





Introducción: el estudio de la biología en la actualidad


¿Por qué las aves insectívoras de las zonas templadas migran en otoño a regiones subtropicales o tropicales? ¿Por qué los monos araña sólo habitan en el Nuevo Mundo? ¿Por qué algunas plantas pueden vivir en el desierto y otras no?

Si analizamos en detalle los diferentes aspectos involucrados en estos interrogantes, podremos reconocer la diversidad de factores que intervienen en los fenómenos que atañen al mundo vivo: grupos de organismos, clima, regiones, estaciones, etc.

Cuando un biólogo trata de responder interrogantes como los iniciales, suele recurrir a una pluralidad de hipótesis con el fin de aproximarse a una explicación. Ello se debe a que, en general, es muy poco frecuente identificar un único tipo de causa que sea claramente responsable del fenómeno biológico estudiado. Incluso en muchos casos, no es posible determinar *con certeza* qué tipo de causas o combinación de factores causales están involucradas en el fenómeno en cuestión.

Ello se vincula con el hecho de que el objeto de estudio de la biología es diverso y complejo, lo cual no significa “inabordable” o “incomprensible”. La complejidad mencionada requiere reconocer y caracterizar los diferentes procesos y patrones biológicos que operan en distintas escalas de espacio y de tiempo. Este reconocimiento permite acercarse al mundo biológico desde una multiplicidad de miradas.

Al mismo tiempo, la actual problemática de la biología plantea la necesidad de una reflexión crítica acerca de la naturaleza de la ciencia. Con el objeto de comprender los procesos de construcción del conocimiento científico y los contextos sociales y culturales en que los diferentes modelos se han producido, se hace necesario referirse continuamente tanto a los aspectos históricos, a la relación ciencia-sociedad, así como a los procedimientos y a los valores involucrados, enfatizando los temas controversiales, señalando las preguntas abiertas y rescatando el pensamiento divergente.

Iniciaremos esta Introducción con una caracterización del estado de la disciplina. Ello supone definir sus principales alcances y limitaciones, identificar las preguntas abiertas y reconocer los principales desafíos planteados en el campo de la biología contemporánea ( fig. I-1).

El Nautilus presenta un caparazón tabicado internamente lo que le facilita la flotabilidad y los desplazamientos en el agua. Es el único sobreviviente de un grupo de cefalópodos muy extendido en el pasado.

Multiplicidad de enfoques

Para tratar de comprender acabadamente los procesos biológicos es de gran utilidad trabajar en forma simultánea con distintos tipos de explicaciones. Para cada fenómeno biológico que se desea interpretar, existen diversas descripciones legítimas posibles; todo de-



Fig. I-1. EL OBJETO DE ESTUDIO DE LA BIOLOGÍA SE CARACTERIZA POR SU DIVERSIDAD Y COMPLEJIDAD.

pende de los fines de la interpretación y del marco en que se realice la pregunta inicial. Como vimos, en los sistemas vivos, las causas de un fenómeno determinado en general son múltiples y se pueden analizar en distintos niveles, partiendo de diferentes marcos de interpretación. A su vez, cualquier fenómeno biológico posee una gran riqueza de interconexiones con otros fenómenos de la misma naturaleza o incluso de una naturaleza aparentemente diferente.

Las unidades de estudio

El mundo material constituye una unidad pero nos acercamos a él desde una diversidad de concepciones y de enfoques epistemológicos (👁️ fig. I-2).

Una selva tropical se puede estudiar de diferentes maneras. El estudio puede enfocarse en el análisis de las relaciones de las plantas con el tipo específico de suelo, en la caracterización de los recursos que pueden utilizarse en forma sustentable, en el tipo de insectos que en ella habitan, en la estructura o en la dinámica del ecosistema en su totalidad.

En los sistemas biológicos, como en otros sistemas complejos, debido a la multiplicidad de conexiones, la delimitación de las unidades de estudio sólo se puede hacer una vez definido apropiadamente el "todo".

Aun conociendo el todo, en ciertos casos es posible separar las partes y otras veces, no. Se podría decir que no existen reglas universales para segmentar el objeto de estudio del mundo vivo, sino que és-

tas deben definirse de acuerdo con el contexto y el tipo de problema que se desea indagar.

