivos colores, y resultará más conspicua para los depredadores.
 - a) ¿En qué circunstancias serán seleccionados los peces de colores? ¿Habrá aumentado en tales circunstancias la aptitud media de la población?
 - b) Si, además de lo dicho, los peces coloreados resultaran ser más atractivos para peces del sexo opuesto, ¿cambiarías la respuesta anterior?
 - c) La transformación del contaminante en una sustancia inofensiva requiere un elevado consumo de energía, de modo que los peces de colores necesitan más alimentos. ¿Crees que serán seleccionados?
 - d) Si se averiguase que el pigmento coloreado actúa como una hormona, estimulando ligeramente la producción de huevos en las hembras, ¿modificarías tus anteriores respuestas?

Evolución y especiación

Las teorías evolucionistas intentan dar una explicación de los mecanismos que subyacen al hecho evolutivo, pero ¿cómo aparecen nuevas especies a partir de una anterior? Los procesos de especiación o formación de nuevas especies parten de:

1. Interrupción del flujo genético entre poblaciones de una misma especie (figura 3.12).

El aislamiento reproductivo puede originarse por la presencia de una barrera geográfica, adaptación a diferentes tipos de hábitats, migración de un grupo de individuos, colonización de nuevos hábitats, etc.

2. Evolución independiente de esas poblaciones. Si no hay intercambio genético, las variantes que puedan aparecer por mutación, selección, cambios aleatorios en las frecuencias génicas,... pueden acentuarse con el paso del tiempo.
3. Aparición de una barrera reproductiva por las diferencias desarrolladas entre los individuos de las poblaciones iniciales.



ACTIVIDADES

5. Es conocido que el uso masivo del insecticida DDT a mediados del siglo XX trajo consigo el desarrollo de resistencia al mismo por parte de las plagas de insectos haciéndolo ineficaz. Con frecuencia se explican este tipo de fenómenos diciendo que los insectos se *han acostumbrado* al insecticida. ¿Es correcta esta expresión? ¿Cómo lo explicarías desde un enfoque evolucionista?

6. Lee el siguiente texto:

“ Los niños deben ser acostumbrados a las inclemencias del tiempo, (...) a resistir la fatiga y la pereza; debéis estimularlos para que, sin armas, se defiendan a sí mismos, y a sus botines, de los animales feroces, o para que sepan escapar corriendo. Así entrenados, los hombres serán tan robustos e intrépidos que las circunstancias exteriores les afectarán muy poco. Los hijos de tales padres donarán al mundo una constitución excelente y, si se fortalecen mediante tales ejercicios, tendrán todo el vigor reservado a la especie humana.”

Jean-Jacques Rousseau, filósofo y escritor (1712-1778)

¿A qué tipo de ideas evolucionistas corresponde lo que propone Rousseau? Razona la respuesta.

7. ¿Cómo explica la evolución la presencia de gran número de especies *endémicas* (es decir, que no viven en ningún otro lugar) en las islas, como Madagascar o Australia?

2. Biodiversidad y medio ambiente

2.1. Adaptación de los seres vivos

La adaptación es el desarrollo, en el marco del proceso evolutivo, de características morfológicas, anatómicas, fisiológicas y de comportamiento que permiten a los seres vivos sobrevivir y reproducirse ante las exigencias que imponen las condiciones propias de su hábitat (**factores ambientales**).

La adaptación es una consecuencia de la evolución que sufren los seres vivos, ya que éstos deben tener un perfecto ajuste con el medio que les rodea para poder llevar a cabo todas sus funciones vitales (respiración, reproducción...). Por ello, los seres vivos muestran diversas soluciones para hacer frente a los problemas que les presenta dicho medio; muchas de las soluciones implican cambios en las estructuras anatómicas o en la fisiología de los distintos órganos o aparatos, pero en los animales cabe también una adaptación de comportamiento, o sea, una adecuación de su conducta al género de vida.

Por supuesto, especies diferentes pueden presentar el mismo tipo de adaptaciones (tamaño, morfología, forma de obtener alimento...) y el resultado es lo que se llama un tipo biológico, que podemos definir como un conjunto de especies, no emparentadas, que comparten similares adaptaciones (figura 3.13). Lógicamente, en comunidades alejadas geográficamente, pero con climas y suelos (o características del medio acuático) muy semejantes, esperaríamos encontrar los mismos tipos biológicos y, además, en similares proporciones.

Así, pues, distintas especies presentarán soluciones equivalentes ante problemas similares. Como ejemplos, analizaremos las adaptaciones al medio acuático y al terrestre.

Adaptaciones de los animales

Adaptaciones de los animales al medio acuático

La primera dificultad que encuentran los animales en este medio es la incorporación del oxígeno disuelto en el agua, en una concentración mucho más baja que la atmosférica. La solución que han desarrollado estos organismos es el desarrollo de las branquias; sin embargo, no todos los animales que viven en el agua tienen estos órganos respirato-



FACTORES AMBIENTALES

Recuerda que son los factores físicos y químicos que determinan las características de un ecosistema y que influyen en la vida de los seres vivos que lo habitan, como son: temperatura, humedad, luz, salinidad, pH, presión,... y también las características del medio que condicionan los anteriores, como la latitud, altitud, continentalidad, orientación, relieve, viento, corrientes,...



Figura 3.13. Tanto la liebre saltarina de África del sur (*Pedetes gaffer*, arriba) como el jerbo de Yarkand, al noroeste de China (*Euchoreutes naso*, abajo) habitan en lugares desérticos, viven en madrigueras, tienen hábitos nocturnos, se alimentan esencialmente de vegetales y se mueven velozmente dando grandes saltos gracias a sus patas traseras. A pesar de que pertenecen a diferentes familias de roedores (pedétidos y dipódidos, respectivamente) se engloban en un mismo tipo biológico: el de los saltadores fitófagos (es decir, herbívoros).

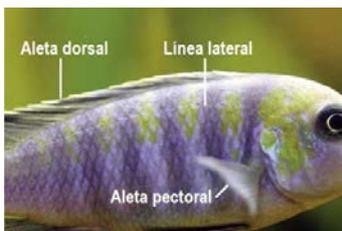


Figura 3.14. Imagen de un pez mostrando la línea lateral y distintos tipos de aletas.

rios; los animales terrestres, como los delfines y las ballenas, que se han adaptado secundariamente al agua, conservan sus pulmones, por lo que han de salir a la superficie cada cierto tiempo para respirar.

En los animales acuáticos, el problema no es la cantidad de agua, sino su contenido en sales. Por ejemplo, los peces de agua dulce viven en un medio donde la concentración salina del exterior es menor que la de sus fluidos internos, por lo que tiende a entrar agua y disminuir su concentración interna de los fluidos (consulta el apartado **Regulación hidrosalina** en el tema 6). Estos animales poseen unos riñones adaptados a la eliminación de una gran cantidad de agua. En los peces de agua salada el proceso es inverso, el medio externo está más concentrado y los animales sufren pérdidas de agua y acumulación excesiva de sales. Existen en este caso mecanismos internos que regulan el proceso **osmótico**.

Los animales se pueden desplazar en el agua de tres formas diferentes:

- Los animales del **plancton** son de tamaño pequeño o microscópico, y presentan con frecuencia una serie de características anatómicas que favorecen la flotación (prolongaciones o expansiones del cuerpo, órganos de flotación, acúmulos de grasa, ausencia de esqueleto...).
- Los animales **nectónicos** se desplazan activamente nadando, por lo que adquieren forma hidrodinámica (fusiforme) para vencer la resistencia del agua y apéndices especiales (aletas) para desplazarse y estabilizar el cuerpo del animal. Las aletas pueden ser pares –las **ventrales** y **pectorales**– o impares –la **dorsal** y la **caudal**–. El desplazamiento de los peces se ve favorecido por los movimientos ondulantes de su cuerpo; estos van desde la cabeza a su cola, moviendo el agua de su alrededor hacia atrás, con lo cual logran desplazarse (figura 3.17). Además, muchos tienen una **vejiga natatoria** (recordemos que es un órgano en forma de saco lleno de gas y situado por encima del tubo digestivo) para poder flotar.

La piel de los peces les asegura las funciones respiratoria, excretora y osmorreguladora; al mismo tiempo, la mucosa, que proporciona el típico tacto resbaladizo, ayuda a reducir la fricción con el medio acuático y las escamas les protegen eficazmente contra posibles heridas.

El sistema de **línea lateral** –recordemos que es una larga cadena de receptores nerviosos situada a ambos lados del cuerpo del pez– es capaz de captar una amplia gama de vibraciones. De esta forma, estos animales pueden localizar obstáculos, escapar de sus depredadores y detectar a sus presas.

Los cefalópodos, como los calamares o las sepias, emplean como medio de locomoción un sistema de reacción que consiste en expulsar agua por un sifón musculoso.



Figura 3.15. Imagen de dos peces, mostrando diferentes características. Arriba, un animal bentónico, el pez torpedo (*Torpedo ocellata*). Abajo, *Melanocetus johnsonii*, un pez nectónico abisal que habita a grandes profundidades

Algunas especies marinas de reptiles, como ciertas tortugas, también han transformado sus cuatro patas en aletas. Otro grupo de animales vertebrados de aguas continentales, como los anfibios, presenta en sus primeros estados de desarrollo aletas para el desplazamiento en el agua.

Los peces que habitan a profundidades mayores, como algunos tiburones, no presentan vejiga natatoria, y deben estar moviéndose constantemente para no hundirse.

Los animales de las grandes profundidades deben tener una presión interna igual a la externa del agua, lo consiguen llenando el cuerpo de agua, para no morir por explosión o por implosión. Por esta misma razón, están confinados a vivir a estas profundidades, lo que les dificulta la alimentación (los detritus que se depositan en el fondo del mar son muy escasos), por lo que desarrollan bocas enormes, provistos de largos y cortantes dientes y otros artilugios para capturar y devorar a sus presas. Algunos incluso presentan órganos productores de luz, en la superficie del cuerpo o en pedúnculos (figura 3.15), que cumplen diversas funciones: identificar a la pareja, atraer a las presas...

- Los animales **bentónicos** viven sobre el sustrato y suelen tener formas más o menos aplanadas. Algunos presentan fuertes caparazones y apéndices para sujetarse al fondo y resistir el movimiento de las aguas (cangrejos) y si viven fijos, como los percebes, desarrollan pedúnculos para su sujeción. Ciertos animales, como los artrópodos (langosta, cangrejos...), se desplazan mediante patas; otros, como los moluscos, pueden fijarse en la arena o en la roca gracias a su pie muscular que también usan para desplazarse o bien para protegerse del golpe de las olas.

Los equinodermos, como la estrella de mar, poseen pies ambulacrales en la parte inferior del cuerpo; adhiriéndose y soltándolos alternativamente, la estrella se arrastra en cualquier dirección, a voluntad. También estos animales pueden trasladarse dando volteretas.

Adaptaciones de los animales al medio terrestre

El ambiente terrestre impone a los seres vivos que allí habitan condiciones mucho más rigurosas que las existentes en el ambiente acuático y aéreo. Para los organismos terrestres es esencial conservar el agua que forma parte de sus cuerpos. Por ello, la mayoría tiene cubiertas protectoras impermeables que evitan que el agua se evapore. Esto plantea un problema con el intercambio de gases. Los organismos terrestres realizan el intercambio a través de orificios de la pared corporal que comunican con las **tráqueas** en los insectos, los **pulmones en libro** en las arañas y los **pulmones** con alvéolos en los vertebrados.



Figura 3.16. La hibernación no solo es dormir. En realidad, es un sueño muy profundo en el que la temperatura corporal del animal se reduce hasta los cero grados (hipotermia) y el corazón late muy despacio. Los animales en estado de hibernación parecen estar muertos: su cuerpo está frío y la respiración es casi imperceptible (pasan varios minutos entre un movimiento respiratorio y el siguiente).

Varios son los factores que van a condicionar la supervivencia de un animal en un determinado hábitat. Podemos citar entre ellos:

- **Temperatura.** Es un factor muy importante en los animales que carecen de sistemas termorreguladores –los **poiquiloterms**–, como los anfibios y los reptiles. El metabolismo y la temperatura corporal de estos animales están condicionados por la temperatura externa. Los animales poiquiloterms presentan una serie de adaptaciones: los que viven en el desierto tienen mayor actividad durante la mañana o en horas de menor calor. En períodos fríos, los reptiles disminuyen su metabolismo y caen en hibernación, y al llegar la primavera reemprenden la vida activa; en las horas de mayor calor, sufren letargo, estivación...

Muchos insectos forman huevos destinados a eclosionar en primavera, después de haber resistido los fríos invernales. Aunque hay especies, como la mosca doméstica, que pueden vivir entre 5 y 45 grados centígrados.

Los animales **homeotermos** poseen temperatura corporal constante e independiente de las variaciones externas: los humanos, 37 °C; el oso polar, 38; el elefante, 36... Como se puede observar, estos valores son muy similares, porque en dicho rango la actividad de las enzimas es óptima (a partir de los 50 °C las enzimas necesarias para el metabolismo se desnaturalizan). Los animales homeotermos, en el caso de altas temperaturas externas, presentan una serie de cambios que afectan tanto al comportamiento como a la fisiología (menor actividad, búsqueda de lugares de sombra...). Por el contrario, cuando las temperaturas son bajas, algunos animales, como las marmotas y los lirones, se sumen en un típico letargo o **sueño invernal** (figura 3.16). Durante este tiempo consumen lentamente la reserva de grasa que han almacenado en su tejido adiposo durante los meses de actividad. Lo mismo sucede con el oso pardo en invierno: este animal hiberna, es decir, entra en un estado de reposo en el que ralentiza y casi detiene sus actividades vitales.

Muchos animales, como los lobos o los rebecos, desarrollan un pelaje más espeso en invierno, para aguantar las bajas temperaturas.

La perdiz nival cambia su color, dependiendo de la estación, para pasar desapercibida a sus depredadores: en verano es parda, pero en invierno, cuando la montaña está nevada, su plumaje es de color blanco.

La temperatura también puede desencadenar determinados procesos fisiológicos; así por ejemplo, la pupa de la polilla conocida como “lagarta peluda” (*Lymantria dispar*) no se convierte en adulto a menos que haya soporado bajas temperaturas; sin embargo, el adulto puede morir en esas mismas condiciones.

La temperatura también afecta a los hábitos migratorios de algunas especies de mamíferos (renos, caballos cimarrones, ñues, lemmings) y especialmente de aves (como cigüeñas y golondrinas); durante el invierno estos animales se desplazan a latitudes más cálidas, donde la posibilidad de encontrar alimento es mayor, pues la falta de éste, a su vez, está condicionada por la temperatura.

- **Humedad.** Todos los organismos necesitan agua. El agua representa tanto el medio externo en el que viven muchos seres, como su medio interno. Forma en gran medida el contenido celular, en cuyo seno se desarrollan las reacciones metabólicas. La vida de los animales terrestres está poderosamente influida por la humedad del suelo y de la atmósfera.

Los animales que necesitan vivir en medios húmedos, como los anfibios o las babosas, poseen tegumentos blandos y permeables que facilitan el paso del aire y del agua. Otros, en cambio, viven en una atmósfera más seca, por lo que tienen tegumentos duros para evitar la pérdida de agua; por ejemplo, los insectos (caparazones) y los reptiles (escamas córneas).

La desecación periódica del medio provoca que muchos animales (como algunos gusanos) se **enquisten**. Asimismo, algunas especies de zonas tropicales se someten a un **sueño estival** equivalente al sueño invernal de los países fríos; por ejemplo, algunos gasterópodos, como el caracol, no salen de su concha hasta que la atmósfera haya adquirido un cierto grado de humedad.

Temperatura y humedad actúan de forma conjunta. Así, la falta de humedad es un problema mayor cuando las temperaturas son extremas. Recíprocamente, la adaptación de un animal a temperaturas muy altas o muy bajas está relacionada con la humedad existente en el aire.

- **Luz.** La cantidad de luz en el aire también es importante para funciones como la visión –los animales que viven permanentemente en lugares donde no llega nunca la luz por lo general son ciegos–, las migraciones de ciertas aves y mamíferos...

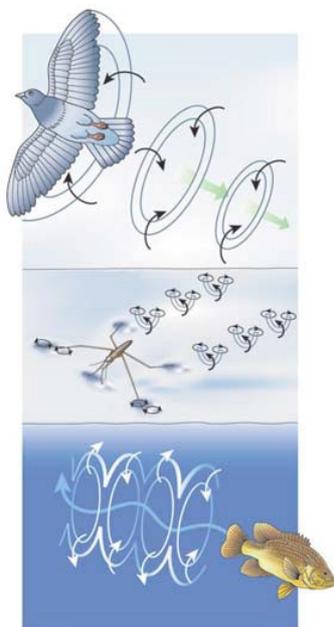


Figura 3.17. Distintas formas de locomoción: de un ave, *Columba livia*, la paloma; de un insecto que se desplaza sobre la superficie del agua, el zapatero, *Gerris lacustris*; de un pez.

La locomoción de los animales terrestres

Los animales terrestres presentan una gran variedad de estructuras o sistemas de locomoción.

La mayor parte de los invertebrados se desplazan sobre el suelo mediante apéndices articulados llamados patas; otros lo hacen por movimientos de su cuerpo, como los anélidos (lombrices), que deben estirarse y encogerse para su desplazamiento, gracias a que bajo su piel hay unos fuertes músculos y a que presentan una especie de esqueleto hidrostático, formado por los huecos internos del cuerpo llenos de líquido, que les sirve de soporte. Muchos insectos

presentan expansiones membranosas del cuerpo que les sirven para volar.

La locomoción en los vertebrados terrestres viene facilitada por la posesión de un esqueleto interno y un sistema muscular muy desarrollados. Los anfibios adultos poseen cuatro patas que les permiten el desplazamiento; en algunos casos, como la rana, sus extremidades posteriores son mucho más grandes que las anteriores, a diferencia de los sapos, que tienen sus cuatro extremidades de tamaño muy similar.

Los reptiles presentan en su mayoría cuatro extremidades (lagartijas, cocodrilos, tortugas...); sin embargo, las serpientes no poseen patas y se desplazan con movimientos ondulatorios del cuerpo.

Las aves han transformado sus extremidades anteriores en alas para volar; además, tienen forma aerodinámica y huesos ligeros, con huecos, para disminuir el peso del cuerpo.

La mayor parte de los mamíferos también poseen cuatro extremidades para desplazarse. En la especie humana las extremidades anteriores se han diferenciado transformándose en brazos, y solo utiliza las extremidades posteriores para su desplazamiento.

La estructura de las extremidades de los mamíferos sufrieron modificaciones según éstas precisaron adaptarse más o menos a la carrera; así encontramos especies **plantígradas** (osos, primates...) que apoyan toda la planta del pie al marchar; **digitígradas** (zorros, perros...), que se apoyan únicamente sobre los dedos y, por tanto, están más adaptados a la carrera, y **ungulígradas** (caballos, cebras, rinocerontes...), que apoyan solo la punta de los dedos revestidos por pezuñas córneas.

Otros mamíferos también sufrieron modificaciones de las extremidades a consecuencia del tipo de vida. Por ejemplo, los quirópteros (murciélagos), han desarrollado una membrana alar (el **patagio**) que se extiende por todo el cuerpo y que les capacita para el vuelo (son los únicos mamíferos voladores); los cetáceos (como las ballenas y delfines) y sirenios (como las vacas marinas y manatíes) que están adaptados a la vida acuática, presentan forma hidrodinámica, sus extremidades anteriores se han transformado en aletas y han perdido las extremidades posteriores y la cintura pelviana.

Además de todos los factores mencionados, la presencia de otros seres vivos va a condicionar su adaptación al medio, en el sentido de que va a propiciar el desarrollo de determinadas características, como veremos a continuación.

¿Cómo influye la presencia de unos animales en la evolución de otros?

El medio ambiente de un ser vivo no se circunscribe a la climatología, al tipo de sustrato o a la disponibilidad de



Figura 3.18. Coloración críptica de una mariposa que imita a los líquenes.