Las narraciones históricas

Cuando un biólogo trata de responder una pregunta acerca de un fenómeno particular, por ejemplo, "*¿Por qué los monos araña sólo habitan en el Nuevo Mundo?*", no se basa en leyes universales. El investigador en biología necesita estudiar todos los datos conocidos relacionados con el tema en cuestión (por ejemplo, puede incorporar en su análisis datos referidos a la biología de la especie, hipótesis de parentesco provenientes de los árboles filogenéticos, información acerca de la distribución geográfica presente y pasada de los monos, correlaciones de estos datos con los eventos de deriva continental o con cambios en las condiciones ambientales, etc.). A partir de hipótesis generales sobre las vinculaciones entre los posibles factores involucrados, el análisis de la información puede permitir la inferencia de una diversidad de relaciones. Cuanto más complejo es el sistema en estudio, más interacciones comprende. Estas interacciones no se pueden identificar por simple observación, sino que, en la mayor parte de los casos, sólo se pueden inferir en forma deductiva, es decir, mediante el análisis de los casos particulares a partir de ciertas hipótesis generales.

Luego, el biólogo intenta elaborar un *argumento* que explique el fenómeno. En síntesis, elabora una *narración histórica*. El biólogo Ernst Mayr (1904-2005) sostenía que el enfoque histórico-narrativo es el más adecuado, científica y filosóficamente, para referirse a fenómenos



Fig. I-2. LA SELVA TROPICAL. Éste es un ejemplo de objeto de estudio que puede considerarse como un "todo". Sin embargo, varios componentes de la selva pueden constituir en sí un todo por estudiar, como la comunidad de plantas o –en otro nivel– las enredaderas, las lianas o los árboles.

únicos, como es el caso de gran parte de los procesos y sistemas en biología.

Generalmente, la naturaleza de las inferencias deductivas depende de la formación, del marco teórico y de la experiencia previos del científico; por lo tanto, en la explicación de un mismo fenómeno pueden competir varias narraciones alternativas que, en algunos casos, dan lugar a controversias. La mayoría de las veces no se puede afirmar taxativamente cuál es la explicación más adecuada ya que toda narración es susceptible de refutación y no es posible demostrar en forma categórica que una narración histórica sea verdadera (👁️ fig. I-3).

Un hilo conductor

Se ha estimado que en la biosfera actual conviven más de diez millones de especies. Además de esta vasta diversidad, el mundo biológico comprende diferentes niveles de organización (véase cap. 1, Las características de los seres vivos): células, tejidos, órganos, poblaciones, especies, ecosistemas. Sabemos también que en los niveles de organización de mayor complejidad emergen nuevas propiedades que no están presentes en los niveles inferiores.

Hemos visto que debido a ello, para aproximarnos al conocimiento del mundo vivo, es necesario recurrir a distintos enfoques y modelos. En esta multiplicidad de abordajes fragmentados podemos encontrar, sin embargo, un hilo conductor: *la historia de la vida*. Todas las formas de vida comparten características básicas que ponen de mani-

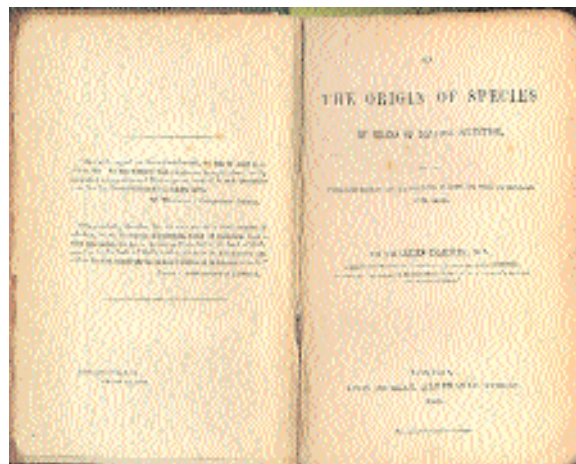


Fig. I-3. EL ORIGEN DE LAS ESPECIES. El 24 de noviembre de 1859 se publicó la primera edición de *El Origen de las Especies* y se agotó ese mismo día. En este libro, Darwin, a través de su larga argumentación como el mismo la llamó, expone la teoría de la descendencia con modificación por medio de la selección natural, que hoy conocemos como *Teoría de la Evolución*, valiéndose de narraciones históricas.

fiesto la existencia de un ancestro común. El eje temporal es el hilo conductor en la comprensión del mundo biológico.