Figura 3.19. Las enredaderas *Passiflora* producen sustancias alcaloides mortales para las orugas de la mariposa *Heliconius*. Pero algunas especies de *Heliconius* se han hecho resistentes al veneno. La planta ha contraatacado transformando partes de sus hojas en protuberancias que imitan a los huevos de la mariposa: ésta cree que toda la planta está ya "ocupada" y se va a buscar otra enredadera.

agua; también forman parte de él otros seres vivos. Así, para una mariposa, una parte de su medio ambiente son las diversas poblaciones, siempre inconstantes, de pájaros dispuestos a comérsela; para un pájaro, tan importante como el clima son las poblaciones de insectos que le sirven de alimento. Las mariposas cuya coloración imite casualmente al sustrato (figura 3.18) sobre el que se posan pasarán desapercibidas, vivirán más y dejarán más descendientes; los pájaros dotados de una vista más aguda cazarán más mariposas y podrán alimentar a más crías. Y mientras el clima empeora o mejora imprevisiblemente, las mariposas mejorarán de forma sistemática (o "empeorarán" desde el punto de los pájaros, en el sentido de que cada vez serán más difíciles de capturar); por lo que el pájaro medio tenderá, a su vez, a estar mejor equipado que sus antepasados para cazar mariposas.

Llamamos **coevolución** a esta "carrera de armamentos" que se da entre dos o más poblaciones de organismos. Muchos vertebrados herbívoros (los dinosaurios en su tiempo, y los mamíferos en la actualidad) tienden a aumentar de tamaño para evitar ser atacados por los carnívoros; pero esa tendencia acabaría pronto si no fuese por una propensión paralela en sus depredadores, de modo que se produce un agigantamiento progresivo en ambas poblaciones hasta que una de ellas "tira la toalla" y se extingue o cambia de menú (generalmente el depredador acaba convertido en un carroñero).

Los ejemplos en los que se recurre a la "guerra química" son innumerables (figura 3.19). En todos estos casos la selección natural conduce a una mejora real en el equipamiento para sobrevivir, aunque, paradójicamente, no a una mejora en la propia supervivencia (porque, después de todo, la otra parte también mejora).

Es raro que los procesos coevolutivos impliquen solo a dos especies; por ejemplo, muchos insectos, además de adquirir inmunidad frente a los venenos fabricados por las plantas de las que se alimentan, acumulan esos mismos tóxicos, que les valen como defensa frente a sus depredadores. La adaptación de una especie a su medio es un registro de los distintos climas, tipos de suelo, organismos... con los que han interactuado las sucesivas poblaciones de esa especie –o de sus ancestros– a lo largo de la historia.

Adaptaciones de las plantas

Las plantas se han adaptado al medio terrestre gracias al desarrollo de tejidos de sostén (página 93 y siguientes) y de protección frente a la desecación, además de estructuras de absorción de agua y nutrientes.

Sin embargo, en el medio terrestre las condiciones climáticas imponen exigencias a las que las plantas se han adaptado desarrollando especializaciones diversas.

Adaptaciones de las plantas a la luz

Hay plantas adaptadas a elevados niveles de iluminación y otras condiciones umbrías. En general, las partes aéreas de las plantas presentan **fototropismo positivo**, es decir se orientan y crecen hacia la luz. Además suelen desarrollar superficies foliares amplias para poder captar más luz, aunque grandes hojas suponen más pérdida de agua por lo que en ambientes cálidos y muy soleados se reducen hasta tal punto que la fotosíntesis es asumida por el tallo.

En hábitats umbríos, como el suelo de la selva, algunas plantas son **trepadoras** y otras son **epífitas**, es decir crecen sobre las ramas de árboles altos para tener acceso a la luz.

Adaptaciones a la humedad

La sequedad del medio aéreo y el consiguiente riesgo de pérdida de agua es uno de los problemas más importantes a los que se enfrentan las plantas terrestres. Salvo en los medios lluviosos de selva ecuatorial, las plantas desarrollan diferentes adaptaciones destinadas a limitar las pérdidas de agua por las hojas, más evidentes en los climas más áridos:

- Formación de cutículas impermeables cubriendo la epidermis de todos los órganos aéreos.
- Reducción del tamaño de las hojas, llegando a su transformación en espinas (figura 3.20). Así, no sólo se reduce la transpiración; las espinas protegen de los herbívoros en un ambiente donde es tan difícil crecer.
- Disminución del número de estomas, que además pueden mantenerse cerrado durante las horas diurnas.
- Desarrollo en tallos y hojas de parénquimas capaces de almacenar agua (plantas suculentas o crasas como los cactus. Figura 3.20).
- Formación de largas raíces.

Las especies especializadas en vivir bajo condiciones más áridas reciben el nombre de **xerófilas**.



Figura 3.20. Tallos fotosintéticos, muy engrosados y espinosos de una cactácea. Real Jardín Botánico de Madrid (foto cmm).



Figura 3.21. *Erodium paularense* es un **endemismo** del Sistema Central español, del que sólo se conocen dos pequeñas poblaciones a nivel mundial (foto cmm).

Adaptaciones a la temperatura

Las temperaturas muy altas o muy bajas pueden ser un factor que limite el crecimiento de las plantas.

Las temperaturas muy bajas impiden la circulación de la savia y la formación de cristales de hielo puede destruir las estructuras celulares. Las plantas de climas muy fríos suelen ser de pequeño tamaño o rastreras, para limitar su exposición al viento y al frío. Otras, las coníferas (pinos, abetos, cedros,...) poseen hojas en forma de aguja o **aciculares** y cubiertas de una gruesa cutícula que les permite mantenerlas (son **perennifolios**) y soportar esas duras condiciones. En climas menos extremos, los árboles **caducifolios** pierden la hoja en la estación más fría. Muchas plantas pasan el invierno en forma de semilla o forman **bulbos** o **rizomas**.

Entre las adaptaciones al calor están las formas enmarañadas y leñosas que protegen las yemas y semillas en un ambiente interior más húmedo y fresco. La formación de gruesas cutículas y cubiertas pilosas que reflejan la intensa luz solar y preservan la humedad es también un rasgo común.

2.2. Distribución de los seres vivos

Puesto que los seres vivos han desarrollado diferentes adaptaciones a medios muy variados, su distribución en el planeta es muy heterogénea. La ciencia que estudia la distribución de los seres vivos en la biosfera es la **biogeografía**. Hay especies con una amplia distribución (especies **cosmopolitas**, como la propia especie humana o la mosca doméstica), mientras otras se restringen a áreas muy reducidas (especies **endémicas**, figura 3.21).

La distribución de las especies está condicionada por factores de tipo:

- **Interno.** Son los que dependen de las adaptaciones propias de la especie y su capacidad para colonizar nuevos hábitats y vivir bajo diferentes condiciones ambientales. Hay especies con amplia **valencia ecológica** para diferentes factores ambientales y otras con escasa tolerancia a las variaciones en esos factores.
- **Externo.** Son los dependientes de las características del medio, que imponen limitaciones a la supervivencia y dispersión de una especie, y pueden ser **climáticos, geográficos, históricos, bióticos,...**

La interacción de esos factores y la respuesta adaptativa de los seres vivos por evolución hace que en distintas regiones, si sus condiciones ambientales son similares, podamos encontrar especies muy diferentes pero que muestran los mismos tipos de adaptaciones.



VALENCIA ECOLÓGICA

Es el intervalo de tolerancia de una especie frente a un factor del medio (luz, temperatura,...). Las especies con alta valencia, es decir amplia tolerancia se llaman **eurioicas** y, si la valencia es baja, se llaman **estenoicas**.

Por ejemplo, los factores ambientales que condicionan el desarrollo del bosque **esclerófilo*** mediterráneo se dan también en zonas de California, Chile, Sudáfrica y Australia (figura 3.23). Las especies vegetales que allí viven, diferentes y características de cada una de esas regiones, muestran las mismas adaptaciones a las condiciones propias de este clima e, incluso, el paisaje vegetal presenta un aspecto parecido:



Figura 3.22. Vegetación de tipo mediterráneo en: **a**, California ("Quercus-agrifolia" by Stickpen - Own work. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons); **b**, Sudáfrica ("Flora at Cape Peninsula" by Thomas Bjørkan - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons); **c**, Sierra Norte de Sevilla, España (cmm); **d**, Cádiz, España (cmm).

Es posible estudiar los patrones de distribución de los seres vivos según dos criterios:

- en función de los tipos de ecosistemas definidos por sus factores ambientales más importantes, básicamente climáticos, su vegetación y las especies animales asociadas y así se definen los grandes tipos de ecosistemas o **biomas**, con parecidas condiciones pero que pueden contener especies diferentes según las regiones.
- teniendo en cuenta la historia evolutiva común de las especies que habitan una región se definen las **regiones o reinos biogeográficos** que cuentan con especies propias y características que han evolucionado aisladamente respecto a otras regiones.

2.3. Los grandes biomas

Un bioma es una región definida por sus características climáticas, su vegetación y la fauna asociada.

Como comunidad (biocenosis) propia de un clima, la denominación *bioma* se ha aplicado tradicionalmente a los grandes tipos de ecosistemas continentales, aunque para completar el cuadro de la biodiversidad terrestre incluiremos también los ecosistemas acuáticos como biomas marinos y de agua dulce.

Biomas terrestres

Los biomas terrestres están definidos principalmente por los **factores climáticos**, por lo que su distribución coincide aproximadamente con la zonación climática terrestre (figura 3.23) siguiendo a grandes rasgos una distribución latitudinal

***Esclerófila** es el nombre que se da a la vegetación que forma hojas duras y coriáceas como adaptación a la sequía y calor, como en el clima mediterráneo.

modificada localmente por la influencia de otros factores ambientales (orientación, relieve, cercanía a la costa, etc.).

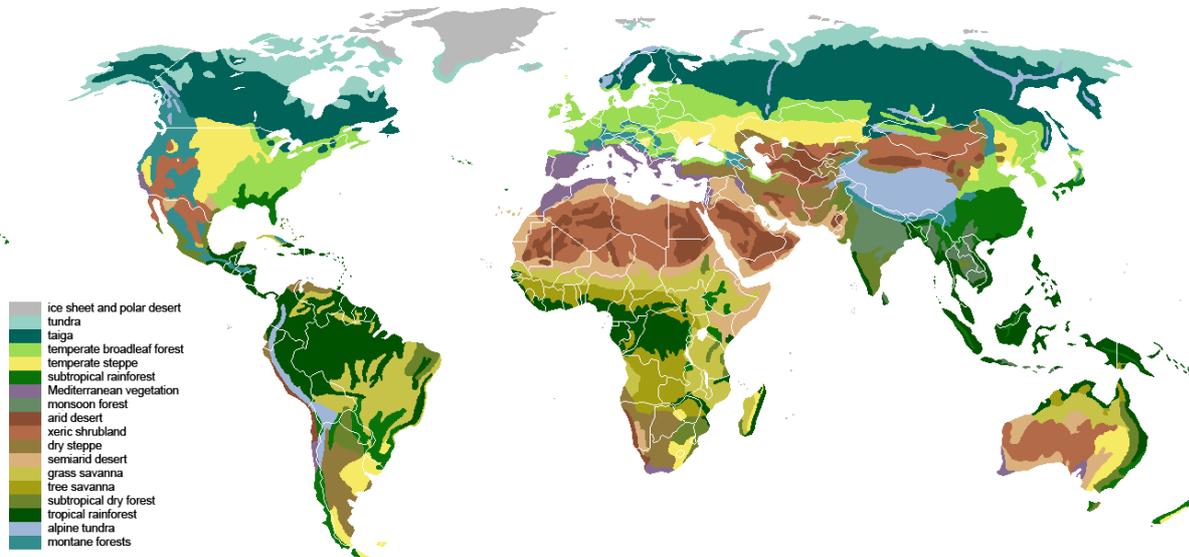


Figura 3.23. Distribución de los grandes biomas terrestres ("Vegetation" by Ville Koistinen (user Vzb83) - blank world map in Commons and WSOY Iso karttakirja for the information. CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons).

Desierto polar



Temperaturas que bajan de los $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ en invierno y precipitaciones muy escasas.
Hielo permanente.

No hay vegetación. La producción primaria depende del plancton marino.
Cetáceos, focas, pingüinos,...

Figura 3.24. Foto pixabay. Dominio público.

Tundra



Frío extremo, sólo un corto "verano" con temperaturas por encima de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Precipitaciones siempre en forma de nieve.

Líquenes, musgos, herbáceas y arbustos enanos.
Renos, roedores, liebre ártica, perdiz nival, zorro ártico, osos, ánades, búho nival, insectos,...

Figura 3.25. Foto pixabay. Dominio público.

Taiga



Clima con un verano corto y fresco con escasas precipitaciones

Se caracteriza por los bosques de coníferas: pinos, abetos, alerces, piceas además de abedules, brezos,...

Alces, osos, lobos, linceos, castores, ciervos, urogallos, águila real,...

Figura 3.26. "Taiga Landscape in Canada" by peupeloup - originally posted to Flickr as Paysage de la taiga / Taiga Landscape. CC BY-SA 2.0 via Wikimedia Commons.

Bosque caducifolio



En clima templado-húmedo de latitudes medias, estacionales, con inviernos fríos y veranos cálidos o frescos, con precipitaciones abundantes y regulares.

Bosques de hoja caduca de robles, hayas, castaños, nogales, avellanos y arbustos como serbales, majuelos, rosales,... La fauna es también variada: ciervos, gamos, osos, lobos, zorros, ardillas, jabalíes,...

Figura 3.27. Foto pphwurm pixabay. Dominio público

Bosque esclerófilo



Propio de clima mediterráneo con inviernos suaves y **veranos muy cálidos y secos** con precipitaciones moderadas en otoño y primavera.

Bosque perennifolio de encinas y alcornoques con acebuche, jara, espinos,... Ciervos, conejos, jabalíes, lobo, garduña, roedores, buitres,...

Figura 3.28. Sª Norte de Sevilla (foto cmm).

Pradera y estepa



En climas continentales húmedos de latitudes medias se desarrolla la pradera de herbáceas. Suele aparecer en áreas centrales de los continentes. Si es seco y con gran contraste térmico estacional aparece la estepa.

Dominan la gramíneas y no hay árboles o son muy escasos. En la estepa aparecen arbustos adaptados a la sequía. Caballos, antílopes, bisontes, perritos de las praderas, lobos,...

Figura 3.29. José Alonso Rodríguez (Own work) CC BY 3.0 Wikimedia Commons.

Desierto



En latitudes tropicales. Precipitación muy escasa e irregular, gran contraste térmico diario.

Vegetación muy escasa y adaptada a la sequía: plantas suculentas y espinosas. Fauna escasa, nocturna y/o subterránea: reptiles y artrópodos.

Figura 3.30. Wadi Rum (foto cmm).

Sabana



Temperaturas cálidas con estación seca y estación lluviosa.

Vegetación herbácea y algunos árboles dispersos como acacias, baobabs.

Grandes herbívoros: elefantes, rinocerontes, antílopes, búfalos y depredadores como leones, hienas,... además de avestruces, buitres y otros.

Figura 3.31. "Elephants around tree in Waza, Cameroon" by Amcaja - CC SA 1.0 via Wikimedia Commons.

Pluvisilva o bosque tropical



En torno al ecuador. La temperatura es elevada y muy estable a lo largo del año. Las precipitaciones son muy abundantes y regulares.

Bosque muy denso estratificado en varios niveles con gran variedad de especies. La fauna es también muy rica y variada, con gran número de especies de todos los grupos animales.

Figura 3.32. Río Iguazú (cmm).

Ecosistemas acuáticos

Una gran parte de la superficie terrestre está ocupada por masas de agua en las que viven un gran número de especies. Según la salinidad, distinguimos entre biomas marinos y biomas de agua dulce:

Biomás marinos



Hay que distinguir entre la zona pelágica u oceánica, de gran profundidad, y nerítica o litoral, de aguas superficiales bien iluminadas y con mayor riqueza y diversidad de organismos.

La producción depende del fitoplancton y sólo en la zona litoral viven algas fijadas al fondo. La riqueza animal es muy importante e incluye moluscos, equinodermos, poríferos, cnidarios, anélidos, peces, mamíferos,...

Figura 3.33 (foto cmm).

Biomás de agua dulce



Aguas continentales de escasa salinidad, poco profundas y, en general, bien oxigenadas, aunque hay una gran diferencia entre ríos y lagos profundos.

Habitados por gran variedad de especies de peces y muchos invertebrados. Además, son fuente de agua, de alimento y lugar de refugio para muchas especies terrestres.

Figura 3.34 (foto cmm).

2.4. Reinos biogeográficos o ecozonas

Como se dijo en la página 147, la delimitación de las zonas biogeográficas se basa no sólo en las características de la flora y la fauna presentes e influenciadas por el clima, sino también en su historia evolutiva que ha estado además condicionada por la distribución de continentes y océanos, junto con otros accidentes geográficos que son consecuencia de la dinámica de las placas litosféricas. Así, las regiones que han sufrido un prolongado aislamiento geográfico poseerán una flora y fauna muy rica en endemismos, como Australia.

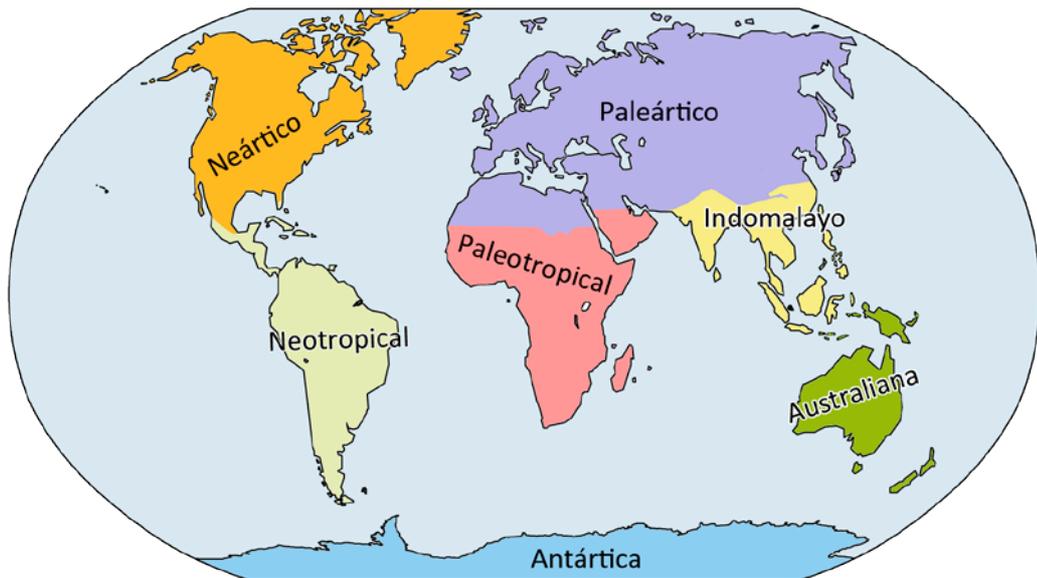


Figura 3.35. Reinos biogeográficos.



Figura 3.36. Hojas de haya (cmm).



Figura 3.37. Brezo (cmm).

Como muestra el mapa de la figura 3.35 se establecen ocho reinos biogeográficos continentales y además se ha propuesto la denominación de **reino oceánico** para el área que comprende las islas del Pacífico Sur.

Los reinos se subdividen en categorías de inferior rango, como **regiones**, éstas en **provincias**, **sectores**, etc.

La península ibérica pertenece al reino Paleártico pero su situación, entre Europa y África, entre el Atlántico y el Mediterráneo y la orientación este-oeste de los principales relieves orográficos, hace que, además de pertenecer a dos regiones del reino Paleártico, posea una gran variedad de ecosistemas:

- **Región eurosiberiana**, que comprende Galicia, la cornisa cantábrica y los Pirineos (figura 3.42). El clima es suave y húmedo con precipitaciones a lo largo del año, lo que permite el desarrollo de un **bosque caducifolio** (figuras 3.36 y 3.37) con presencia de haya (*Fagus sylvatica*) y roble carballo (*Quercus robur*). La degradación da paso a una formación de matorral llamada **landa** en que es característico el **brezo** (género *Erica*).



Figura 3.38. Alcornoque (cmm).



Figura 3.39. Matorral mediterráneo. Al fondo pino carrasco (cmm).



Figura 3.40. Dehesas (cmm).



Figura 3.41. Cardón canario (cmm).

- **Región mediterránea**, que ocupa el resto del territorio peninsular y Baleares (figura 3.42). Se caracteriza por el clima típicamente mediterráneo con un verano muy cálido y seco. La vegetación típica es el **bosque mediterráneo** o esclerófilo (figs. 3.22 y 3.28) de encinas (*Quercus ilex*), alcornoque (*Q. suber*), madroños (*Arbutus unedo*), coscoja (*Q. coccifera*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), jaras (gén. *Cistus*). La formación arbustiva recibe el nombre de **maquia** y contiene cantueso (*Lavandula stoechas*), mirto (*Myrtus communis*), romero (*Rosmarinus officinalis*), brezo (*Erica arborea*). La degradación o la presencia de suelos pobres o en pendiente da lugar a un matorral mediterráneo de pequeños arbustos y aromáticas, la **garriga**, con tomillo (*Thymus*), romero, espliego (*Lavandula*).