Para abordar el estudio del mundo biológico debemos tener en cuenta que todo ser vivo es producto de una larga historia, de más de 3.800 millones de años. Toda estructura o función de un organismo sólo se puede comprender si se consideran los procesos que experimentó a lo largo del tiempo el linaje al que pertenece. Por ello, el objetivo principal de este libro es presentar y analizar las causas históricas de las características propias de los organismos. Partiendo de la extraordinaria diversidad de seres vivos y reconstruyendo las vías por las que se formaron, se pueden estudiar los procesos que operaron y operan sobre ellos.

Cuando vemos una flor delicada y de colores brillantes, de inmediato tendemos a suponer que cada característica de esa flor surgió con un propósito, "para" un fin determinado. Sin embargo, existen muchas variedades de flores que no son tan delicadas ni tienen colores tan brillantes, que a nuestros ojos parecen "imperfectas". Comprender los procesos que ocurren y ocurrieron durante millones de años y los mecanismos de adaptación es uno de los principales objetivos de este libro.

Al explorar la historia de la vida en la Tierra, el enfoque evolutivo constituye el marco fundamental de interpretación de fenómenos muy diversos.

En ese sentido, la mayoría de los biólogos contemporáneos coinciden con el genetista Theodosius Dobzhansky (1900-1975) en la idea de que "nada tiene sentido en biología si no es a la luz de la evolución". El enfoque evolutivo constituye en la actualidad el marco teórico de referencia para la producción de conocimientos de las más diversas especialidades de la biología. Así, la teoría evolutiva constituye el marco integrador y organizador de la biología contemporánea.

Ciencia-sociedad

En otras épocas, las ciencias, como las artes, se practicaban principalmente por el placer y la excitación que brindan, porque satisfacían la curiosidad. En este siglo, aunque persiste la curiosidad, la actividad científica está sujeta a normas más rígidas que se han ido construyendo a

medida que las sociedades científicas se constituyeron en instituciones modernas que regulan y evalúan la investigación. Al mismo tiempo, la dimensión actual del impacto económico, social y ambiental del conocimiento científico-tecnológico hace indispensable la reflexión sobre los rumbos y los objetivos de un saber científico que, lejos de ser neutral, involucra valores e intereses que se deben explicitar y analizar críticamente. La ciencia ha engendrado una miríada de resultados tecnológicos cuyo impacto es gigantesco: la bomba de hidrógeno, la vacuna contra la polio, los pesticidas, los plásticos indestructibles, las plantas de energía nuclear, los organismos modificados genéticamente. La ciencia como generadora de estos mismos resultados aparece inmensamente poderosa. Pero lejos de encandilarnos con sus potencialidades, es necesario comprender que en la actualidad estamos inmersos en diversas encrucijadas relacionadas con las aplicaciones de la ciencia y la tecnología, en cuya resolución debe participar el conjunto de la sociedad. Por ello es indispensable que la formación científica favorezca la participación consciente de todos los sectores involucrados en la toma de decisiones en este campo, considerando los contextos de producción y aplicación del conocimiento científico, las controversias y los actores involucrados. En este texto trataremos algunos de los problemas que se manifiestan en la actualidad.

En la elaboración de este texto, nuestra mayor preocupación ha sido proveer al lector del conocimiento necesario para comprender la información biológica que desde los laboratorios de investigación llega al público a través de textos de divulgación y de los medios de comunicación, en los que su presencia es creciente. Con esta herramienta, esperamos que pueda formular sus propios juicios de valor acerca de los problemas con los que nos enfrentamos y con los que nos enfrentaremos en el porvenir.


La naturaleza de la ciencia

Las ciencias biológicas, como las ciencias en general, son una manera de interpretar el mundo que nos rodea. Los científicos obtienen datos para responder una pregunta, para apoyar o rechazar una idea. Las preguntas y las ideas son el disparador de toda actividad científica.

Los datos biológicos se pueden generar por la observación sistemática, incluso con experimentos deliberados y planeados, de los cuales veremos muchos ejemplos a lo largo de este texto. También se pueden interpretar retrospectivamente, como cuando se reconsidera la determinación de un organismo y su asignación a cierto grupo taxonómico.