El aclaramiento del bosque mediterráneo para su explotación agropecuaria ha dado lugar a las **dehesas** (figura 3.40), paisajes en que el aprovechamiento ganadero, cinegético y la extracción de leña, corcho y la producción de carbón se ha compatibilizado con la conservación de la fauna mediterránea.

Además, la peculiar situación geográfica de las islas Canarias, hace que pertenezcan a otra región biogeográfica diferente:

- **Región macaronésica**, situada en latitudes tropicales y bajo la influencia de los vientos alisios y los procedentes de África. Las temperaturas son suaves y las precipitaciones dependen de la orientación y la altitud. En las vertientes afectadas por los alisios se desarrolla la **laurisilva**, mientras que en zonas bajas y secas se dan plantas suculentas. Las islas, por su ubicación son muy ricas en especies endémicas (figura 3.41)..



Figura 3.42. Regiones biogeográficas en la Península Ibérica (modificado de Rivas Martínez).

En cada región biogeográfica, un factor que impone condiciones bioclimáticas de gran importancia es la **altitud**. Así, a medida que se asciende en un relieve montañoso se pueden reconocer una serie de **pisos de vegetación** o **cliseries**. La altitud y condiciones que delimitan esos pisos, así como las especies representativas varían tanto de unas a otras regiones como entre diferentes relieves e, incluso, según la orientación de la vertiente. En las regiones representadas en la península ibérica, los pisos son los siguientes:

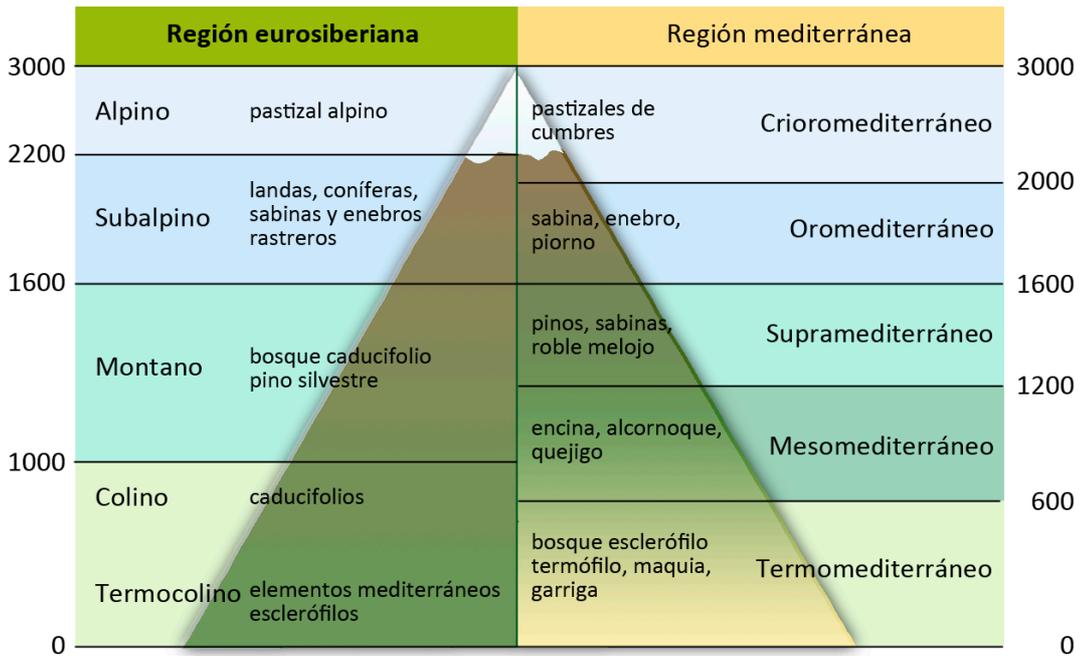


Figura 3.43. Pisos de vegetación en las montañas peninsulares. Las altitudes son aproximadas y varían con la orientación, latitud y otros factores (cmm).

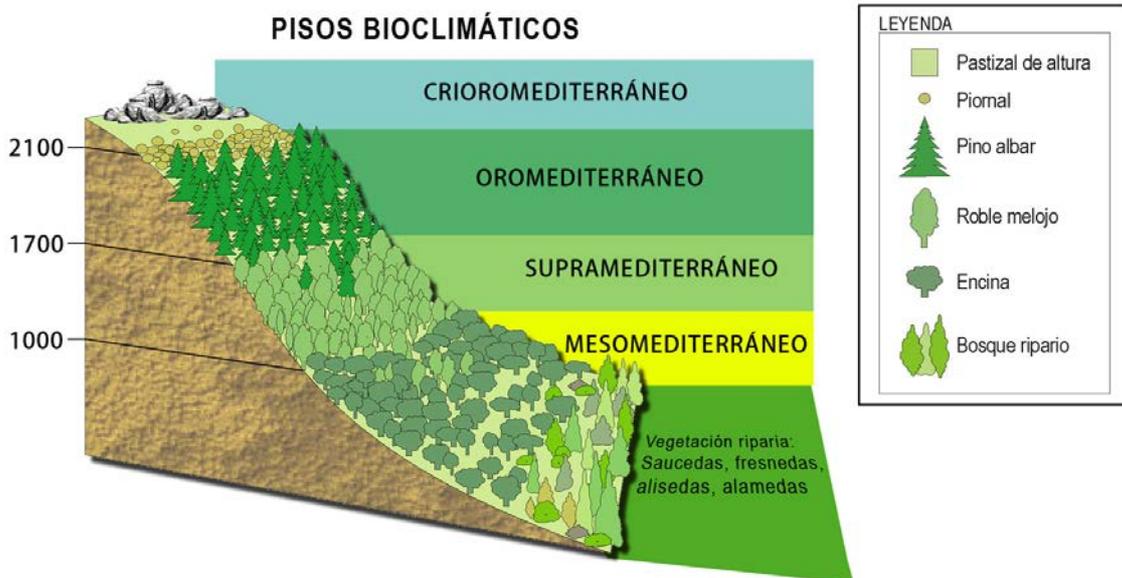


Figura 3.44. Pisos bioclimáticos en el Sistema Central español. Nótese la ausencia de piso termomediterráneo (cmm).



ACTIVIDADES

8. La coloración críptica es la que permite a algunos animales confundirse con el medio sobre el que viven o se desplazan y pasar desapercibido para sus presas o sus depredadores. Explica cómo se desarrolla esa coloración y qué tipo de adaptación es.



Figura 3.45. Derecha: Coloración críptica en la langosta.

9. ¿Un reino biogeográfico o ecozona puede contener diferentes biomas? Justifica la respuesta.
10. Las especies presentes en un reino biogeográfico comparten una historia evolutiva que se ha desarrollado de forma aislada en relación con las especies de otros reinos. Explica qué barreras explican este aislamiento entre:
- Reino Paleártico y Paleotropical.
 - Reino Paleártico e Indomalayo.
 - Reino Neártico y Paleártico.
11. Una región biogeográfica, ¿puede contener diferentes biomas? Si es así, utiliza como ejemplo la región mediterránea en la península ibérica y señala qué biomas puedes distinguir.
12. Define endemismo. Cita y explica qué factores pueden explicar la elevada riqueza en endemismos de la península ibérica.

13. La siguiente gráfica representa la tolerancia a la temperatura de dos especies de peces. Responde:

- Compara los límites de ambas especies. ¿Cuál es la temperatura óptima de cada una?
- ¿Qué especie es eurioica y cuál estenoica (euriterma y estenoterma, en este caso)?
- Si conviven en una laguna, ¿cuál resistirá mejor un cambio en la temperatura de la misma?

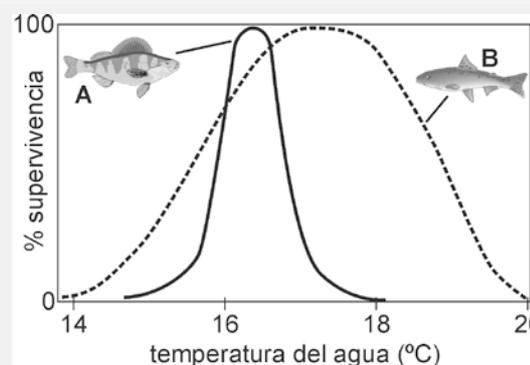


Figura 3.46. Tolerancia a la temperatura en dos especies de peces de agua dulce.

14. La producción primaria en los ecosistemas marinos depende del fitoplancton, ¿qué zona del ecosistema ocupa el fitoplancton? ¿Por qué?

3. La conservación de la biodiversidad

La conservación de la biodiversidad se hace necesaria en tanto que posee un enorme valor y que, en la actualidad, la influencia humana sobre los ecosistemas está causando la desaparición de gran número de especies a un ritmo nunca antes ocurrido en la historia de la Tierra.

3.1. El valor de la biodiversidad

La biodiversidad posee un **valor intrínseco**, en sí misma, ya que es el resultado del proceso evolutivo desarrollado a lo largo de 3500 millones de años y, como todo proceso histórico, es irrepetible, de modo que la pérdida de una especie o hábitat es irreparable.

Además, ninguna generación humana tiene derecho a explotar su medio hasta destruirlo, privando de sus beneficios a las generaciones futuras.

Podemos agrupar el valor de la biodiversidad en tres categorías, sin olvidar que existe una estrecha interrelación entre ellas:

Importancia ecológica

Los seres vivos forman parte de un ecosistema y las interacciones entre ellos y con los factores abióticos determinan el equilibrio del mismo. La pérdida de una especie siempre afectará a las cadenas y redes **tróficas** influyendo en todas las demás especies que habitan en el ecosistema. Además, los seres vivos, al formar parte de esas redes tróficas, participan en el flujo de materia y energía.

Multitud de organismos participan en la regulación y estabilización de las tierras y de zonas litorales. Por ejemplo, en las laderas montañosas, la diversidad de especies en la capa vegetal forma un entramado en los horizontes superficiales del suelo que lo protegen de los elementos como el viento y las aguas de escorrentía (figura 3.47).

También los organismos pueden actuar como barreras naturales ante diversas catástrofes naturales; por ejemplo, el tsunami que afectó al sudeste asiático el 26 de diciembre de 2004, tuvo peores consecuencias en las zonas donde los **manglares** y los arrecifes de coral habían sido destruidos previamente que allí donde se conservaron; en este último caso, actuaron como una barrena natural frente a las grandes olas.



Figura 3.47 . La deforestación elimina la protección frente a la erosión y pérdida de suelo fértil (cmm).



Figura 3.48 . Muchas especies vegetales contienen sustancias con aplicación en farmacología. *Digitalis thapsi* (cmm).

El mantenimiento del equilibrio ecológico tiene importantes repercusiones sobre los bienes y servicios que el medio proporciona al ser humano con importancia económica.

Importancia económica

En primer lugar, la biodiversidad proporciona recursos materiales muy variados: alimentos, principios activos para medicamentos (figura 3.48), fibras textiles vegetales, leña, papel, aceites, pieles, seda, lana,... Pero también proporciona agua y aire limpios, suelo fértil para la agricultura y pastos para el ganado, protección frente a desastres naturales (inundaciones, deslizamientos), regulación del clima, etc. Por último, también son valiosos los usos destinados al ocio, el deporte y el turismo. Y son *servicios gratuitos*.

Importancia científica

El estudio de la biodiversidad tiene gran importancia para el desarrollo de la ciencia básica como aplicada. Siendo la biodiversidad una consecuencia del proceso evolutivo, su estudio es fundamental para comprenderlo. Pero también el estudio de la fisiología y metabolismo de otros seres vivos ha proporcionado importantes avances en el desarrollo de la medicina, así como actualmente está permitiendo progresar en el campo de la biotecnología e ingeniería genética.

La importancia de los animales

Todos somos conscientes de la importancia de las plantas en el mantenimiento de la vida en la Tierra, pero... ¿sucede igual con los animales? Algunos ejemplos del papel de estos organismos en los ecosistemas nos pueden ayudar a responder a esta pregunta.



Figura 3.49. Los insectos son los principales polinizadores tanto de especies silvestres como agrícolas (cmm).



Figura 3.50. El ratón de campo, *Apodemus sylvaticus*, se alimenta de las bellotas, contribuyendo, de esta manera, a la dispersión de las semillas de la encina.

- **Polinización.** Los animales (insectos, aves y mamíferos como los murciélagos) polinizan dos terceras partes de nuestros cultivos alimentarios, siendo esenciales para mantener los altos niveles productivos. Como muestra de dicha importancia conviene comentar un episodio ocurrido en los años sesenta, cuando una gran empresa internacional de alimentos estableció en Malasia plantaciones de aceite de palma procedentes del África occidental. Las plantas prosperaron, pero producían poca fruta, porque el polen de las plantas masculinas no llegaba a las flores femeninas. Los investigadores descubrieron que en el Camerún, de donde era originaria la palma, las flores masculinas de la planta hospedaban un gorgojo, el *Elaeidobius kamerunicus*, que se alimenta del polen de las flores. Se llevó el gorgojo a las plantaciones de palma de Malasia y el resultado fue un aumento espectacular de la producción.
- **Diseminación.** Los animales también participan en la diseminación de las semillas al alimentarse de sus frutos y dispersar las semillas con los excrementos, contribuyen-



Figura 3.51. Frutos y detalle de la flor de *Lagenaria siceraria*.



Figura 3.52. Pepino de mar u holoturia del género *Cucumaria* (cmm).

do, de esta manera, a la conservación de los ecosistemas. Por ejemplo, la dispersión de las semillas de las encinas en las dehesas parece depender de roedores como el ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*, figura 3.50) y aves como el arrendajo (*Garrulus glandarius*), que almacenan las bellotas para su consumo posterior; la escasez de estos organismos clave en las dehesas explicaría la falta de regeneración del arbolado y, por tanto, su insostenibilidad ecológica.

- **Aumento de la diversidad genética.** El contacto con los polinizadores también puede ser una forma de mantener la diversidad genética en los cultivos. Estudios de la calabaza vinatera (*Lagenaria siceraria*, figura 3.51) realizados en Kenya han revelado que un conjunto variado de polinizadores contribuye a mantener las formas extraordinariamente diversas de las calabazas.
- **Aireación del suelo.** Algunas especies de animales zapaadores, como la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*) y el topo (*Talpa europaea*), airean y facilitan el drenaje de los suelos, mejorando sus cualidades.
- **Eliminación de la materia orgánica.** En la naturaleza existen animales **necrófagos** (que se alimentan de restos de organismos muertos) y **detritívoros** (que se alimentan de detritus); estas especies contribuyen a la limpieza de los residuos, como ocurre con muchos animales abisales.

A ello podemos añadir que algunos animales producen sustancias que pueden ser utilizadas por el ser humano como, por ejemplo, la **lectina**, una sustancia que sintetizan los pepinos de mar (figura 3.52) y que inhibe el desarrollo de posibles parásitos; así, desde el año 2007, se están realizando investigaciones con los mosquitos del género *Anopheles*, transmisores de la malaria o paludismo, y con *Aedes aegypti*, vector del dengue o “fiebre rompehuesos”. Se pretende modificar genéticamente a estos organismos (insertando en su material genético el gen que promueve la síntesis de lectina) para que inhiban la reproducción de los agentes causantes de la enfermedad en su organismo.

Estos ejemplos corroboran la importancia de los animales en el mantenimiento de las cadenas tróficas de los ecosistemas, hasta el punto de que cuando una especie se extingue, o disminuye mucho su población en una determinada área, se verá afectada la red trófica de ese ecosistema (se ha visto, por ejemplo, que la desaparición de la tortuga de Florida en una zona de su hábitat natural provoca la desaparición de, al menos, 37 especies de invertebrados).

Esta pérdida de biodiversidad reduce la productividad de los ecosistemas y debilita su capacidad para hacer frente a los desastres naturales.



Figura 3.53. El dodo (*Raphus cucullatus*), ave originaria de isla Mauricio, desapareció en el siglo XVIII debido a la caza excesiva y al saqueo de sus nidos por las nuevas especies introducidas en la isla.

3.2. Las amenazas a la biodiversidad

La extinción de especies y consiguiente pérdida de biodiversidad se debe a diversas causas que, para facilitar su comprensión, podemos agrupar en **cinco** categorías:

1. La **sobreexplotación** de los ecosistemas por extracción de recursos a un ritmo superior a su renovación natural. Incluye la caza y pesca excesivas (nutrias, focas, atunes, ballenas...), explotación forestal y el **comercio ilegal** de especies exóticas, sin regulaciones legales que las controlen, y que reducen peligrosamente el tamaño de las poblaciones silvestres.
2. La **introducción de especies foráneas** en los hábitats naturales. Estas nuevas especies compiten por el espacio, por el alimento y, en ocasiones, pueden producir sustancias tóxicas además de propagar enfermedades nuevas para las poblaciones autóctonas (por ejemplo, la introducción de visones americanos en algunos países europeos ha diezmando las poblaciones de nutrias).
3. La **destrucción de los hábitats** naturales, como las selvas tropicales o los arrecifes de coral, afecta a un gran número de especies animales que viven en ellos.
4. La **fragmentación de los hábitats** por construcción de infraestructuras y urbanizaciones, que en ocasiones constituyen barreras infranqueables para numerosas especies. Este fenómeno es responsable de la extinción local de muchas especies, debido a que provocan pérdida de la variabilidad genética (al ser las poblaciones más pequeñas y estar aisladas), con la consecuente disminución de la adaptabilidad a los cambios ambientales y, por tanto, a su supervivencia (la crítica situación del lince ibérico se ve agravada por esta causa).
5. La **contaminación**, que afecta directamente a muchas especies al alterar las condiciones del medio o liberar sustancias tóxicas y que además provoca cambios a gran escala como el calentamiento global.

3.3. Acciones para la conservación de la biodiversidad

Las medidas a adoptar para la conservación de la diversidad animal son muy complejas y requieren, de forma prioritaria, un alto grado de interés y cooperación entre los países para adoptar acuerdos internacionales que establezcan formas de control. Esto es particularmente importante en lo que se refiere a los animales acuáticos que ocupan aguas internacionales, en las que es muy difícil regular y controlar las actividades pesqueras (número de capturas). La pesca comercial tiene una gran importancia económica en países con extensas aguas interiores, o con muchos kilómetros de costa (como en el caso de España), ya que proporciona una gran cantidad de proteínas para la alimentación humana. Los acuerdos internacionales se han de hacer extensivos a



VÍDEO

El conocido divulgador y naturalista David Attenborough recoge las principales causas de pérdida de biodiversidad en este magnífico [vídeo](#) producido por BBC.

los animales migratorios que se desplazan por distintos países.

Otras medidas que se han de tomar son:

Elaborar y promulgar leyes proteccionistas que regulen la caza o la importación y exportación de animales, de forma que se garantice que estas actividades se realicen dentro de los parámetros de **rendimiento máximo sostenible**. Ello exige una investigación previa de los requisitos ecológicos y potenciales de las especies que se pretenden proteger.

- Crear **reservas, parques, refugios y santuarios biológicos** (se diferencian básicamente en el grado de protección de la fauna y flora que otorga cada una de ellas) que permitan preservar a niveles nacionales la biodiversidad. La categoría más restrictiva de uso es la de **reserva científica**, que es un área con ecosistemas sobresalientes, paisajes o especies de flora y fauna de gran importancia científica, a los que no puede acceder el público en general porque, en muchas ocasiones, dichos ecosistemas son frágiles o porque las formas de vida que presentan tienen una importancia clave en la conservación de la diversidad genética (en el Parque Nacional de Doñana hay dos zonas declaradas reserva científica, figura 3.54).



Figura 3.54 . Garza imperial (*Ardea purpurea*) en el Parque Nacional de Doñana (Huelva).

Las áreas protegidas se seleccionan según sus características ecológicas o biológicas únicas, o bien porque son representativas de comunidades biológicas muy extendidas, pero que en otras partes son transformadas por diversas causas: usos recreativos, explotación de recursos... Al mantener algunas zonas en condiciones originales (no modificadas), se pueden obtener diversas ventajas (concentración de oxígeno en el suelo o en el agua, número de especies por kilómetro cuadrado...) que sirvan para controlar y garantizar el desarrollo sostenible de las zonas explotadas y el mantenimiento o la mejora de los hábitats de los animales salvajes.

- Limitar la caza y la pesca a determinadas épocas respetando los periodos reproductivos y permitiendo, de esta manera, la recuperación de las poblaciones. Asimismo, es importante controlar el tamaño de las piezas capturadas (protegiendo a los alevines y crías con el fin de que puedan llegar a reproducirse).
- Conocimiento del estado de las poblaciones de especies silvestres realizando censos y seguimiento de la evolución de su demografía, elaboración de listas rojas de especies en peligro y de planes de recuperación.
- Control del tráfico y comercio de especies, así como establecer planes de erradicación de especies invasoras.
- Creación de centros de conservación de especies y del acervo genético: jardines botánicos, bancos de semillas y de genes.
- Control de los proyectos de explotación forestal y establecer planes de repoblación.

- La cooperación técnica y científica entre los países, con la creación de bancos de genes y embriones que garanticen la conservación de la diversidad de las especies y su reintroducción en las áreas en las que ya han desaparecido. Como hemos visto en el epígrafe 3.4, la biotecnología podría ser en un futuro no muy lejano una importante herramienta para la conservación de la fauna en nuestro planeta.
- Por último, hemos de resaltar la importancia de realizar campañas de divulgación general sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad animal que conduzca a la participación activa en defensa de la fauna y, en especial, de **educación ambiental**.



ACTIVIDADES

15. Busca información acerca de la sustancia que contienen las plantas del género *Digitalis*, como la representada en la figura 3.48 de la página 157.
16. *“Las especies invasoras son una grave amenaza para el medio ambiente y la economía en España, pero no se hace lo suficiente frente a ellas. Ésta podría ser una de las conclusiones del reciente manifiesto firmado por SEO/BirdLife y más de un centenar de científicos. Las especies exóticas invasoras (EEI), entre las que se encuentran en nuestro país el Mejillón Cebra, el Mapache o el Caracol Manzana, constituyen una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el mundo.”*
 - a. ¿Cómo afectan las especies invasoras a los ecosistemas?
 - b. Propón una serie de medidas destinadas a mitigar el problema enunciado.
17. La Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, define una EEI como “aquella que se introduce o establece en un ecosistema o hábitat natural o seminatural y que es un agente de cambio y amenaza para la diversidad biológica nativa, ya sea por su comportamiento invasor, o por el riesgo de contaminación genética”. Explica qué significa “comportamiento invasor” y “contaminación genética”.
18. *“Se estima que durante el último siglo la tasa de extinción de especies se ha multiplicado por mil. Cada año desaparecen entre 10.000 y 20.000 especies. De hecho, los expertos aseguran que nos encontramos ante un proceso de extinción masiva causada por el impacto de la actividad humana sobre los ecosistemas a escala mundial”.*
 - a. Indica cinco causas, inducidas por el hombre, que provoquen la pérdida de biodiversidad de especies .

4. Clasificación y nomenclatura de los seres vivos

En el quehacer rutinario de los estudiosos de la naturaleza destaca una actividad clave: la clasificación de entidades como rocas, plantas, cristales, cortejos sexuales, tejidos orgánicos, suelos... Clasificar una colección de objetos es separarlos en grupos distintos, o taxones, cuyos integrantes tienen algo en común. Pero al hacerlo hay que tener especial cuidado en:

- Delimitar claramente cuál es el conjunto que vamos a clasificar.
- Que todos los **taxones** contengan, al menos, un miembro del conjunto.
- Que ningún miembro del conjunto quede “fuera” de la clasificación; **es decir, que todos estén incluidos en algún taxón, y solo en uno.**

Puesto que la naturaleza presenta tan gran variedad de formas, al clasificarlas podemos hablar ordenadamente sobre ellas, estudiarlas mejor, proponer hipótesis sobre su origen o constitución con más facilidad. Incluso nos atreveríamos a decir que toda teoría se fundamenta en una clasificación.

Podría parecer que la afirmación anterior insinúa que los científicos han de dedicarse, antes que nada, a observar minuciosamente la naturaleza y a organizar los datos en clasificaciones que reflejen el orden “real” de las cosas; luego vendrá la hora de teorizar y de articular esos descubrimientos en una nueva interpretación del mundo. Todo investigador trabaja con una teoría previa, inevitablemente influida por el contexto social y cultural de sus autores, que sugiera qué observar, qué datos interesan reunir y clasificar e incluso cómo diseñar experimentos.

4.1. La nomenclatura binominal

El filósofo griego Aristóteles (384-322 a.C.) propuso clasificar a los animales en Enaima (con sangre roja) y Anaima (sin sangre roja), grupos más o menos homologables a los actuales Vertebrados e Invertebrados, respectivamente. A su vez, dividió estos grupos en varios **géneros**, cada uno de los cuales reunía a diversas **especies** con rasgos similares. El naturalista inglés John Ray (1627-1705), en el siglo XVII, precisó que una **especie** es un conjunto de seres vivos procedentes de antecesores comunes, parecidos entre sí y capaces de cruzarse entre ellos.



Figura 3.55 . Dibujo que representa la *Nepeta cataria*: **a** es la planta completa; **b**, la flor; **c**, detalle del cáliz; **d**, detalle de la corola; **e**, detalles del fruto.

Pero la aportación clave a la clasificación de los seres vivos es la del naturalista sueco Carolus Linnæus (1707-1778), más conocido como Linneo. Linneo sentía auténtica fascinación por los nombres de las plantas. Por aquel entonces las especies se nombraban mediante una serie de palabras latinas que sintetizaban sus rasgos básicos. Así, la nébeda, o menta de gatos, se designaba como *Nepeta floribus interruptae spicatus pedunculatis* (“nébeda con flores en espiga pedunculada interrumpida”). Linneo pensó que el número de palabras era excesivo y decidió limitarlo a dos, pero conservando la convención de escribir ambas en latín – lo que posibilitaba que se pronunciasen igual en todos los países– y la primera de ellas en mayúscula, puesto que comenzaba la frase. La nébeda fue rebautizada como *Nepeta cataria*; Linneo escribió la palabra *cataria* en el margen del nombre apropiado de la especie, que quiere decir “relacionada con los gatos”, haciendo referencia a un atributo familiar de la especie. Tanto él como sus contemporáneos rápidamente empezaron a llamar a la planta con el nombre *Nepeta cataria*, que es el nombre que persiste hoy en día.

Linneo se percató de que había logrado un sistema para etiquetar a todas las especies. Para ello, siguiendo la tradición aristotélica de agrupar a las especies en géneros, solo tenía que usar el primero de sus dos nombres latinos para designar al género al que pertenecían, y el segundo para la propia especie. El uso de la **nomenclatura binominal** (“dos nombres”) permitió identificar y distinguir a cada especie de entre millones; dio origen a la clasificación natural de los seres vivos.

4.2. Sistemas de clasificación naturales

Supongamos, volviendo con Aristóteles, que clasificamos las plantas en tres grupos: hierbas (sin partes leñosas rígidas), arbustos (leñosos e inferiores a cinco metros) y árboles (leñosos, de al menos cinco metros). La clasificación es formalmente correcta –es sencillo comprobar que verifica los criterios enunciados al comienzo del epígrafe 4–, pero poco útil.

Apenas podremos enunciar leyes generales acerca de los arbustos; pocas predicciones seremos capaces de hacer sobre la *Nepeta cataria* si nos hemos limitado a identificarla como una hierba. Se trata de un sistema artificial de clasificación.

Linneo, por el contrario, buscaba un sistema natural, en el cual cada taxón incluyese a individuos emparentados por uno o más vínculos que denotasen relaciones reales, y que, por tanto, fuese útil para hacer predicciones (figura 3.56). Según su fe, Dios no había creado a cada una de sus criaturas caprichosamente, sino que, por el contrario, había trazado un esquema racional que ahora pretendía descubrir.

De esta manera, la **taxonomía** (el estudio teórico de la clasificación) revelaría el Plan Divino en las relaciones entre especies.

El descubrimiento clave de Linneo es que la clasificación natural de los seres vivos es **jerárquica**.

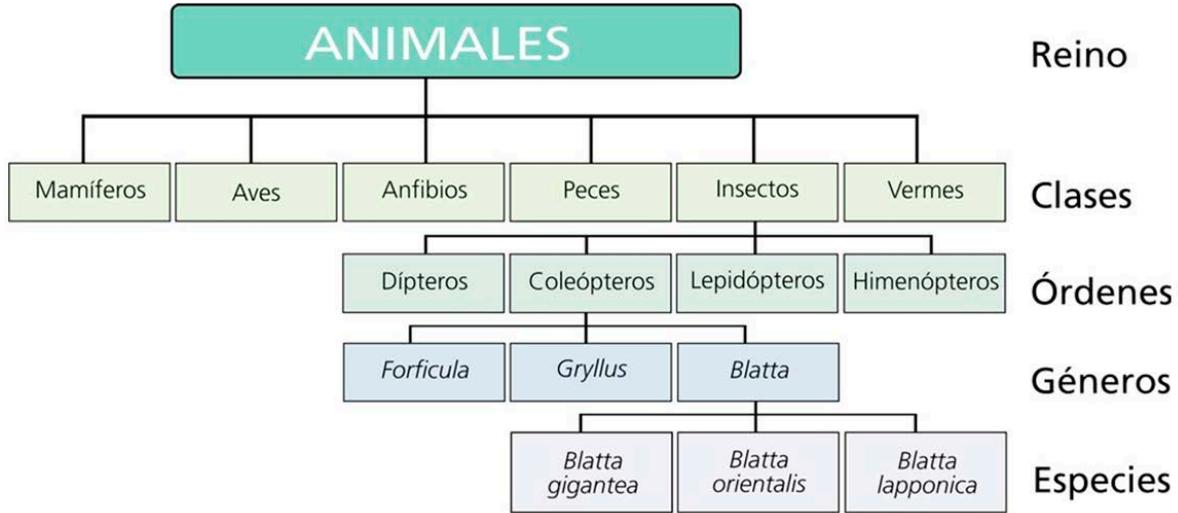


Figura 3.56 . Fragmento de la clasificación natural de los animales tal y como la concibió Linneo para la décima edición de su *Systema Naturæ* (1758). Como en toda clasificación jerárquica, la diversidad de los organismos situados en las categorías superiores se reduce al ir pasando a las inferiores. Muchos de sus grupos difieren de los aceptados hoy en día: la clase Vermes ("gusanos") era un cajón de sastre donde se incluían casi todos los invertebrados que no eran artrópodos, y hoy sabemos que ni las cucarachas (*Blatta*) ni los grillos (*Gryllus*) pertenecen al orden de los Coleópteros, los escarabajos).

Linneo intuyó que deberían existir unas **categorías taxonómicas** anidadas, esto es, incluidas unas dentro de otras, de la misma forma que varias especies estaban contenidas en un mismo género, y agrupó los géneros en **órdenes**, éstos en **clases** y las clases en **reinos** (véase la figura 3.56). El esquema perdura hoy, aunque se ha enriquecido con otras categorías: **filo** (también llamado tronco o división, según se trate de animales o de plantas, respectivamente) entre clase y reino, familia entre género y orden, y todas las que se obtienen añadiendo los prefijos sub- o super- (subgénero, superorden...).

Linneo reconocía dos reinos vivos: **Animales** y **Plantas**. Los primeros incluían a los organismos dotados de sensibilidad y movimiento que precisan tomar alimento orgánico. Se distinguían así de las plantas, capaces de usar nutrientes inorgánicos. En el siglo siguiente se aceptó que las plantas podían captar energía solar gracias a la clorofila y que sus células estaban revestidas de una pared de celulosa (las de los animales carecían de pared).

Esta tradicional dicotomía en dos reinos se mantuvo hasta bien entrado el siglo XX. En cambio, los demás taxones (filos, clases...) sufrieron múltiples reajustes a lo largo de los siglos XIX y XX, cuando la aceptación de la **teoría de la evolución** obligó a redefinir lo que se entendía por *clasificación natural*: a partir de entonces solo se admitirían como natura-

les a aquellos taxones que englobaban a especies unidas por lazos de parentesco evolutivo. Se derrumbaron así esquemas tradicionales como el de clasificación de los vertebrados, algunos de cuyos grupos (por ejemplo, reptiles o peces) resultaron ser artificiales según el citado criterio.

4.3. El nacimiento de la sistemática

Darwin pensó que los productos de la selección natural – las especies que viven o han vivido en la Tierra– podrían conectarse con sus antecesores formando algo parecido a un árbol genealógico: un **árbol filogenético en el que cada especie aparece unida mediante “ramas” a aquella de la que desciende**, y con un “tronco” común de origen para todos los organismos.

Inmediatamente cayó en la cuenta de que ese icono de la historia de la vida justificaba las relaciones jerárquicas que aparecían en la clasificación de Linneo (compárense las figuras 3.56 y 3.57): las afinidades entre especies que con tanto ahínco habían buscado los naturalistas no eran otras que los caracteres que han heredado de un antepasado común. Toda **clasificación natural** –la ordenación de especies en géneros, estos en familias, luego en órdenes, y así sucesivamente– había de ser rigurosamente genealógica; en palabras de Darwin, “la comunidad de descendencia es el vínculo escondido que los naturalistas han estado buscando inconscientemente, y no un plan desconocido de Creación”.

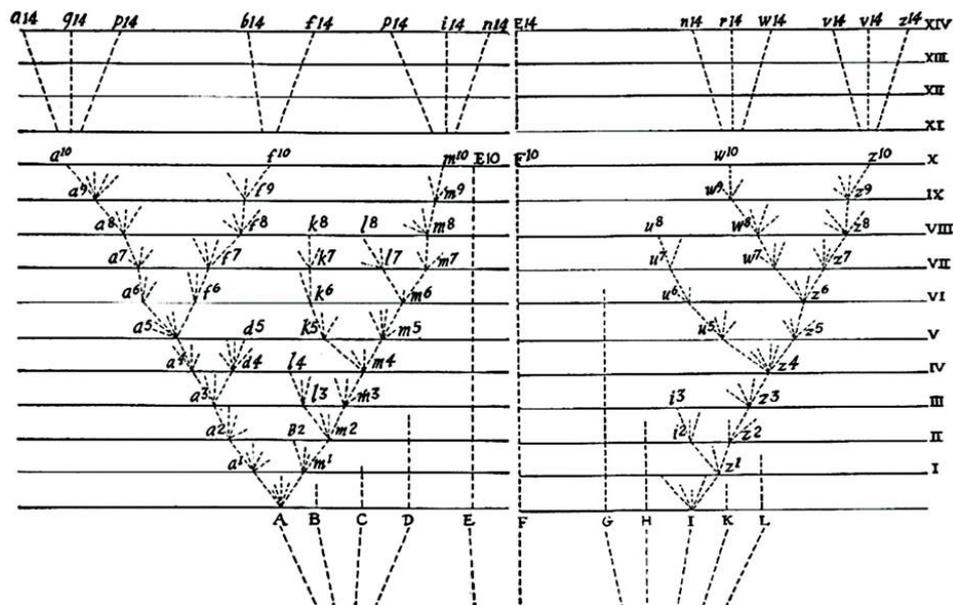


Figura 3.57 . La única ilustración que aparece en *El origen de las especies* (1859), la obra más conocida de Darwin, muestra un árbol evolutivo hipotético. Los intervalos entre las líneas horizontales representan mil o más generaciones. Las letras A-L simbolizan distintas especies de un género, que se diversifican originando múltiples razas o variedades (líneas de puntos); algunas de ellas diferirán tanto de la especie original que llegarán a constituir nuevas especies (letras minúsculas de la línea horizontal superior)

Desde entonces, la **taxonomía** (la ciencia que investiga la clasificación de los organismos) se alió con la **filogenia** (la ciencia que trata de averiguar las relaciones de parentesco evolutivo entre taxones). Ambas ciencias serían en lo sucesivo las dos caras de una misma moneda, la **sistemática**, ciencia cuyo objetivo es *interpretar el modo en que la vida se ha diversificado a lo largo del tiempo hasta desembocar en los millones de especies que pueblan nuestro planeta*.

Sin embargo, a medida que el modelo sistemático de Darwin ganaba en aceptación se topó con una sorprendente dificultad. Hasta ese momento el mundo vivo había sido dividido en dos reinos claramente diferenciados, las Plantas y los Animales. El espectacular aumento de la información disponible que siguió al nacimiento de la teoría celular no hizo sino confirmar las diferencias entre ambos grupos:

- Plantas y animales poseían células perfectamente distinguibles, con una rígida pared de **celulosa** en el primer caso y sin ella en el segundo.
- Las células se agregaban en tejidos fundamentales, de nuevo muy distintos en plantas y animales.
- La fisiología (adquisición de nutrientes, intercambio de gases, excreción, circulación de líquidos) y el metabolismo de los dos reinos (**autótrofo** y **heterótrofo**, respectivamente) apenas tenía comparación.

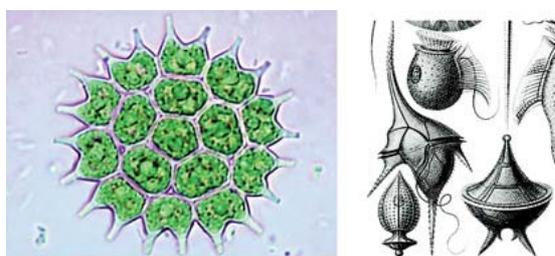


Figura 3.58. Izquierda: *Pediatrum borianum* es un alga verde colonial (es decir, entre sus escasas células no existe división de trabajo) que flota libremente en lagos de agua dulce como componente del plancton. Actualmente se incluye entre las plantas, pero Haeckel la clasificó dentro de los protistas. Derecha: dibujos de Haeckel de organismos unicelulares conocidos como **dinoflagelados**, que fueron incluidos entre los protistas.

Así, esta sencilla dicotomía resultaba tan clara y tan cómoda que ciertas inconsistencias más o menos molestas (por ejemplo, la existencia de los **hongos**, que parecen plantas pero poseen metabolismo heterótrofo y pared celular de **quitina** –una proteína–, no de celulosa –un polisacárido–) podían fácilmente ser pasadas por alto.

Pero, según Darwin, todos los organismos vivos están vinculados por relaciones de parentesco evolutivo. Era a todas luces inconcebible que las plantas descendiesen de algún grupo de animales, o viceversa. Es decir, plantas y animales debían tener un antecesor común que, obviamente, no podía haber sido ni una planta ni un animal. ¿Dónde “encajar” a semejante ser?

4.4. ¿Tres o cuatro reinos?

Las múltiples observaciones realizadas por Anton van Leeuwenhoek a través de sus lentes (página 67, Unidad 2), habían revelado la existencia de todo un mundo de organismos microscópicos, invisibles a ojo desnudo. Resultaba evidente que en este universo no se podía aplicar la distinción tajante entre animales y plantas: algunos de tales organismos, pese a ser unicelulares, podían fácilmente ser asimilados a algas y clasificados entre las plantas, por lo que se

les dio el nombre informal de **protofitas** (del griego *prôtos*, “primero”, y *phyton*, “planta”); otros recordaban a animales y se les llamó **protozoos** (*zôon* significa “animal”); pero muchos de ellos combinaban características “animales” y “vegetales” de múltiples maneras. A partir de este momento se sucedieron diversas clasificaciones de los seres vivos.

Clasificación de Haeckel (3 reinos)

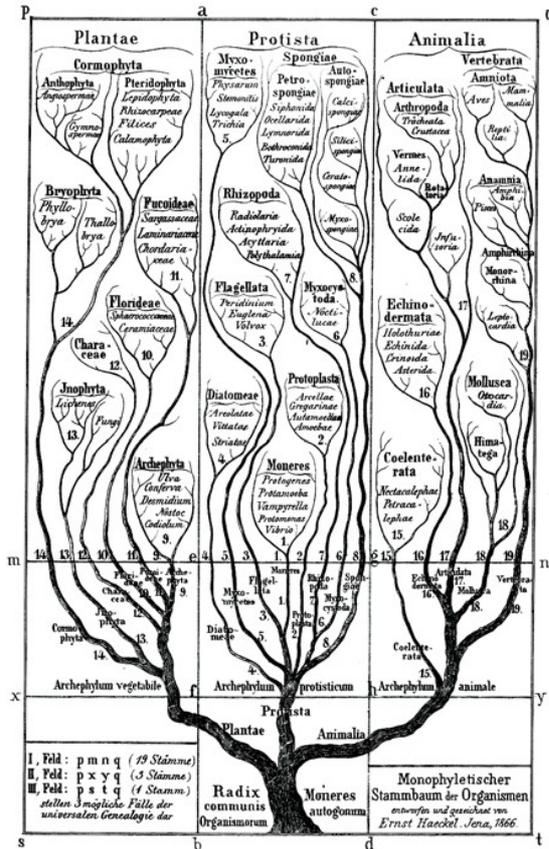


Figura 3.59. Haeckel elevó a la categoría de arte la representación de las relaciones de parentesco entre organismos, dibujando muchos árboles con auténtica corteza, ramas retorcidas y un organismo real en cada extremo. Este árbol recoge su propuesta de tres reinos vivos, con las bacterias (*Monera*) como un grupo dentro de los protistas.