Las grandes contribuciones de la ciencia no son simplemente la adición de datos nuevos, sino la percepción de nuevas relaciones entre datos ya existentes; en otras palabras, implican el desarrollo de nuevas ideas. Las ideas de la ciencia se organizan en distintas categorías que, en orden creciente en cuanto a su alcance, se denominan *hipótesis*, teorías y principios o leyes.

En un comienzo se hallan el pálpito o la conjetura informada, que es la manera en que nace la mayoría de las hipótesis. Una aproximación intuitiva se transforma en una hipótesis —y por lo tanto, en una idea que se puede investigar científicamente— sólo cuando se expresa de modo tal que sea susceptible de ser puesta a prueba, aun cuando la prueba no pueda hacerse de inmediato. La puesta a prueba de una

hipótesis a menudo puede hacerse rápido pero, en algunos casos, sufre una larga demora. Por ejemplo, algunas hipótesis corrientes sobre las interacciones que determinan la estructura de las selvas tropicales no se pueden evaluar hasta que los biólogos que trabajan en el tema hayan reunido una gran cantidad de datos. Asimismo, hubo varias hipótesis respecto de la organización de la célula que no pudieron ponerse a prueba hasta que se fabricó el microscopio electrónico; los organismos más sencillos también se pudieron estudiar con más detalle sólo cuando se contó con instrumentos de observación de mayor precisión ( fig. I-4).


En algunos casos, una hipótesis puede someterse a prueba mediante ensayos experimentales sencillos. Por ejemplo, si se postula que una especie de planta es enana porque crece en una región de condiciones climáticas que le son desfavorables, y que no le permiten desarrollarse en todo su potencial, esta hipótesis se puede evaluar haciendo crecer la planta en distintas condiciones de humedad, temperatura, acceso a nutrientes, entre otros factores. Este tipo de prueba con frecuencia implica el diseño de un experimento controlado, en el cual dos grupos de organismos se exponen a condiciones idénticas en todos los aspectos posibles, excepto aquel que se está estudiando. A menudo, sin embargo, las pruebas más importantes de una hipótesis son indirectas.

Aunque una prueba clave obtenida en un experimento o mediante una observación puede demostrar que una hipótesis es falsa e indicar que debe ser modificada, ningún dato puede confirmar en forma definitiva que una hipótesis es verdadera, simplemente porque nunca podemos estar seguros de que hemos examinado toda la evidencia relevante.

Sin embargo, repetidas pruebas exitosas de una hipótesis constituyen una evidencia poderosa en su favor.

Cuando un científico ha reunido datos suficientes para validar una hipótesis, comunica los resultados a otros científicos; esta comunicación por lo general se realiza en un congreso científico o en una publicación científica especializada, como una revista o un libro. Si los datos son suficientemente interesantes o la hipótesis es suficientemente importante, otros investigadores repetirán las observaciones o los experimentos en el intento de confirmarla, negarla o ampliarla.

Cuando una hipótesis amplia y de importancia fundamental ha sobrevivido a un número de pruebas independientes, con un número suficiente de datos, recibe el nombre de *teoría*. Así, en ciencia, una teoría tiene un significado un poco diferente del que tiene en su uso común, en el cual la expresión “sólo una teoría” lleva consigo la implicación de un vuelo de la imaginación, un presentimiento o una noción abstracta y especulativa, antes que el de una proposición cuidadosamente formulada y que se ha sometido a diversas pruebas experimentales confiables. Una teoría que ha resistido repetidas pruebas se eleva al estatus de ley o principio, aunque no siempre se identifique como tal.

Dado que los temas de estudio de la biología son enormemente diversos, los biólogos utilizan una amplia variedad de enfoques en sus investigaciones ( fig. I-5). La observación cuidadosa y sistemática sigue siendo una piedra angular. Actualmente se lleva a cabo con un imponente conjunto de innovaciones tecnológicas que comenzaron con el microscopio. Los procedimientos experimentales de la química son esenciales para estudiar los procesos fisiológicos que ocurren dentro de los organismos y de sus células constituyentes. El estudio de poblaciones de organismos y de sus interacciones depende del mismo tipo de matemática estadística usado por los economistas y se intensifica con