El zoólogo alemán Ernst Heinrich Philipp August Haeckel (1834-1919) intuyó que estos microorganismos podían encerrar la clave del origen de animales y plantas y propuso para ellos un tercer reino al que designó como **Protistas**. En él situó no solo a los seres vivos unicelulares, sino a todos aquellos que no poseen tejidos claramente diferenciados –como diversos organismos que forman colonias (figura 3.58), así como las esponjas, actualmente incluidas entre los animales–, en marcado contraste con los integrantes de los otros dos reinos. En muchos protistas podía observarse una complejidad estructural relativamente importante, lo que, en opinión de Haeckel, los descartaba como organismos próximos a las formas de vida más tempranas.

Pero había unos seres unicelulares que se distinguían por su pequeño tamaño –entre 1 y 10 micrómetros de diámetro, en contraste con los 10 a 100 micrómetros del resto de los protistas– y, sobre todo, porque sus células carecían de núcleo: las **bacterias**. Haeckel pensó que podían ser representantes aún vivos de las formas de vida ancestrales y escasamente organizadas, a las que denominó **Moneras**. En su opinión, el desarrollo de las células más complejas que se observan en el resto de los seres vivos fue el resultado de la diferenciación de estos “moneras” en una zona interna (el núcleo) y otra zona externa (el citoplasma).

Aunque Haeckel modificó repetidas veces las fronteras del reino Protista desde que sugirió su creación en 1866 siempre dejó dentro de él a las bacterias (figura 3.59).

Clasificación de Copeland (4 reinos)

Sin embargo, en 1947 el biólogo marino francés Edouard Chatton (1883-1947) advirtió, con base en sus estudios bioquímicos, que entre las bacterias y el resto de los seres vivos había una barrera mucho más profunda que la que separaba a los animales de las plantas, o a los organismos microscópicos de los visibles a simple vista. Creó así los térmi-

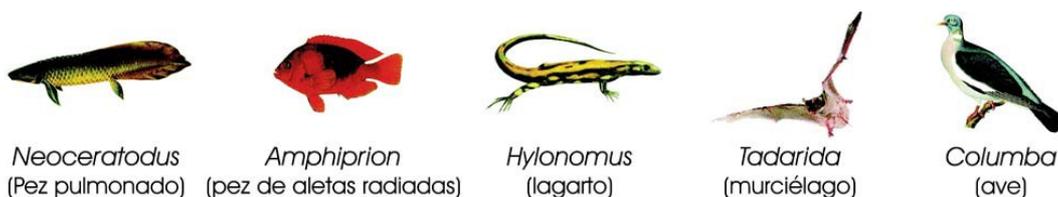
nos **procariota** (del griego *pro*, “antes”, y *karyon*, “núcleo”) y **eucariota** (de *eu*, “verdadero”) para designar, respectivamente, a las bacterias y a los organismos con células nucleadas (es decir, a los restantes protistas, a las plantas y a los animales). Como no tenía sentido seguir incluyendo en el mismo reino a organismos procariotas y eucariotas, Herbert Copeland (1902-1968) consumó la separación de ambos: agrupó a los organismos procariotas en el reino **Micota**, y a todos los protistas de Haeckel que no eran bacterianos en el de los **Protoctistas** (de la palabra griega *ktistos*, “creados”).

Este último tampoco abarcaba a las algas verdes – aunque sí a otros grupos de algas – por considerarlas como el origen de las restantes plantas y, por lo tanto, incluidas en dicho reino.

4.5. El método cladístico

En el sistema de Copeland el reino de los protoctistas se definía por exclusión: englobaba a todos los organismos con núcleo celular que no eran ni plantas ni animales. Era una especie de “cajón de sastre” y, como tal, probablemente artificial. Hacían falta nuevos instrumentos que permitieran esclarecer la situación.

Estaba claro, desde que Darwin propusiera su teoría, que la clasificación de los organismos debe reflejar sus relaciones de parentesco evolutivo. Pero una cosa son los acuerdos de principio y otra cosa es llevarlos a la práctica. Podría parecer que es relativamente sencillo establecer relaciones de parentesco entre distintos **taxones**. En realidad, es muy difícil. Pensemos, a título de ejemplo, en los siguientes vertebrados:



¿Cómo agruparlos? Los dos primeros nadan y tienen aletas pares; esta característica, ¿indica un parentesco común? Los dos últimos tienen alas y vuelan; ¿es suficiente esta apreciación para incluirlos en un mismo taxón?

Una técnica novedosa vino a aportar una muy necesaria dosis de objetividad a la ciencia de la sistemática; la introdujo en 1950 el entomólogo alemán Willi Hennig (1913-1976), y recibe el nombre de **cladística** o **cladismo**.

El método cladístico

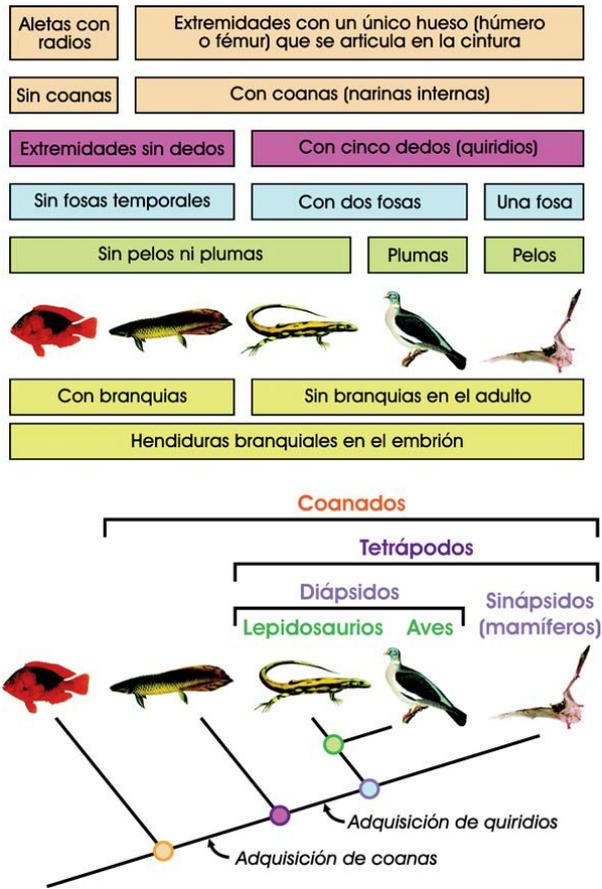


Figura 3.60. En cladística no todos los caracteres tienen la misma validez a la hora de determinar las relaciones de parentesco. Por ejemplo, algunos vertebrados adultos poseen branquias y otros no, pero todos tienen hendiduras branquiales embrionarias, por lo que dicho rasgo estaba presente en el antepasado común de todos los vertebrados (se dice que es **simplesiomórfico**) y es irrelevante para establecer relaciones evolutivas entre ellos. En cambio, las extremidades tipo **quiridio** surgieron después de que una bifurcación (nodo de color amarillo en el cladograma de la imagen inferior) separara a los peces pulmonados de los restantes **coanados**; por tanto, el quiridio es un rasgo **sinapomórfico**, esto es, derivado y compartido por todos los tetrápodos.

La cladística (del griego *klados*, “rama”) parte de la suposición de que *surgen nuevos tipos de organismos solo cuando una población o especie ya existente se divide exactamente en dos (bifurcación)*. En ambas especies aparecen una serie de rasgos que podemos diferenciar en:

- **Rasgos simplesiomórficos.** Ambos linajes seguirán compartiendo muchos rasgos que evidencian su origen común y que se conocen en la jerga cladística como simplesiomórficos. Por ejemplo, los mamíferos y las aves se asemejan entre sí por poseer una columna vertebral, rasgo que ya estaba presente en el ancestro que dio origen a todos los vertebrados y que, por lo tanto, es simplesiomórfico para estos animales.
- **Rasgos derivados.** Las dos estirpes cambiarán a lo largo del tiempo, independientemente la una de la otra, de manera que cada una de ellas presentará con el tiempo nuevos rasgos diferenciadores o derivados.
- **Rasgos sinapomórficos.** Los rasgos derivados que aparecen en un linaje podrán *compartirse por todos los grupos que procedan de él por sucesivas ramificaciones*; serán, entonces, rasgos compartidos-derivados, o **sinapomórficos**. Así, el pelo aparece solo en el ancestro común más reciente de los mamíferos, y es un carácter sinapomórfico de dichos animales.

Grupos monofiléticos y parafiléticos

En la figura 3.60 pueden verse ejemplos de rasgos sinapomórficos que permiten definir grupos **monofiléticos** entre los vertebrados; esto es, *taxones formados por un antepasado común más todas las especies derivadas de él por bifurcaciones sucesivas*. Las relaciones de parentesco entre estos grupos –los únicos admitidos por los cladistas– se expresan mediante un diagrama de jerarquías anidadas llamado **cladograma** (figura 3.60) cuyos nodos de bifurcación señalan el orden en el que aparecieron los distintos caracteres derivados.

El análisis cladístico ha derribado muchos de los más veteranos taxones, algunos de ellos admitidos tradicionalmente durante siglos o milenios. Por ejemplo, el grupo de los “peces” se había definido por la presencia de aletas pares. Pero este rasgo no es un carácter compartido-derivado de estos animales, ya que las extremidades pares de los **tetrápodos** son realmente aletas modificadas; se trata, pues, de un carácter simplesiomórfico, que denota, efectivamente, un ancestro común; pero no inmediato ni exclusivo de los “peces”.

Además, los peces pulmonados (como el *Neoceratodus* de algunos párrafos atrás) comparten algunos rasgos derivados con los tetrápodos –la presencia de pulmones, de huesos en las extremidades–, pero no con los peces de aletas radiadas.

En definitiva, el grupo de los “peces” es **parafilético**, es decir, no abarca a todos los descendientes de un antepasado común (si quisiéramos ampliar el grupo para incluirlos ya no hablaríamos de peces, sino de gnatostomados, o vertebrados con mandíbulas; para ellos las aletas pares son, desde luego, un rasgo sinapomórfico). Hennig no admitía a los grupos parafiléticos como taxones naturales porque, a diferencia de los grupos monofiléticos, no tienen una historia propia y exclusiva –es también la historia de los grupos monofiléticos enraizados con ellos–; y menos todavía a los grupos **polifiléticos**, en los que los rasgos que los definen (como las alas de las aves y los murciélagos) han evolucionado. El vocablo, derivado del griego *polys* (“numerosos”) y *phyletês* (“miembro de una tribu”), significa que uno cualquiera de dichos grupos está integrado por los descendientes de distintas líneas ancestrales. (Es como si el lector solo incluyese en su “familia” a sí mismo y a sus hermanos y primos del mismo sexo, pero no a los del sexo opuesto: los miembros del grupo así formado podrían, evidentemente, tener distintos padres, y la semejanza entre ellos –igual sexo– no denotaría antecesores comunes. Se trataría de un grupo claramente artificial.)

El cladismo ha inspirado el trabajo de la mayor parte de los sistemáticos durante las últimas décadas, pero no ha estado al abrigo de críticas, excesos e incertidumbres. No siempre es fácil saber si un determinado rasgo es derivado o no; en ocasiones se recurre al estudio del desarrollo embrionario, pero la complejidad del mismo invita a la prudencia a la hora de interpretar los datos. Más grave aún es el hecho de que había un escaso margen para la elección de caracteres derivados entre los procariotas. En efecto, para distinguir estos organismos entre sí los microbiólogos habían elaborado un catálogo de pequeñas diferencias morfológicas visibles al microscopio (forma redondeada o alargada, número y situación de los flagelos...) y, sobre todo, fisiológicas (si es capaz de utilizar un azúcar concreto, si tolera determinado rango de temperaturas, si produce enzimas que catalizan cierta reacción química...).

A pesar de estas carencias, como veremos a continuación, el cladismo se mostró como un procedimiento bastante eficaz para la clasificación de los seres vivos.

4.6. Los cinco reinos

En 1969, Robert Whittaker (1924-1980) intentó redefinir los Protoctistas de Copeland de manera más positiva, limitando dicho reino a organismos unicelulares o, a lo sumo, coloniales. Separó de él a los **hongos**, con los que formó un quinto reino, y a otros grupos exclusivamente pluricelulares, tales como las **algas rojas o pardas**, que fueron adscritas a las plantas.

Solo admitió una excepción a su regla: las algas verdes se asignaron a las plantas en su totalidad, sin excluir a sus formas unicelulares. (Incidentalmente, reintrodujo en parte la notación de Haeckel: a lo que quedaba de los protoctistas lo llamó reino *Protista*, y a los *Micota* de Copeland los rebautizó como reino *Monera*.)

Whittaker era consciente de que, tal y como los había delimitado, los reinos de las plantas, hongos y animales eran probablemente **polifiléticos**. En efecto, Whittaker definía a los reinos sobre la base de su nivel de organización –unicelular o pluricelular– y de su modo de nutrición –**autótrofa** en plantas, holozoica en animales y saprótrofa en hongos–, rasgos todos ellos que podrían haber surgido en varias ocasiones sin guardar una relación directa con sus ancestros (como el sexo en el ejemplo de la “familia” del lector).

La más que probable artificialidad de este sistema indujo a la bióloga norteamericana Lynn Alexander Margulis (1938-2011) a darle algunos retoques, de modo que los reinos de las plantas, los animales y los hongos fueran **monofiléticos**; es decir, que sus miembros tuviesen un antecesor común (un ejemplo *familiar* sería el grupo integrado por el abuelo y todos sus hijos y nietos). Como contrapartida el reino de los protoctistas volvía a definirse negativamente, resultando ser **parafilético**: sus integrantes tenían un antecesor común, pero el grupo no incluía a todos los descendientes del mismo (sería más o menos como si el abuelo ciñese su “familia” a los hijos y nietos que conservan su apellido).

Muchos investigadores eran conscientes de que las relaciones entre los procariotas establecidas sobre estas bases (morfológicas y fisiológicas) distaban de ser genealógicas, de la misma manera que a nadie se le ocurriría reconstruir las relaciones de parentesco entre sus tíos, abuelos y demás familiares basándose en si les gusta más la fabada o el cocido. Y así, los análisis sistemáticos dejaron prácticamente fuera a la mayor parte de los organismos de este planeta, y sus únicos habitantes durante al menos la primera mitad de su historia... hasta la llegada de la biología molecular.

4.7 La filogenia molecular

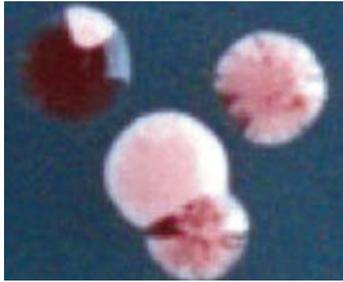


Figura 3.61. Algunas arqueas, como *Halobacterium*, requie-ren para vivir concentraciones de sal como las que se hallan en salmuera saturada.



Figura 3.62. *Sulfolobus sulfataricus*, crece a temperaturas cercanas a 80 °C en manantiales de aguas termales sulfurosas formando biopelículas rojas en las rocas.

En 1981, el microbiólogo estadounidense Carl Woese publicó un artículo en la revista *Investigación y Ciencia* que pronto habría de convertirse en todo un clásico. En él daba cuenta del descubrimiento que había efectuado cuatro años antes, cuando tuvo la idea de aplicar determinadas técnicas de la biología molecular, recientemente puestas a punto, al análisis de las relaciones de parentesco entre diversos grupos de procariotas.

Las técnicas en cuestión conforman el campo de la **filogenia molecular**. En esencia no son difíciles de entender. Como sabemos, el **ADN** de un organismo (página 35, Unidad 1) consta de largas secuencias de **nucleótidos** divididas en muchos miles de genes, responsables de la síntesis de proteínas o de otros ácidos nucleicos (como el ARN). Pero los genes pueden experimentar **mutaciones**, lo que a menudo se traduce en cambios en las moléculas por ellos cifradas. Algunos de tales cambios tendrán un efecto perjudicial sobre su actividad; otros –los menos– la mejorarán, y la mayoría no la afectará. Las mutaciones dañinas tenderán a ser eliminadas por la selección natural y su frecuencia en la población se mantendrá baja, pero las beneficiosas y las neutras podrán acumularse a lo largo del tiempo. Así, a medida que dos especies se alejan de su ancestro común, las secuencias de sus genes irán también divergiendo.

En consecuencia, la comparación de las secuencias de un mismo gen en diferentes organismos podría ser un excelente indicador del grado de parentesco entre ellos. Woese cayó en la cuenta de que cierta molécula conocida como **ARN ribosómico microsubunitario** (a menudo designada por sus siglas inglesas, **SSU ARNr**) era la herramienta ideal: está presente en todos los organismos vivos –es un componente clave de los **ribosomas**, las “fábricas” celulares de proteínas– y su secuencia no cambia demasiado aprisa. Podría desempeñar la función, en palabras de Woese, de un “reloj molecular universal”. Y lo que descubrió al “darle cuerda” asombró a toda la comunidad científica, como veremos a continuación.

Desde que Haeckel rompió la cómoda dicotomía que dividía a los seres vivos en animales y plantas se asistió a un progresivo incremento en el número de reinos. Pero, andando el tiempo, se produjo una nueva simplificación. Parecía que, después de todo, sí que bastaba con una dicotomía para englobar a todos los organismos, si bien situada a nivel celular: cualquier ser vivo era o **procariota** (las bacterias) o **eucariota** (protocistas, animales, hongos y plantas). Y ahora Woese revelaba que, dentro de los procariotas, existían organismos cuyos genes estaban *tan distanciados de los eucariotas como de las restantes bacterias*.

Estos organismos semejaban bacterias, pero la estructura de varias de sus moléculas (así algunos lípidos presentes

en la membrana plasmática) era completamente distinta a las de otras bacterias.

Puesto que las pruebas filogenéticas sugerían que se trataba de un taxón muy antiguo, y como muchas de ellas crecen en condiciones que, se suponía, prevalecieron en los primeros tiempos de la vida sobre la Tierra, fueron designadas como **Arqueobacterias** o **Arqueas** (del griego *arkhaios*, “antiguo”). Se trataba de un tercer dominio, al mismo nivel que las **Eubacterias** (los restantes procariotas) y los **Eucariotas**.

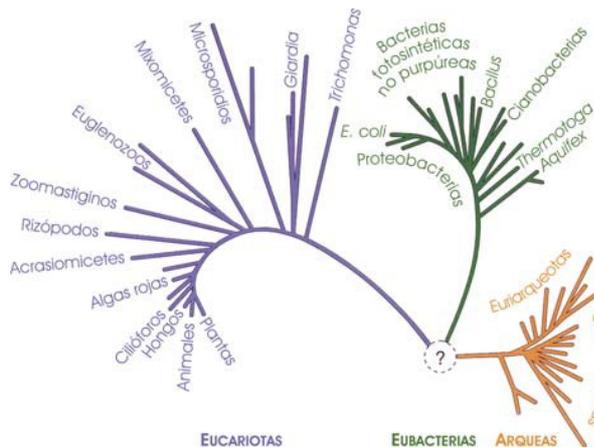


Figura 3.63. Árbol filogenético universal construido con los datos obtenidos por Carl Woese tras comparar secuencias de ARN ribosómicos microsubunitarios de muchas especies. Obsérvese cómo aparecen dos grandes dominios procariotas (eubacterias y arqueas) y solo uno eucariota; en éste, animales, plantas y hongos son simples ramitas.

Sin embargo, en los últimos años, nuevos descubrimientos han venido a poner en entredicho el consenso reinante. Parece que, después de todo, las arqueas ni son tan antiguas como se creía –se habla de edades comparables a la de los eucariotas, esto es, el doble de jóvenes que la eubacterias–, ni son tan diferentes de las eubacterias. A esta conclusión ha llegado, entre otros, el hindú Radhey Gupta, quizá el más respetado evolucionista molecular del mundo, tras examinar lo que él llama *firmas moleculares en el ADN*: adiciones o sustracciones de nucleótidos que ocurren una sola vez en un ser vivo y luego se pueden identificar en todas las especies que descienden de él. Para sorpresa de todos, resulta que las bacterias abarcan en realidad solo dos grupos fundamentales, que no suponen ninguna novedad. Al contrario: se trata de las bacterias grampositivas y gramnegativas, conocidas ya desde el siglo. Y las arqueas llevan la firma de las primeras de ellas.

4.8. Clasificación de Cavalier-Smith (6 reinos)

Una posición ecléctica, más sencilla y que en la actualidad está ganando una creciente aceptación, es la representada por el sistema de **seis reinos** de Cavalier-Smith. Como ya vimos, este investigador agrupa a todos los procariotas en un solo reino (**bacterias**). A los eucariotas los divide en cinco reinos:

1. **Reino de los animales**, que apenas experimenta cambios con respecto a otros sistemas de clasificación. No obstante, además de los animales tradicionales incluye a un grupo de parásitos productores de esporas (los **mixosporidios**), clasificados por Margulis entre los protoctistas por ser unicelulares; los mixosporidios poseen estructuras muy parecidas a los *cnidoblastos* de los pólipos y medusas –células que se-

gregan una sustancia urticante utilizada para la defensa y para la captura de las presas-, y su carácter unicelular se debería a pérdida secundaria de la pluricelularidad –es decir, lo presentaron en su momento pero a lo largo de la evolución desapareció este rasgo-.

2. **Reino de los hongos.** De forma parecida al anterior, también incluye un grupo de parásitos, los **microsporidios** clasificados por Margulis entre los protoctistas por su supuesto carácter ancestral (carecen de mitocondrias, pero muchos datos indican que ello se debe a una pérdida secundaria).
3. **Reino de las plantas.** En el sistema de Cavalier-Smith este reino se ha expandido para incluir a las algas rojas (además de las ya tradicionales algas verdes), ambas clasificadas por Margulis entre los protoctistas. Esta decisión obedece a que, como se ha mencionado, la fotosíntesis parece haberse adquirido una sola vez en el grupo, por incorporación de una cianobacteria al citoplasma del ancestro común a todos ellos. El almidón producido en la fotosíntesis es su principal sustancia de reserva, al igual que el resto de las plantas y a diferencia de otros grupos de algas.
4. **Reino de los protozoos.** Cavalier-Smith recupera este viejo nombre para reunir a buena parte de los organismos de la figura 3.67 (todos excepto los estramenopilos y los rodófitos; se incluyen también aquí a los euglenozoos, distinguidos por ser unicelulares o, a lo sumo, coloniales, carecer primariamente de cloroplastos –aunque algunos hayan podido adquirirlos secundariamente por endosimbiosis con un alga verde, como es el caso de Euglena– y alimentarse mediante fagocitosis.
5. **Reino de los cromistas.** Este nuevo reino abarca desde organismos unicelulares, como las diatomeas, hasta pluricelulares como las algas pardas (corresponde a los estramenopilos de la figura 3.67). Posiblemente sean un grupo monofilético formado por organismos anteriormente clasificados entre las algas, los hongos y los protozoos. Se caracterizan por poseer cloroplastos rodeados de más de dos membranas –adquiridos por endosimbiosis con algas rojas– además tienen un tipo de clorofila y pigmentos que no se encuentran en las plantas. Como producto de reserva, usan un polímero de glucosa llamado **laminarina** en lugar del almidón.

Los cromistas comprenden muchos grupos de organismos fotosintetizadores a los que informalmente se ha llamado “algas” (por ejemplo, los feófitos o algas pardas), así como otros grupos, tradicionalmente

situados entre los hongos, que al parecer han perdido secundariamente la capacidad de fotosintetizar.

Los esqueletos de algunos tipos de cromistas fósiles se depositaron en el suelo de lagos y océanos, donde llegan a convertirse en depósitos de sílice o carbonato de calcio. Estos depósitos son útiles para interpretar el clima arcaico y en la búsqueda de petróleo.

A pesar de su importante aceptación por la comunidad científica, la propuesta de Cavalier-Smith no ha logrado desbancar a la clasificación de cinco reinos de Whittaker, con las modificaciones de Margulis y la consideración de dos dominios; esta última es la clasificación que mayor difusión ha alcanzado hasta la fecha y es la que seguiremos en este texto.

En el sistema de Margulis se pone especial énfasis en la distinción entre los dominios o superreinos, el procariota (con un solo cromosoma) y el eucariota (con varios cromosomas), cuya categoría taxonómica es superior a la de reino. La distinción entre ambos va mucho más allá de lo meramente estructural: la posesión de más de un cromosoma hace posible que dos células eucarióticas se fusionen y reúnan sus cromosomas en una sola, y este es el fundamento del sexo tal y como lo conocemos (y de la Genética mendeliana que vimos en cursos anteriores).

4.9. Clasificación de Margulis (cinco reinos)

El sistema de Lynn Margulis ha experimentado variaciones desde que fue propuesto allá por la década de 1970. Su última versión data de 1998 y agrupó los cinco reinos en dos dominios:

A. Dominio de los procariotas

Engloba a organismos cuya única molécula de ADN es circular y no está asociada a proteínas ni rodeada por una cubierta nuclear. Incluye únicamente un reino:

1. **Reino de los moneras.** Comprende a las bacterias, generalmente unicelulares, aunque en ocasiones forman colonias o filamentos sencillos. Suelen estar rodeadas por una **pared celular** con **peptidoglucanos** (polímeros de azúcar entrelazados con proteínas) y algunos presentan, además, una cápsula externa formada por polisacáridos y proteínas. En su citoplasma no encontramos orgánulos, salvo ribosomas.

Algunas son inmóviles y otras se desplazan deslizándose o por movimiento rotatorio de los **flagelos** compuestos por la proteína **flagelina**. Viven en todos los ambientes imaginables y sus procesos metabólicos son extraordinariamente varia-

dos. En el sistema de Margulis este reino abarca dos subreinos:

- **Arqueobacterias.** Se caracterizan porque no poseen paredes celulares con peptidoglucanos, tienen lípidos de membrana diferentes tanto de las bacterias como de los eucariotas y presentan secuencias únicas en la unidad pequeña del ARNr.

Estos procariontes se encuentran restringidos hoy en día a hábitats marginales, tales como fuentes termales, depósitos profundos de petróleo caliente, fumarolas marinas, lagos salinos (incluso en el mar Muerto)... Por habitar estos ambientes “extremos”, se les conoce también con el nombre de extremófilos (figura 3.61); el nombre de arqueobacterias hace referencia a que se consideraba que las citadas condiciones de crecimiento semejaban las existentes en los primeros tiempos de la historia de la Tierra (*arkhē* significa, en griego, “primitivo”). Estos organismos exhiben atributos bioquímicos que le permiten adaptarse a esos ambientes extremos. De esta manera, existen **bacterias metanógenas** que producen metano, **bacterias halófilas** e **extremas** que viven en regiones con gran concentración de sales, **bacterias termófilas** que viven a temperaturas muy altas...

- **Eubacterias.** Suelen estar rodeadas por una **pared celular** que contiene **peptidoglucanos**. La mayor parte de las bacterias del suelo, el agua y el aire, así como las que se encuentran en el tracto digestivo de los animales, son eubacterias, las cuales producen también muchos de los antibióticos utilizados en medicina.

Son capaces de vivir tanto en ambientes aerobios (que contienen oxígeno) como anóxicos o anaerobios (que carecen de oxígeno). Algunas eubacterias contienen pigmentos que les permiten usar la luz como fuente de energía (como ocurre en las plantas verdes), otras dependen de compuestos orgánicos y un tercer grupo incluso puede usar compuestos químicos inorgánicos como combustible para realizar los procesos celulares. Los filos más representativos y sus características se explican en la figura 3.65.

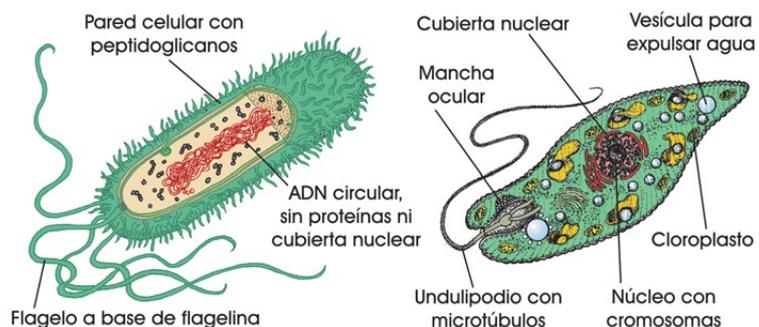
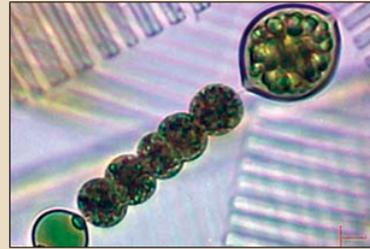


Figura 3.64. Comparación de la estructura de una bacteria (izquierda) y de un protocista (derecha) no dibujados a escala (si lo estuviesen, el segundo ocuparía una hoja de tamaño A3).

- **Filo cianobacterias**

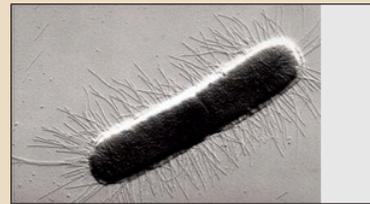
Hasta hace pocas décadas se llamaban *cianofíceas* o *algas azules* y se incluían entre las Plantas, porque realizan una **fotosíntesis** similar a la de éstas (desprenden oxígeno). Algunas son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico. Suelen formar colonias.



Cianobacterias. *Anabaena smithii*, común en estanques y lagos de agua dulce.

- **Filo firmicutes**

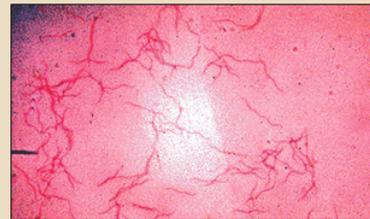
Es el grupo más numeroso de bacterias, e incluye organismos anaeróbicos (no toleran el oxígeno) que obtienen energía a partir de compuestos orgánicos mediante **fermentaciones**. Entre los productos finales de dichos procesos se encuentran el ácido acético, el ácido láctico (*Lactobacillus bruceckii* se emplea para hacer yogur) y diversos alcoholes.



Firmicutes. El género *Clostridium* forma esporas, y puede originar gangrena y botulismo.

- **Filo espiroquetas**

Son bacterias alargadas provistas de numerosos flagelos que utilizan, junto con movimientos de torsión, para desplazarse. Son conocidos algunos parásitos como *Treponema pallidum*, que causa la sífilis humana.



Espiroquetas. *Treponema hyodysenteriae*, parásito del cerdo.

- **Filo proteobacterias**

Es el segundo grupo de bacterias en cuanto a número de especies, pero el primero en cuanto a diversidad. Incluye tipos bacterianos tan importantes como las:

- Bacterias **fotosintéticas purpúreas**, que pueden realizar la **fotosíntesis** usando, en lugar de agua, sulfuro de hidrógeno o compuestos orgánicos, por lo que no generan oxígeno.
- Bacterias **quimioautótrofas**. Extraen energía, mediante **quimiosíntesis**, a partir de compuestos como amoníaco o metano, a los que convierten en sales minerales y moléculas orgánicas que usan las plantas y los animales.
- **Enterobacterias**. Obtienen la energía mediante **respiración**, para la que pueden usar oxígeno o, en su ausencia, compuestos como el nitrato. Son tristemente famosas algunas especies del género *Salmonella*, que producen gastroenteritis y fiebres tifoideas.



Proteobacterias. *Escherichia coli* es una enterobacteria típica de nuestra flora bacteriana.

Figura 3.65. Algunos de los principales filos de bacterias.

B. Dominio de los eucariotas

Sus células poseen varias moléculas de ADN, que forman complejos con proteínas llamados **cromosomas**, y están aisladas del citoplasma por una **cubierta nuclear**. Se dividen en los siguientes reinos:

2. Reino de los protoctistas. Se definen los protoctistas como eucariotas que no son ni hongos, ni animales ni plantas. Abarcan desde organismos unicelulares hasta pluricelulares, y pueden constituir desde simples agregados celulares esféricos o filamentosos hasta formas muy diferenciadas, con **talo**, aunque sin llegar a formar tejidos. Esto significa que cada célula realiza las mismas funciones que sus compañeras.



Ulva lactuca, la lechuga de mar, es un alga verde muy común en nuestros litorales.

- Filo clorófitos

Las *algas verdes* representan las plantas más sencillas; abarcan desde organismos de una sola **célula** hasta formas multicelulares, pero con escasa especialización de las células (formando falsos tejidos o **talos**). A diferencia de los restantes grupos de plantas, las algas verdes son primariamente acuáticas.



"Amitocondriados". *Trichomonas gallinae*.

- "Amitocondriados"

Se trata de un grupo de organismos que carecen de **mitocondrias** (estructuras encargadas de la respiración celular), a diferencia del resto de los eucariotas. Incluye a géneros como *Trichomonas*, causante de algunas enfermedades venéreas. El filo **microsporidios** –parásitos unicelulares que forman esporas–, incluido por *Margulis* en este grupo, parece estar relacionado con los hongos (carecería de mitocondrias por pérdida secundaria).



Rizópodos. Una ameba.

- Filo rizópodos

Los organismos de este grupo son **amebas** unicelulares, es decir, emiten prolongaciones del citoplasma (**pseudópodos** o "falsos pies") que usan para la locomoción y para englobar partículas alimenticias. Carecen de undulipodios y pueden tener caparazones.



Granuloreticulosos. Un foraminífero.

- Filo granuloreticulosos

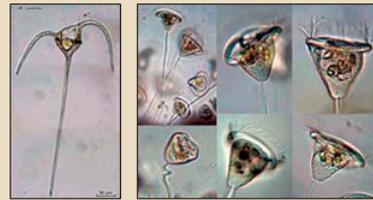
Incluye a los **foraminíferos**, organismos exclusivamente marinos recubiertos por caparazones orgánicos reforzados con minerales. Sus conchas se acumularon sobre todo hace 230 millones de años, originando buena parte de las rocas calizas; *Nummulites*, del período Terciario [véase la ilustración 2.30], llegó a alcanzar 10 centímetros de ancho.

Figura 3.66. Principales grupos de protoctistas (continúa en la página siguiente).

- "Alveolados"

Bajo la membrana plasmática de estos organismos se observan paquetes de sacos contiguos o alveolos. Incluyen tres filos:

- **Filo dinoflagelados**, organismos fotosintetizadores del plancton marino. Poseen una pared rígida con incrustaciones de sílice.
- **Filo cilióforos**, cuyas células están recubiertas de cilios, como el conocido Paramecium.
- **Filo apicomplejos**, parásitos productores de esporas cuyos ciclos vitales pueden involucrar a varios huéspedes distintos.



Dinoflagelado del género *Ceratium* (izquierda) y cilióforo del género *Vorticella*, que vive fijo al sustrato (derecha).

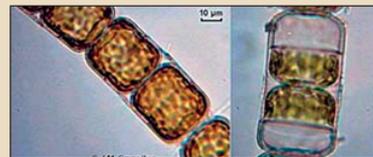
Apicomplejos. Plasmodium falciparum, transmitido por mosquitos del género *Anopheles*, causa la malaria en el ser humano.



- "Estramenopilos"

Son un amplísimo grupo de protocistas cuyos undulipodios pueden presentar aspecto "plumoso". Recientemente han sido elevados a la categoría de reino con el nombre de chromistas. Entre sus filos se incluyen:

- **Filo "diatomeas"**, organismos unicelulares fotosintetizadores del plancton encerrados en dos caparazones llamados valvas e impregnadas en sílice (como una caja de zapatos).
- **Filo feófitos** o algas pardas. Son los protocistas de mayor tamaño (*Laminaria* puede alcanzar los 100 metros). Presentan talos muy desarrollados y todos son fotosintetizadores.
- **Filo oomicetes**. Son los "mohos acuáticos", antes clasificados entre los hongos por presentar filamentos parecidos a hifas (pero no son hongos, pues forman esporas dotadas de undulipodios). Se nutren por absorción.



Arriba: **Diatomea** del género *Melosira*. Abajo: **Feófito** de la especie *Fucus gardneri*.

- "Filo rodófitos"

Son las llamadas algas rojas, fotosintetizadoras, pluricelulares y sin undulipodios. Suelen encontrarse en el borde del mar.

Porphira tenera un alga roja utilizada en la alimentación especialmente en países asiáticos



Figura 3.67. Principales filos de protocistas (continuación).

La mayoría están adaptadas a la vida en el agua o en atmósferas saturadas de vapor de agua, pues sus membranas carecen de sustancias que impidan la evaporación. Los protocistas con mayor nivel de organización se localizan dentro del grupo de las algas pardas marinas, donde ya se encuentran estructuras que asemejan a las hojas, tallos y raíces de las plantas.

La mayoría poseen **undulipodios**, extensiones extracelulares formadas por haces de diminutos túbulos (**microtúbulos**) compuestos por más de cuarenta proteínas distintas, entre las que destaca la **tubulina**; pueden ser largos (antiguamen-

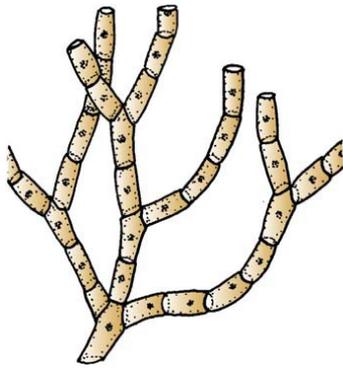


Figura 3.68. Hifas de un hongo.

te se les llamaba *flagelos*, pero este nombre se reserva ahora para los de las bacterias) o cortos (*cilios*) y generalmente se usan para desplazarse (figura 3.64).

Todos los protoctistas son acuáticos: algunos viven en el mar, otros en agua dulce y otros en tejidos de organismos con alto contenido acuoso. Son metabólicamente diversos, aunque menos que las bacterias (por ejemplo, todos los protoctistas **autótrofos** desarrollan el mismo tipo de **fotosíntesis**).

Margulis reconoce treinta grupos de protoctistas, algunos de los cuales se presentan en la figura 3.66. Se ha propuesto en la actualidad elevar al estatus de reino a varios de tales grupos, al no existir una razón convincente por la que solo hongos, animales y plantas formen reinos independientes dentro de los eucariotas.

3. Reino de los hongos. Son organismos filamentosos que carecen de undulipodios y están formados por masas de **hifas** llamadas **micelios**. Cada hifa es un fino tubo encerrado en una pared de **quitina** que contiene el citoplasma y múltiples núcleos (figura 3.68); generalmente la hifa está dividida en “células” mediante **septos**, o tabiques transversales, aunque el citoplasma pasa de una “célula” a otra, y cada compartimento puede tener varios núcleos.

		<p>- "Filo zigomicetes"</p> <hr/> <p>Carecen de paredes transversales o septos. Son todos terrestres, muchos de ellos saprófitos (por ejemplo <i>Rhizopus stolonifer</i>, el moho del pan) y otros parásitos.</p>
		<p>- Filo basidiomicetes</p> <hr/> <p>Además del micelio vegetativo de todos los hongos, forman un micelio reproductivo que puede alcanzar grandes dimensiones (las setas) y que contiene estructuras microscópicas en forma de maza (los basidios) que forman esporas. Muchos (como <i>Agaricus campestris</i>, el champiñón) son comestibles.</p>
<p>De arriba abajo y de izquierda a derecha: <i>Rhizopus stolonifer</i>, <i>Agaricus augustus</i>, <i>Penicillium notatum</i> y <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (levadura de la cerveza).</p>		<p>- Filo ascomicetes</p> <hr/> <p>Incluye este grupo a las levaduras (los únicos hongos unicelulares), a las trufas, a las colmenillas y a géneros como <i>Penicillium</i>, del que se obtiene la penicilina. Forman las esporas en cápsulas microscópicas llamadas ascas. Algunos de ellos se unen simbióticamente a algas para formar líquenes.</p>

Figura 3.69. Filos de los hongos.

Puede haber dos tipos de micelio: el **micelio vegetativo**, encargado de la nutrición y un **micelio reproductor**, que formará las esporas que darán origen al nuevo organismo. Las esporas son células resistentes a la desecación que maduran sin pasar por un desarrollo embrionario.

Los hongos son terrestres y se alimentan secretando enzimas que digieren el alimento en el exterior, y absorbiendo posteriormente los nutrientes liberados. Este reino incluye tres filos, que se muestran en la figura 3.69.