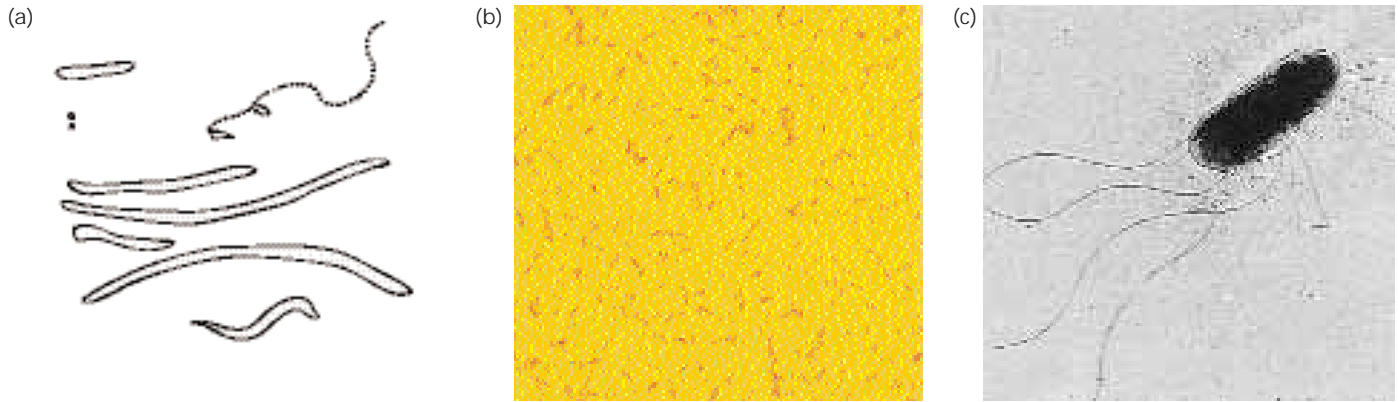


Fig. 1-4. OBSERVACIÓN DE BACTERIAS. (a) Estas bacterias bucales fueron observadas con un microscopio como el que construyó el fabricante de lentes holandés Antonie van Leeuwenhoek en 1677. (b) Células de *E. coli*, fotografiadas con un microscopio óptico. Se han teñido con un colorante que se adhiere a su superficie y facilita su observación.

Aunque estas células, aumentadas 450 veces, son diminutas, su estructura es muy compleja y presentan todas las propiedades que caracterizan a un sistema vivo. (c) Una célula de *E. coli*, aumentada 11.280 veces con un microscopio electrónico.

el perfeccionamiento de las computadoras, que pueden analizar con rapidez grandes cantidades de datos. Determinar el derrotero de la evolución en el pasado depende no sólo del trabajo de los paleontólogos de campo y de laboratorio, sino también de las herramientas intelectuales del historiador y del detective de homicidios.

Como veremos en este texto, no hay un “método científico” único en biología; en cambio, hay una multiplicidad de métodos y las metodologías que deben usarse en cada caso están relacionadas con la pregunta que se intenta contestar.

La biología: en busca del origen de la disciplina

La palabra “biología” –del griego *bios*, vida y *logos*, estudio– fue acuñada hace poco más de doscientos años. Se la atribuye al naturalista alemán Gottfried R. Treviranus (1776-1837) y también al naturalista francés del siglo XIX, Jean Baptiste de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829). Sin embargo, algunos historiadores de la ciencia piensan que Lamarck tomó el nombre biología de Treviranus y muchos de ellos continúan buscando rastros aún más antiguos de este término.

Antes del siglo XIX no existían las “ciencias biológicas” tal como las conocemos hoy. Existían la medicina y la historia natural. La anatomía fue hasta el siglo XVIII una rama de la medicina y la botánica la practicaban principalmente los médicos que buscaban nuevas hierbas medicinales y los mejoradores de vegetales que buscaban aumentar la calidad y el rendimiento de los cultivos. La historia natural de los animales se estudiaba en el contexto de la teología natural, tratando de encontrar las causas finales en la armonía de la naturaleza, según los principios del filósofo griego Aristóteles (384-322 a. C.). Durante los siglos XVII y XVIII, la historia natural comenzó a diferenciarse claramente en zoología y botánica. A partir de entonces se abrieron numerosas ramas de estudio que se diversificaron y complejizaron a medida que se incrementaban los estudios sobre los seres vivos.

La palabra biología definió, entonces, con más claridad la ciencia de la vida y con ello se unificó un campo de conocimiento muy vasto.