4. **Reino de los animales.** Margulis define a los animales como organismos pluricelulares (muchas veces con tejidos) y heterótrofos, que se desarrollan a partir de una **blástula**; esto es, de una esfera de células que primero es sólida y luego se ahueca, y que resulta de las divisiones del cigoto formado al unirse, fecundación, un óvulo y un espermatozoide (estudiaremos estas y otras características de los animales en próximas unidades).
5. **Reino de las plantas.** En el sistema de Margulis las plantas incluyen solo a organismos pluricelulares y principalmente terrestres que poseen una nutrición **autótrofa** gracias a la **fotosíntesis** y se desarrollan a partir de embriones sostenidos por tejido estéril (es decir, sin ulterior desarrollo). Además de estas características, las plantas presentan otras, algunas de las cuales se estudiaron en la unidad 2 (célula y tejidos vegetales) y otras que estudiaremos en la siguiente unidad.

4.10. Clasificación de las plantas

Las plantas son organismos eucariotas pluricelulares con nutrición fotoautótrofa y ciclo vital diplohaplonte. Poseen plastos y pared celulósica. Almacenan almidón como sustancia de reserva.

En general son terrestres, medio que han conquistado gracias al desarrollo de tejidos de sostén y órganos especializados: raíz, tallo y hojas, lo que ya se describió como estructura tipo **cormo**. No obstante, hay numerosas especies acuáticas y las **briofitas** (musgos, hepáticas), consideradas más primitivas, carecen de verdaderos tallo, hojas y raíces y están muy ligadas a ambientes húmedos.

Sin entrar en la compleja sistemática vegetal, sólo veremos una sencilla clasificación que separa las plantas en dos grandes grupos, sin valor sistemático: las que han desarrollado tejidos conductores o **plantas vasculares** y las que carecen de ellos o **no vasculares**. Estas últimas son las briofitas, minoritarias, de pequeño tamaño y limitadas a ambientes concretos con elevada humedad.

Las plantas cormofitas o vasculares a su vez se subdividirán atendiendo a la formación o no de semillas y, entre las plantas que forman semillas, se hace la división en función de la formación o no de un fruto que contiene a la/s semillas.

PLANTAS	<p>PLANTAS NO VASCULARES</p> <p>Sin tejidos conductores</p>	<p>BRIOFITAS</p> <p>Dependientes del agua. La fase dominante es el gametofito. <i>Falsos tallo (cauloide), hojas (filoides) y raíz (rizoide).</i></p>	MUSGOS		
			HEPÁTICAS		
	<p>PLANTAS VASCULARES</p> <p>Con tejidos conductores</p>	<p>PTERIDOFITAS</p> <p>No forman flores ni semillas. El gametofito se reduce y es independiente del esporofito. Forman <i>frondes</i> y poseen un <i>rizoma</i> subterráneo.</p>	EQUISETOS		
			HELECHOS		
		<p>ESPERMATOFITAS</p> <p>Poseen flores y forman semillas. Estructura como bien desarrollada</p>	<p>GIMNOSPERMAS</p> <p>Flores poco vistosas y reunidas en <i>conos</i>. No forman frutos.</p>		
			<p>ANGIOSPERMAS</p> <p>Flores a veces llamativas, unisexuales o hermafroditas. El ovario de la flor forma un fruto que contiene las semillas y contribuye a su dispersión.</p>	MONOCOTILEDÓNEAS	
		DICOTILEDÓNEAS			

4.11. Clasificación de los animales

Los animales son organismos eucariotas pluricelulares (metazoos) con nutrición heterótrofa y que carecen de plastos y pared celular. Acumulan glucógeno como sustancia de reserva.

Es característica de los animales su capacidad de desplazamiento, al menos en alguna etapa de su ciclo vital. En consonancia con ello, suelen mostrar desarrollo de tejidos y órganos **sensoriales** y nerviosos muy especializados.

Mientras que las plantas viven fijas al sustrato y absorben los nutrientes del aire (o agua) y del suelo, los animales presentan una extraordinaria variedad de formas de alimentación tanto por el tipo u origen del alimento como por la forma de capturarlo.

Todos se reproducen **sexualmente**, aunque algunos exclusivamente por partenogénesis. El desarrollo embrionario responde a diferentes modelos y es uno de los criterios utilizados en su clasificación.

La clasificación se realiza atendiendo a caracteres como:

- Desarrollo y diferenciación de tejidos y órganos. Sólo los poríferos carecen de verdaderos tejidos pero, a diferencia de los protozoos coloniales, sí poseen células diferenciadas.
- Simetría corporal, que puede ser **radial**, como en los cnidarios o en los equinodermos (en estos es secundaria) o **bilateral**, en la mayoría.
- Número de capas embrionarias: **diblasticos**, si tienen dos capas, o **triblasticos**, si tienen tres.
- Presencia de una cavidad corporal o celoma. Hay animales **acelomados**, que carecen de tal cavidad, **pseudocelomados**, que desarrollan una cavidad incipiente, y **celomados**, que poseen una cavidad llena de líquido en que se alojan los órganos internos del animal.
- Destino del blastoporo, que puede dar lugar a la boca en los **protóstomos** o al ano en los **deuteróstomos**:

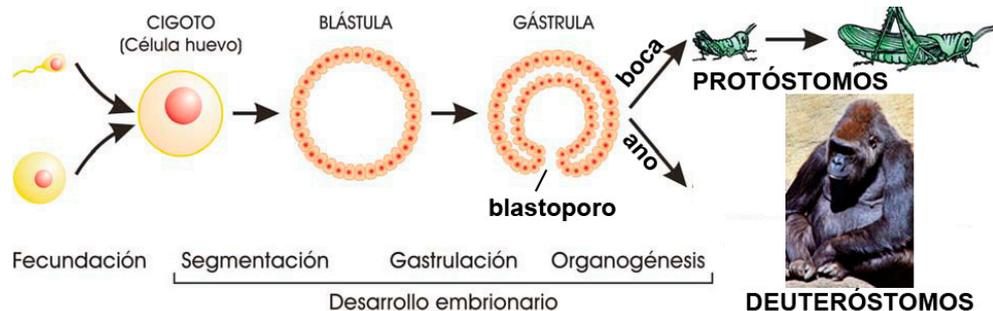
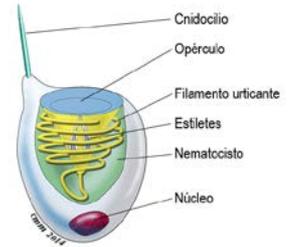


Figura 3.70. Desarrollo embrionario en protóstomos y deuteróstomos.

FILOS DE METAZOOS			
PORIFEROS	CNIDARIOS	PLATELMINTOS	NEMATODOS
 <p>By Albert Kok at nl.wikipedia [Public domain], from Wikimedia Commons</p>		 <p>"Pseudoceros dimidiatus" by Richard Ling - Flickr. CC BY-SA 2.0 via Wikimedia Commons</p>	 <p>"Ascaris lumbricoides" naudotojo CDC Division of Parasitic Diseases.</p>
<p>Se consideran parazoos porque no tienen tejidos desarrollados ni forman capas embrionarias.</p> <p>Exclusivamente acuáticos, la mayoría marinos, viven fijos al sustrato y son filtradores de partículas.</p> <p>Reproducción sexual y asexual.</p>	<p>Son eumetazoos con simetría radial y cuerpo en forma de saco que forman tejidos y poseen dos capas embrionarias (son diblásticos).</p> <p>En la epidermis hay unas células urticantes, los cnidocitos que utilizan para atrapar a sus presas.</p>  <p>El cuerpo tiene una única cavidad llamada gastrovascular que comunica con el exterior por una abertura única.</p> <p>Muestran dos formas básicas que pueden estar o no presentes en una misma especie:</p> <p>Medusa: forma nadadora de vida libre con forma de campana provista de tentáculos con cnidocitos.</p> <p>Pólipo: forma sésil fija al sustrato, solitaria (anémonas) o colonial (coral). También forman colonias flotantes.</p>	<p>Son acelomados, con simetría bilateral y triblásticos.</p> <p>Todos son animales vermiformes (con forma de "gusano") y cuerpo aplanado, acuáticos de vida libre o parásitos internos de otros animales de diferentes filos, incluido el ser humano.</p> <p>Muestran cefalización y poseen un sistema nervioso sencillo y órganos de los sentidos.</p> <p>Su reproducción es asexual y sexual, generalmente hermafroditas.</p> <p>Turbelarios o planarias: de vida libre.</p> <p>Trematodos: son parásitos, como las <i>duelas</i> del hígado que parasitan vertebrados.</p> <p>Monogeneos: todos parásitos, en general de los peces.</p> <p>Cestodos: son parásitos intestinales en forma de cinta, como las conocidas tenias.</p>	<p>Pseudocelomados triblásticos con simetría bilateral, aspecto vermiforme y cuerpo cilíndrico.</p> <p>Hay nematodos de vida libre y otros parásitos internos, tanto de otros animales como de las plantas. Algunos ocasionan graves parasitosis en las personas, como las lombrices intestinales, triquina y filarias.</p>

FILOS DE METAZOOS			
MOLUSCOS	ANÉLIDOS	ARTRÓPODOS	EQUINODERMOS
 <p>By HombreDHojalata Spain [CC BY-SA 2.0]</p>	 <p>By Rob Hille (Own work) [CC BY-SA 3.0]</p>	 <p>cmm</p>	 <p>cmm</p>
<p>Celomados, triblásticos, con simetría bilateral (que en los gasterópodos sufre una torsión helicoidal). El cuerpo consta de tres regiones: una cabeza con receptores sensoriales, un pie musculoso, dedicado a la locomoción, y la masa visceral con los órganos internos. La pared del cuerpo además forma una expansión o manto que encierra una cavidad del manto donde se hallan las branquias en los acuáticos y puede secretar una concha calcárea. También hay algunos terrestres. Se reproducen sexualmente y algunos son hermafroditas funcionales. Los más conocidos son:</p> <p>Gasterópodos: caracoles terrestres, dulceacuícolas y marinos. Concha de una pieza arrollada en espiral.</p> <p>Cefalópodos: son los calamares y pulpos, que carecen de concha o está muy reducida.</p> <p>Pelecípodos: o bivalvos, son los mejillones, berberechos, almejas, vieiras, con concha de dos piezas.</p> <p>Otras clases: monoplacóforos, poliplacóforos, escafópodos.</p>	<p>Celomados, triblásticos con simetría bilateral y cuerpo cilíndrico dividido en anillos o metámeros que repiten estructuras y órganos internos. Carecen de apéndices pero pueden tener expansiones provistas de fibras quitinosas (quetas o sedas). Tienen reproducción tanto asexual como sexual. Hay formas de vida libre, depredadores, filtradores y detritívoros, y especies parásitas. Comprenden:</p> <p>Oligoquetos: con pocas quetas y cortas. Son las lombrices de tierra y de agua dulce.</p> <p>Poliquetos: presentan numerosas quetas en expansiones o parapodos. Son marinos.</p> <p>Hirudíneos: carecen de quetas. Tienen ventosas. La mayoría de agua dulce y ectoparásitos (sanguijuelas). Algunos depredadores o parásitos facultativos.</p>	<p>Es el filo animal más diverso y con más éxito adaptativo. Son celomados, triblásticos con simetría bilateral. Cuerpo dividido en segmentos desiguales que se agrupan en regiones o tagmas. Deben el nombre a la presencia de apéndices articulados. Poseen un exoesqueleto quitinoso que exige su muda periódica para permitir que crezca el animal. Suelen presentar metamorfosis. El filo comprende dos subfilos y varias clases, entre las que destacan:</p> <p>Arácnidos: tienen dos tagmas y cuatro pares de apéndices. Carecen de mandíbulas y tienen quelíceros (arañas, ácaros, escorpiones).</p> <p>Crustáceos: mandibulados, con dos pares de antenas, dos tagmas y número variable de patas. Casi todos acuáticos (percebes, cangrejos, cigalas, gambas).</p> <p>Miriápodos: dos tagmas y gran número de patas (ciempiés y milpiés).</p> <p>Insectos: tres tagmas, cabeza, tórax y abdomen, y tres pares de patas y dos de alas en el tórax. Muy abundantes y diversos.</p>	<p>Triblásticos, celomados, en los adultos la simetría es radial. Tienen un esqueleto calcáreo a veces provisto de espinas y un sistema ambulacral exclusivo de este filo. Se desplazan mediante pies ambulacrales terminados en ventosas. Todos marinos. Comprende las clases:</p> <p>Equinoideos: erizos de mar. Cuerpo globoso, dotados de espinas.</p> <p>Asteroideos: estrellas de mar. Cuerpo aplanado con un disco central y brazos.</p> <p>Holoturoideos: pepinos de mar. Cuerpo alargado. Boca con tentáculos.</p> <p>Ofiuroideos (a): ofiuras. Similares a estrellas pero con disco muy diferenciado de los brazos, que son largos y delgados.</p> <p>Crinoideos (b): lirios de mar. Cuerpo en forma de copa con tentáculos. Fijos al sustrato.</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;">   </div>

a. CaRMS Photogallery / Fisheries and Oceans Canada, 2010. CC BY-NC-SA. b. By Preview_H [CC BY-SA 2.0], via Wikimedia Commons

FILO CORDADOS

Triblásticos y celomados con simetría bilateral y cuerpo segmentado. Algunas de sus características generales son:

- Poseen un eje dorsal o **notocorda** que deriva en la columna vertebral.
- Sobre la notocorda hay un **cordón nervioso** hueco en posición dorsal.
- Aparecen **hendiduras branquiales** al menos durante el desarrollo embrionario.
- El corazón es ventral.
- Tienen cola postanal que puede desaparecer en estado adulto.
- Reproducción sexual, en general con sexos separados y fecundación interna o externa.

Incluye: **Cefalocordados** ([anfioxo](#)), **Urocordados** ([ascidias](#)) y **Vertebrados** ([Agnatos](#) – lampreas y mixines–, [Condrictios](#) –*peces cartilaginosos*–, Osteíctios – *peces óseos*–, Anfibios, Reptiles, [Aves](#) y Mamíferos).

PECES	ANFIBIOS	REPTILES	AVES	MAMÍFEROS
				
cmm	Froggydarb CC-BY-SA-3.0	cmm	cmm	cmm
<p>En peces comúnmente se engloban animales agnatos, condrictios y osteíctios, de diferentes írupos.</p> <p>Son animales acuáticos de cuerpo fusiforme provisto de aletas, que tienen branquias, la mayoría con el cuerpo cubierto de escamas. Poiquiloterms.</p> <p>Los agnatos carecen de mandíbulas y muchos son parásitos de peces.</p> <p>Los condrictios son peces con esqueleto cartilaginoso: como tiburones y rayas, de gran éxito evolutivo.</p> <p>Los osteíctios son el resto de peces, con esqueleto osificado y escmas óseas.</p>	<p>Toman su nombre de la presencia de una fase larvaria acuática y adultos aéreos (no en todas las especies). La transformación puede suponer una metamorfosis.</p> <p>Tiene la piel desnuda y húmeda, que permite a muchos la respiración cutánea. Poiquiloterms.</p> <p>Están muy ligados a medios acuáticos, al menos durante la reproducción. La fecundación es externa.</p> <p>Anura: ranas y sapos. Carecen de cola.</p> <p>Urodelos: con cola. Salamandras y tritones.</p> <p>Gymnophiona: cecilias. Son vermiformes, sin patas, excavadores.</p>	<p>Vertebrados terrestres (algunos de vida acuática o anfibia) con la piel cubierta de escamas córneas (queratina).</p> <p>Son poiquiloterms. La mayoría carnívoros. Bien adaptados al medio aéreo: huevo con cáscara y tres cubiertas (amniota), los pulmones están bien desarrollados, piel impermeable, fecundación interna.</p> <p>Anapsida: tortugas.</p> <p>Lepidosauria: incluye al tuátara (Rynchocephalia) y los lagartos y serpientes (Squamata).</p> <p>Archosauria: cocodrilos (Crocodylomorpha) y <i>Dinosauria</i>.</p>	<p>Homeotermos, cuerpo cubierto de plumas y escamas, sin dientes (con un pico córneo), fecundación interna, ovíparos que incuban los huevos, que son amnióticos como en reptiles. Las extremidades anteriores están modificadas en forma de ala voladora, aunque no todas las aves vuelen. Esqueleto muy ligero, con huesos huecos y sacos aéreos.</p> <p>En realidad es un grupo de dinosaurios terópodos dentro de los Archosauria.</p>	<p>Homeotermos con el cuerpo cubierto de pelo, la mayoría vivíparos (algunos ovíparos) con huevo amniótico. Las hembras poseen glándulas mamarias con cuya secreción alimentan a las crías. La mayoría son terrestres, algunos se han adaptado a la vida en el agua en mayor o menor grado (cetáceos, pinnípedos, sirenios) y hay un orden de voladores activos: los quirópteros.</p> <p>Gran desarrollo de la corteza cerebral. Distribuidos por todo tipo de biomas.</p> <p>Proceden de reptiles terápsidos.</p>

5. Identificación mediante claves dicotómicas

Una vez organizada la enorme diversidad de seres vivos y establecidos los taxones que permiten su clasificación natural, los científicos se enfrentan al problema de identificar las nuevas especies de seres vivos que se van descubriendo, es decir *determinar a qué taxones pertenece esa especie nueva*, además de darle un nombre según el esquema linneano de género y especie.

La identificación de un organismo se hace observando sus características y comparándolas con las que comparten todos los seres vivos que forman parte de un mismo taxón. Para facilitar la tarea, se construyen **claves dicotómicas** que presentan parejas de características excluyentes planteando la posibilidad de elegir si el ejemplar problema la posee o no. De esta forma, la clave dirige la búsqueda hasta dar con el taxón al que pertenece. El nivel más detallado nos llevará hasta la especie. Por ejemplo, veamos la sencilla clave de las especies comunes de pinos que podemos encontrar en la península, naturales o cultivados:



Usar la clave

Cada vez debes elegir una opción de las indicadas con el mismo número.

- | | |
|--|--------------------------|
| 1. Acículas agrupadas en fascículos de 3 acículas | 2 |
| 2. Piñas muy asimétricas. Con frecuencia las piñas aparecen agrupadas en verticilos de hasta 5. Son grandes, de 7 a 14 cm de largo por 5 a 8 cm de ancho, y suelen permanecer en el árbol. Corteza de color pardo oscuro, muy agrietada con surcos en forma de V. Las acículas tienen de 8 a 15 cm de largo y hasta 2 mm de ancho (pino de Monterrey, pino insigne)..... | <i>Pinus radiata</i> |
| 2. Piñas simétricas y muy grandes, de 10 a 20 cm de largo por 5 de ancho, subcilíndricas. Las acículas son muy largas, de 20 a 30 cm, y finas, colgantes (pino canario) | <i>Pinus canariensis</i> |
| 1. Acículas agrupadas en fascículos de 2 acículas | 3 |
| 3. Acículas cortas, de menos de 6 cm de longitud | 4 |
| 4. Acículas finas, de 1 a 2 mm de ancho por 3 a 6 cm de largo, de color verde oscuro-azulado en los adultos. Las acículas tienen la punta rígida y punzante. Ramillas frágiles. Piña pequeña, de 3 a 8 cm de largo por 2 ó 3 de ancho. Tronco de color rosado o asalmonado en su parte superior, donde la corteza se descama en láminas finas como papel (pino albar) | <i>Pinus sylvestris</i> |
| 4. Acículas gruesas y no pinchudas. Las ramillas resistentes, no se rompen fácilmente. Apófisis de la piña en forma de gancho (pino negro) | <i>Pinus uncinata</i> |
| 3. Acículas de más de 6 cm de longitud | 5 |
| 5. Acículas muy delgadas, de anchura inferior a 1 mm y de 6 a 12 cm de longitud, muy flexibles, de color verde claro. Ramillas de color gris-claro, ceniciento o plateado. Las piñas tienen un corto pedúnculo claramente curvado, son de color pardo, persisten mucho tiempo en el árbol y son numerosas (pino carrasco)..... | <i>Pinus halepensis</i> |
| 5. Acículas de anchura mayor de 1 mm. Las piñas son sentadas o subsentadas y caedizas | 6 |
| 6. Acículas de color claro, verde intenso, y 10 a 20 cm de longitud por 1,5 a 2 mm de ancho. La piña es globosa, de 14 a 18 cm de largo por 7 a 10 de ancho, con escamas de forma pentagonal o hexagonal. La semilla, comestible y muy apreciada, es grande, tiene un ala muy estrecha que se cae enseguida. La parte inferior del tronco suele presentar placas de color pardo rojizo a rojo-ladrillo (pino piñonero) | <i>Pinus pinea</i> |
| 6. Acículas de color oscuro. Piña cónica. Tronco gris o negruzco. La semilla tiene un ala bien desarrollada | 7 |
| 7. Acículas de longitud media, de 8 a 15 cm por 1 a 1,5 mm de ancho y algo pinchudas. Piña pequeña, de 6 a 8 cm de largo por 3 a 4 cm de ancho, con escamas romboidales. Tronco gris (pino salgareño, laricio) | <i>Pinus nigra</i> |
| 7. Acículas muy largas, de hasta 27 cm, de punta rígida y pinchuda. La piña es grande, de 8 a 22 cm, con forma cónica alargada y apófisis romboidales de ombligo punzante. Tronco de color negruzco (pino negral, marítimo, rodeno) | <i>Pinus pinaster</i> |

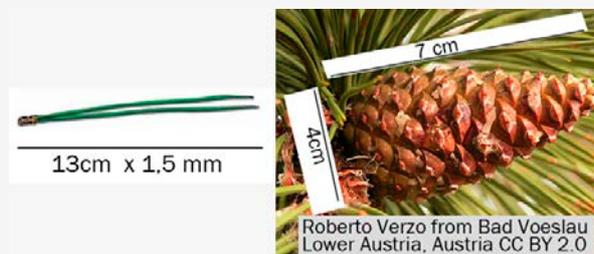
Resumen

- Biodiversidad es la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otros, los de los ecosistemas terrestres y acuáticos, así como los complejos ecológicos de los que forman parte.
- La biodiversidad puede ser genética, específica y ecológica.
- Se origina como consecuencia del proceso evolutivo: la transformación gradual y progresiva, a lo largo de extensos períodos de tiempo, de las especies de seres vivos.
- El hecho evolutivo se intenta explicar mediante las teorías evolucionistas.
- El evolucionismo actual se basa en la teoría de la evolución por selección natural de Darwin, a la que se han añadido los avances en Genética molecular y la Genética de poblaciones.
- Los seres vivos se adaptan a las condiciones del medio y se distribuyen en función de esas condiciones en diferentes ambientes.
- Las regiones definidas por sus condiciones climáticas, vegetación y fauna se llaman biomas.
- La separación ocasionada por la distribución de continentes y océanos determina una historia evolutiva común de los organismos que habitan reinos biogeográficos o ecozonas.
- La biodiversidad tiene importancia ecológica, científica y económica.
- Pero está amenazada por destrucción de hábitats, fragmentación de hábitats, introducción de especies, sobreexplotación y contaminación.
- La gran variedad de seres vivos que pueblan la Tierra hace necesario clasificarlos.



ACTIVIDADES

19. En un paseo por el campo has fotografiado una piña y recogido unas acículas al pie de un pino como muestran las imágenes siguientes. El pino tenía el tronco de color gris. Determina a qué especie pertenece utilizando la clave de la página 187.



20. Utilizando los cuadros del apartado 4.11. determina a qué tipo de animal corresponde la siguiente descripción: “animal marino bentónico, celomado, con simetría bilateral, presenta una clara segmentación del cuerpo. Cada anillo posee un par de expansiones laterales provistas de fibras quitinosas. Tiene un extremo cefálico con ojos rudimentarios”.
21. ¿Todos los crustáceos son acuáticos? ¿Hay insectos marinos? Compara ambos casos.

Solucionario

1. El transformismo lamarckista propondría que la adquisición de esa coloración ventajosa es consecuencia de la tendencia de los seres vivos hacia la perfección ya que les permite sobrevivir al no ser atacados por sus depredadores y transmitirían esa característica a la descendencia. Según el darwinismo tradicional sería debido a la selección natural de los individuos cuya coloración, dentro del rango de variación de colores en la población, pudiera ser más fácilmente recordada por un depredador, es decir colores contrastados como las combinaciones rojo y negro o amarillo y negro; un depredador, ante la duda, no atacará a una presa que le recuerde un desagradable encuentro anterior con una avispa. Al no ser comidos, esos individuos se reproducirán más y dejarán más descendencia portadora de esa característica. Según el neodarwinismo, la aparición de un patrón de color semejante puede ser ocasionada por una mutación en los genes responsables de ese rasgo. Puesto que confiere mayor eficacia biológica, la frecuencia del alelo o alelos responsables se irá incrementando en la población generación tras generación.
2. La explicación es similar a la de la pregunta anterior, aunque en este caso la ventaja no deriva de la peligrosidad del animal sino de que el depredador haya tenido un encuentro anterior con una avispa verdadera y recuerde el llamativo patrón de color asociándolo a un animal peligroso. Al igual que en las avispas, en la población de otros insectos pueden aparecer variantes con esos patrones de color contrastados y ser seleccionados positivamente gracias al parecido con avispas (coleópteros como *Plagionotus* o *Trichius*, lepidópteros como *Sesia apiformis*, numerosas moscas de la familia Sírfidos y muchos otros). En cambio, para las avispas verdaderas es una desventaja porque si el depredador ha atacado antes a algún insecto inofensivo, no asociará el color al peligro y, en algún momento, atacará a alguna avispa.
3. La cantidad de alimento que pueden conseguir los padres cada día es limitada, y si tienen muchas crías tocarán a menos comida por cabeza y crecerán débiles o morirán. Por esta razón, tener un elevado número de polluelos disminuye en realidad la eficacia biológica de los progenitores –recuérdese que la eficacia biológica es la capacidad para tener hijos que, a su vez, puedan tener más hijos; pero para ello han de llegar previamente al estado adulto–. Establecida esta premisa, es obvio que la mayor eficacia biológica corresponderá a las aves que tengan el mayor número posible de polluelos que sean capaces de mantener. Por lo tanto, las aves que ponen dos o tres huevos tendrán una eficacia biológica superior a las que ponen uno.
4. **a)** Todo depende del "problema" que el entorno plantee a la población, porque la aptitud es precisamente la solución a dicho problema. Si el agua sufre una fuerte contaminación, de manera que poseer las enzimas capaces de transformar el contaminante en un pigmento supone la diferencia entre la vida y la muerte, indudablemente serán seleccionados los peces de colores; pero si la contaminación es débil o no existe y a cambio abundan los depredadores, serán seleccionados los que pasen desapercibidos.
b) Si no hay depredadores ni contaminación fuerte, entonces los peces de colores serán los únicos que podrán reproducirse, luego serán seleccionados; en caso de que existan depredadores en abundancia no parece posible que esto ocurra (es mejor aparearse con un individuo poco atractivo que no hacerlo con ninguno porque a los deseables se los han comido).
c) De nuevo nos encontramos con que se ha de llegar a un "compromiso" entre fuerzas selectivas de distinto signo.

Si la cantidad de alimento disponible es escasa, de modo que la inanición es el problema más acuciante que se le plantea a la población, entonces, aunque los demás factores favorezcan la selección de peces de colores, probablemente éstos morirán de hambre, luego difícilmente podrán reproducirse.

d) Una vez más, todo depende. Indudablemente las hembras de colores producirán más huevos y, si la población no tiene ningún otro problema, predominarán sus descendientes. Pero si aunque tengan muchos hijos a la mayoría de ellos se los comen los depredadores, o se mueren de hambre... Por otra parte, sus hijos serán los preferidos para reproducirse y, además, no sufrirán los efectos de la contaminación.

Está claro que la selección natural no actúa en una dirección preferida, sino que puede cambiar de rumbo a medida que lo hagan las circunstancias ambientales. Tampoco, por lo general, se selecciona un único rasgo (aumento de la tasa de puesta de huevos, defensa frente a contaminantes, camuflaje...); es la totalidad del organismo la que ha de superar la prueba.

5. Esa expresión no es correcta, lo que ocurre es que han desarrollado resistencia a nivel de población, no de individuos. Cada individuo es más o menos sensible al efecto del insecticida y eso no lo puede cambiar. Pero el contacto continuado con el insecticida hace que los individuos más resistentes, sean seleccionados. El insecticida se convierte en un factor de presión ambiental que "dirige" la tendencia evolutiva de esa población. Los más resistentes dejarán más descendencia y la característica se irá generalizando en la población hasta el punto que el producto deja de ser eficaz.
6. El texto de Rousseau muestra un enfoque claramente lamarckista ya que propone la adquisición o desarrollo de características ventajosas por adaptación **del individuo** a las exigencias del medio mediante el entrenamiento y la transmisión de dichas características a sus hijos, es decir la herencia de caracteres adquiridos.
7. Se explica por el aislamiento de las poblaciones isleñas respecto a las continentales. Las especies que colonizan una isla o un archipiélago o bien que quedan aisladas si se separan de la masa continental evolucionan independientemente de la población original, bajo diferentes condiciones, y sufrirán un proceso de especiación. Si se trata de islas de nueva formación, como las volcánicas, las especies colonizadoras se enfrentarán a todo un amplio abanico de nuevos ambientes y nichos ecológicos sin explotar que provocará una rápida radiación adaptativa. Por último, hay que tener en cuenta el efecto fundador. Se llama así al efecto que tiene la formación de una nueva población partiendo de un pequeño número de individuos (los colonizadores de la isla) que son sólo una muestra reducida de la variabilidad genética de la población original, de modo que la nueva población parte de una configuración genética diferente. Y además hay que considerar que entre esos pocos individuos, alguno puede ser portador de un alelo que de lugar a una característica muy particular o provoque determinada anomalía, que ahora se hará muy frecuente en la población (Repasa los mecanismos de especiación en la página 138).
8. La coloración críptica es una adaptación a la vez morfológica y conductual que se desarrolla evolutivamente gracias a que los depredadores atacarán con más frecuencia a los individuos más visibles sobre el sustrato en el que reposen (véase la explicación en la página 145 y la figura 3.18) de modo que aquellos cuyo color se confunde con el fondo serán seleccionados positivamente y se reproducirán dejando descendencia portadora de ese carácter.
9. Un reino biogeográfico comprende una gran extensión territorial, de ámbito continental, por lo que dentro de él encontraremos diversos biomas al variar las condiciones climáticas dentro del territorio del reino. Así, el reino paleártico engloba biomas variados: desiertos polares, tundra, taiga, bosques templados, bosque mediterráneo, pradera, desiertos.

- 10.** Entre los reinos Paleártico y Paleotropical la barrera viene representada por los grandes desiertos africanos y de Arabia. Entre Paleártico e Indomalayo por los relieves de las cordilleras de Himalaya y Karakorum. Y entre Paleártico y Neártico es la presencia del océano Atlántico.
- 11.** Aunque de extensión inferior al reino (cuestión 9), una región biogeográfica también puede contener diferentes biomas. Los biomas están definidos por sus condiciones climáticas, no por su historia evolutiva como la región, por lo que dentro de la misma región se pueden encontrar biomas diferentes. En la región mediterránea de la península ibérica podemos encontrar el bosque mediterráneo y sus variaciones (maquia, garriga, dehesa) pero también hay matorral árido en el sureste y bosques de coníferas en las áreas montañosas, por ejemplo.
- 12.** Un endemismo se refiere a la distribución muy restringida geográficamente de un determinado taxón. Con frecuencia se aplica a una especie, indicando que sólo se encuentra en un área concreta, aunque la extensión referida puede ser muy variada. Podemos decir que una especie es endémica de una isla (como el lagarto gigante de la isla del Hierro), o de una zona más amplia como la península ibérica (el lince ibérico es endémico de la península) o como un continente entero (como muchos de los grandes mamíferos de África). La riqueza en endemismos de la península ibérica se debe a su situación geográfica (entre Europa y África y entre Atlántico y Mediterráneo) que ha permitido (y permite) los flujos migratorios a través de su territorio y también a lo variado de su relieve, junto con la orientación este-oeste de la mayoría de las cadenas montañosas. Tras la última glaciación, las especies adaptadas al clima frío se fueron desplazando hacia el norte pero dejaron tras de sí poblaciones aisladas en las cumbres montañosas que no podían colonizar las zonas bajas, cálidas y secas, y que evolucionaron aisladamente hacia nuevas especies.
- 13. a)** La especie A tiene unos límites de tolerancia frente a la temperatura mucho más restringidos que la especie B, independientemente de que sus temperaturas óptimas (temperatura a la que se da la máxima tasa de supervivencia) sean diferentes: unos 16,2 °C y unos 17,3 °C, respectivamente.
- b)** Se denomina estenoica (en este caso concreto diremos estenoterma) a la especie con un rango de tolerancia más estrecho, es decir la especie A. En cambio, la especie B diremos que es la eurioica (euriterma).
- c)** Si la temperatura del agua varía en la laguna, la especie euriterma B lo soportará mejor ya que algunos individuos podrán sobrevivir a temperaturas más alejadas de su óptimo.
- 14.** El fitoplancton está formado por la comunidad de organismos fotoautótrofos flotantes que ocupan la capa más superficial del océano donde hay buena iluminación, que es imprescindible para la fotosíntesis.
- 15.** De algunas especies de este género (*Digitalis purpurea*, *D. lanata*) se obtiene digitalina: Alcaloide glucósido que se extrae de la planta del mismo nombre (*Digitalis purpurea* o *Digitalis lanata*) y que posee propiedades cardiotónicas. Está especialmente indicada para la insuficiencia cardíaca y las arritmias auriculares, sobre todo la fibrilación auricular rápida. La intoxicación puede producir delirios, convulsiones, trastornos respiratorios, fibrilación ventricular y, finalmente, la muerte.
- 16. a.** Las especies invasoras ejercen múltiples efectos negativos sobre los ecosistemas en que son introducidas. El calificativo *invasoras* hace referencia a su capacidad de colonización de hábitats a expensas de las especies autóctonas por su *agresividad ecológica*, debida a la mayor competitividad o eficacia en la explotación de un nicho ecológico, desplazando a las especies nativas. Además de desplazar a especies que utilicen los mismos o parecidos recursos, las invasoras pueden transmitir enfermedades infecciosas o parasitarias frente a las que las especies autóctonas carecen de memoria

inmunitaria, enfermedades que pueden incluso llegar a afectar al ser humano, incrementar la presión de depredación sobre otras especies, sus crías o huevos, hibridar con especies o subespecies autóctonas emparentadas modificando el acervo genético o propagando ciertos genes o anomalías genéticas, modificar las condiciones de los hábitats alterando ecosistemas enteros, causan daños a la agricultura, caza y pesca, industria energética, infraestructuras, turismo...

b. Entre las medidas que se pueden plantear para reducir el problema de introducción de especies invasoras podemos mencionar: la estricta regulación del comercio y tenencia de especies exóticas como mascotas o especies de jardinería (el abandono, liberación intencionada y escape es una causa de introducción de especies), control del transporte de mercancías (como la introducción de mosquitos en agua retenida en algunas mercancías, la llegada del picudo rojo en palmeras importadas), del agua usada como lastre en barcos, prohibición de la introducción, reintroducción o repoblación con fines pesqueros o cinegéticos (como la introducción del arruí o del pez gato) y de la cría en granjas (escape de visones americanos de granjas peleteras), erradicación de especies introducidas, creación de organismos de control y formación de personal en el control de todas las actividades relacionadas con la posibilidad de llegada de especies foráneas a los ecosistemas autóctonos, como las mencionadas más arriba y fomento de las campañas educativas y de concienciación de la población en la problemática y perjuicios que ocasiona la introducción de especies exóticas.

17. La respuesta está en la solución a la actividad número 16.

18. Las cinco categorías en que podemos agrupar las causas de amenaza y pérdida de biodiversidad son: sobreexplotación, introducción de especies foráneas, destrucción de hábitats, fragmentación de hábitats y contaminación.

19. Se trata del pino laricio o *Pinus nigra*.

20. Es un anélido poliqueto.

21. No todos los crustáceos son acuáticos, los hay terrestres como algunos isópodos oniscídeos (la *cochinilla de humedad*). Sin embargo, éstos son minoría: unas 3.000 especies de las casi 70.000 especies de crustáceos conocidos, que son mayoritariamente acuáticos y casi todos marinos. En el caso de los insectos ocurre al revés: de entre más de un millón de especies conocidas algunas han colonizado el medio acuático desde el aéreo pero casi todas son de agua dulce. Apenas unas pocas especies o sus larvas habitan ambientes ligados al agua salada o sus proximidades, como ciertas larvas de moscas y otros que viven enterrados en la arena de la playa y soportan cortos períodos de inundación. Tan solo *Halobates*, un zapatero, se adentra en el océano abierto, pero lo hace *sobre la superficie* de agua deslizándose sobre sus patas, no se introduce en el medio acuático.

Glosario

Bentónico Que ocupa o forma parte del **bentos**, la superficie y cierto espesor de los sedimentos del fondo de un cuerpo de agua.

Bulbo Órgano de reserva vegetal formado por el engrosamiento de la base de hojas (cebolla).

Coevolución Adaptación evolutiva mutua entre dos o más especies por influencia recíproca.

Colombófilo Criador o adiestrador de palomas (del latín *columba*).

Comunidad o **biocenosis** es el conjunto de poblaciones de todas las especies que conviven en un ecosistema determinado.

Enquistamiento Desarrollo de una forma de resistencia o **quiste** en que el organismo permanece en reposo o animación suspendida ante condiciones desfavorables del medio.

Factor limitante Factor ecológico que *limita* el crecimiento de una población.

Filo o también **phylum** o **filum** es una categoría taxonómica situada entre reino y clase, por ejemplo el filo Cordados pertenece al reino Animales (Metazoa) y engloba clases como los Mamíferos, Aves, Reptiles, Anfibios.

Filogenético Relativo a la **filogenia** o relación de parentesco **evolutivo** entre especies o taxones de otro nivel.

Manglar Formación vegetal arbórea tolerante a la sal que ocupa la zona intermareal en zonas tropicales y de gran riqueza en biodiversidad.

Necton Es el conjunto de organismos que se desplazan en aguas libres por natación activa (no flotantes, ni en suspensión), como la mayoría de los peces.

Ósmosis Es el movimiento de un disolvente a través de una membrana semipermeable que separa dos disoluciones con diferente concentración salina. Es un tipo de difusión simple en que el disolvente (agua por ejemplo) pasa de la disolución menos concentrada hacia la más concentrada.

Osmótico Relativo a la ósmosis.

Plancton Conjunto de organismos, mayoritariamente microscópicos, que viven flotando en las capas superficiales de las masas de agua dulce o marina.

Rizoma Tallo subterráneo que crece horizontalmente en el suelo y que posee yemas que forman raíces y tallos aéreos. También actúa como órgano de reserva de la planta.

Taxón Grupo de organismos emparentados. En la clasificación linneana tiene además significado jerárquico: hay taxones de diferentes niveles, como la especie, género, familia, orden, clase, filum.

Tetrápodo Vertebrado con cuatro extremidades locomotoras, aunque puedan desaparecer secundariamente (serpientes, cetáceos) o se transformen (alas en aves). Comprende a anfibios, reptiles, aves y mamíferos.

Trófico (del griego *τρέφωιν*, alimentar) Se aplica a los componentes que intervienen en los flujos de materia y energía en los ecosistemas: nivel trófico, cadena trófica, red trófica.

Valencia ecológica Es el intervalo de tolerancia de una especie en relación con un factor del medio (agua, luz, temperatura, pH, salinidad, concentración de un elemento químico) que actúa como **factor limitante**.

Zureo Sonido de arrullo que emiten las palomas.

Aviso legal

Esta unidad utiliza parcialmente contenidos del libro de Biología y Geología para 1º de Bachillerato a distancia (NIPO: 030-13-196-3).

Adaptación: César Martínez Martínez
Asesor Técnico Docente Biología y Geología. CIDEAD, 2015.

La utilización de recursos de terceros se ha realizado respetando las licencias de distribución que son de aplicación, acogiéndonos igualmente a los artículos 32.3 y 32.4 de la Ley 21/2014 por la que se modifica el Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual. Si en algún momento existiera en los materiales algún elemento cuya utilización y difusión no estuviera permitida en los términos que aquí se hace, es debido a un error, omisión o cambio de licencia original.

Si el usuario detectara algún elemento en esta situación podrá comunicarlo al CIDEAD para que tal circunstancia sea corregida de manera inmediata.

En estos materiales se facilitan enlaces a páginas externas sobre las que el CIDEAD no tiene control alguno, y respecto de las cuales declinamos toda responsabilidad.



DIRECCIÓN GENERAL DE
FORMACIÓN PROFESIONAL