Fig. 1-5. PANTANO DE PERÚ. Dos biólogos reuniendo datos acerca de la estructura de la población de una selva tropical. Uno de ellos está lanzando un cordel hacia la copa de los árboles como un primer paso para recolectar insectos. Muchos de los especímenes que encontraron son completamente nuevos para la ciencia.

Esto permitió la formulación de nuevas generalizaciones sobre el fenómeno de la vida.

La historia de la biología: una red intrincada de preguntas y respuestas

La historia de la biología está atravesada por problemáticas que, de diferentes modos según sus contextos culturales, se fueron estableciendo



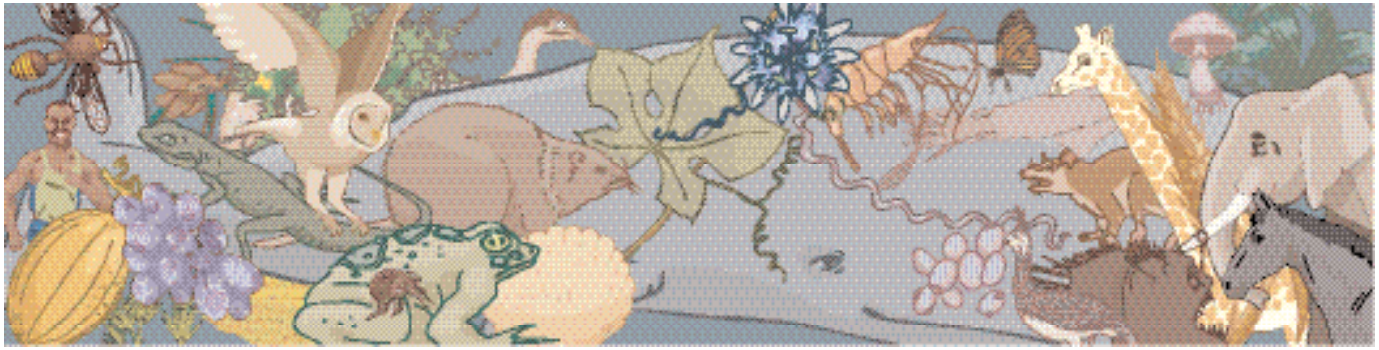



Fig. I-6. LA DIVERSIDAD DE LOS SERES VIVOS NO DEJA DE ASOMBRARNOS.

do desde la antigüedad hasta nuestros días. A pesar de nuestro afán de asignarles posiciones en el tiempo, algunas de estas problemáticas no tienen un principio ni un fin claros, sino que se extienden a lo largo de la historia, superponiéndose e influyéndose unas a otras. Existen además momentos de estancamiento, retrocesos, controversias, conocimientos excluidos y obstáculos que persistieron a lo largo de siglos. Por esta razón, la historia de la biología, como la de otras ciencias, no es un proceso lineal que se pueda representar fácilmente en una única línea de tiempo. Y por esta misma razón, un ordenamiento “lógico” de los conceptos biológicos fundamentales no siempre se correlaciona con el ordenamiento cronológico de los procesos históricos que les dieron origen.

Este libro está dividido en secciones, cada una de las cuales articula conceptos que pertenecen a grandes ramas de la biología. Hemos privilegiado un ordenamiento que permita construir los diferentes marcos conceptuales necesarios para la interpretación de distintos procesos y niveles de organización biológicos de manera paulatina, en la medida en que ciertos temas sientan la base para otros.

A su vez, la dimensión histórica será integrada toda vez que su presencia favorezca la comprensión y el análisis crítico de los modelos y los conceptos expuestos, teniendo como referentes algunos ejes centrales que consideramos particularmente significativos. La siguiente reseña histórica pone de manifiesto cómo los diferentes nudos problemáticos que surgieron a lo largo de la historia de esta ciencia serán ordenados a lo largo de las secciones del libro.

La diversidad y la clasificación

Entre las preguntas más antiguas acerca del mundo natural tal vez se encuentren aquellas relacionadas con la *diversidad* de los seres vivos. Nunca sabremos con exactitud en qué momento el primer homínido fue consciente de la enorme variedad de peces, pájaros, insectos y plantas que lo rodeaban. Sin embargo, sabemos que diversas culturas a lo largo de los siglos centraron su atención en el análisis, la descripción, la comparación y la clasificación de los organismos ( fig. I-6).

Los primeros naturalistas limitaban sus estudios a la flora y la fauna de la región que habitaban. Sin embargo, no les era ajeno, por los relatos que traían los primeros viajeros de entonces, que otras regiones del mundo estaban pobladas por seres vivos muy diversos. Este conocimiento era, sin embargo, limitado y no llegaba a proporcionar una idea de la gran amplitud de la distribución geográfica de los seres vivos.


A partir de los grandes viajes como el de Marco Polo (1254-1323) a Asia, los de los portugueses en el siglo XV por las costas de África y los de Cristóbal Colón (1451-1506) a América, entre otros, la conciencia entre los naturalistas de la diversidad de organismos que habitaban la Tierra se acrecentó ( fig. I-7). Estas exploraciones se produjeron en un marco de expansión colonial de las potencias europeas, en el que el conocimiento de la geografía y los recursos naturales de nuevos territorios constituían una clave para consolidar su calidad de imperios. Expediciones más metódicas, orientadas a abrir rutas marítimas y ejercer una hegemonía comercial y militar, comenzaron a incluir naturalistas. Si bien las primeras colecciones estaban concentradas en especímenes exóticos, poco a poco comenzaron a elaborarse instrucciones precisas sobre qué objetos



Fig. I-7. LA BELLEZA DE LA DIVERSIDAD. Este cuadro muestra la visión del artista del Renacimiento Jacopo Zucchi (1540-1596) sobre el exotismo y las riquezas de nuevas tierras.

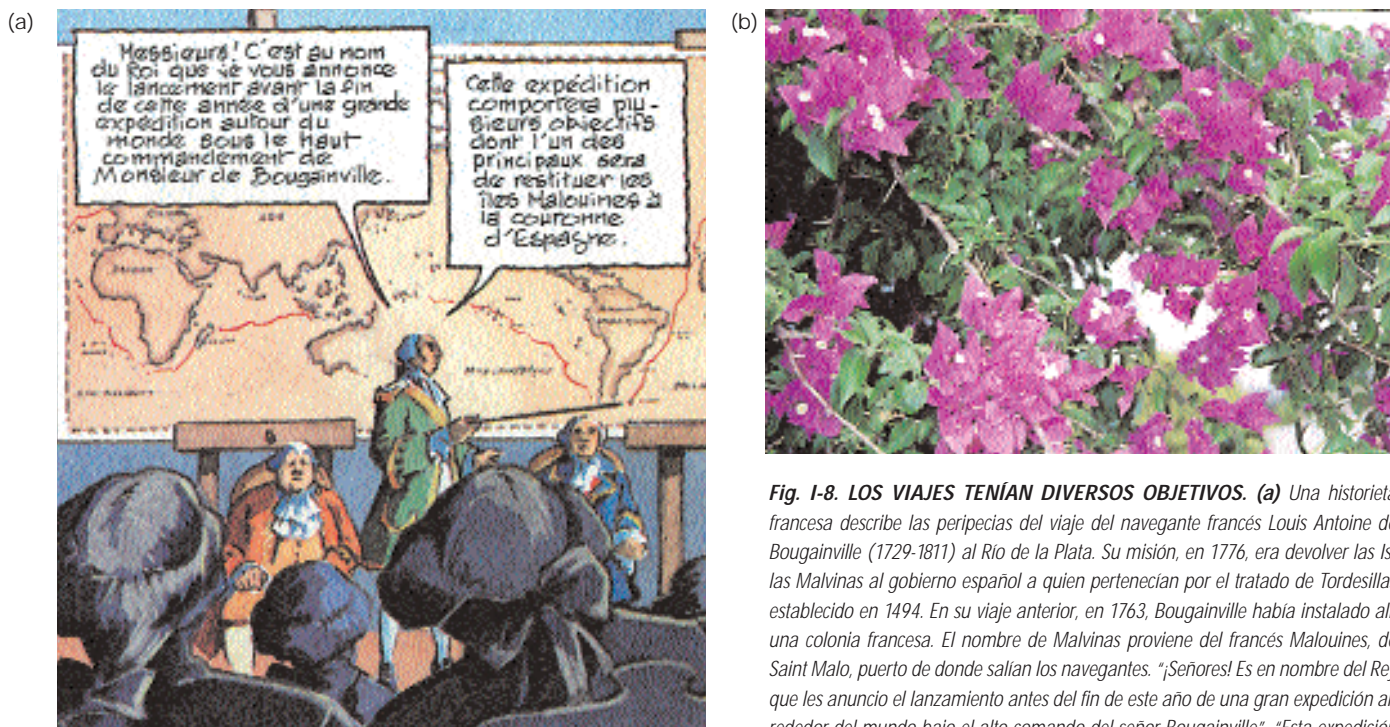


Fig. 1-8. LOS VIAJES TENÍAN DIVERSOS OBJETIVOS. (a) Una historieta francesa describe las peripecias del viaje del navegante francés Louis Antoine de Bougainville (1729-1811) al Río de la Plata. Su misión, en 1776, era devolver las Islas Malvinas al gobierno español a quien pertenecían por el tratado de Tordesillas establecido en 1494. En su viaje anterior, en 1763, Bougainville había instalado allí una colonia francesa. El nombre de Malvinas proviene del francés Malouines, de Saint Malo, puerto de donde salían los navegantes. “¡Señores! Es en nombre del Rey que les anuncio el lanzamiento antes del fin de este año de una gran expedición alrededor del mundo bajo el alto comando del señor Bougainville”. “Esta expedición tendrá varios objetivos, entre los cuales uno de los principales será restituir las Islas Malvinas a la corona de España.” (b) Bougainville llevó en su viaje alrededor del mundo al botánico Philibert Commerson (1727-1773), quien, entre otros especímenes, describió en Río de Janeiro la planta a la que dio el nombre de bougainvillea (Bougainvillea glabra), también conocida comúnmente como Santa Rita.

y seres vivos se debían observar, describir y recoger. Estas instrucciones eran oficiales y surgían de los intereses que definían el objetivo del viaje (👁️ fig. 1-8). De esta manera, la primera tarea para los naturalistas fue la de hacer un inventario de la naturaleza.

Las instrucciones escritas fueron reglamentando entonces la forma de coleccionar. Las colecciones resultantes, tanto las públicas como las privadas, dieron lugar a los gabinetes de historia natural alrededor de los cuales crecieron los museos y los herbarios de toda Europa (👁️ fig. 1-9).

Dentro de Europa, algunos viajeros también realizaron aportes especialmente importantes para el conocimiento de los seres vivos. En su expedición a Laponia, Carl von Linné (1707–1778) escribió un diario de viaje en el que plasmó una enorme cantidad de observaciones con gran precisión. En 1753, Linné publicó *Species Plantarum*, donde describió en dos volúmenes enciclopédicos cada especie de planta conocida en esa época. Mientras Linné trabajaba en este proyecto, otros exploradores regresaban a Europa desde África y el Nuevo Mundo con plantas no descritas previamente y con animales desconocidos y aun, aparentemente, con nuevos tipos de seres humanos. Si bien no fue el primero en clasificar a los organismos, Linné introdujo un sistema de *clasificación jerárquica* y un sistema de nomenclatura que es el que se utiliza en la actualidad.

Linné reescribió repetidas veces su *Species Plantarum* para dar cabida a estos incontables hallazgos, pero la enorme diversidad descubierta no cambió su opinión de que todas las especies existentes hasta ese momento habían sido creadas en el sexto día del trabajo de Dios y habían permanecido fijas desde entonces. No obstante, estos aportes

demonstraron que el “patrón de la creación” era mucho más complejo que el que se había pensado originalmente.

Desarrollaremos estos conceptos en la Sección 5: Diversidad de la vida

Los rastros de la vida: los fósiles

A lo largo de la historia se registraron numerosos testimonios del hallazgo de fósiles. Al arar la tierra, explorar acantilados y excavar la roca en busca de minerales se fueron descubriendo restos mineralizados de diversos organismos. Sin embargo, durante 10.000 años estos hallazgos no fueron interpretados correctamente y el origen de los fósiles permaneció como un misterio. Las curiosas y bellas formas de algunos fósiles inspiraron fantasías, mitos populares, creencias, leyendas y costumbres que se incorporaron a las culturas de diferentes pueblos del planeta (👁️ fig. 1-10).

George Cuvier (1769-1832), el “padre de la paleontología”, hizo los mayores aportes para la reconstrucción de los organismos fósiles de vertebrados. Este naturalista francés propuso que las diferentes partes de un organismo están correlacionadas. Estableció que, por ejemplo, los mamíferos con cuernos y pezuñas son todos herbívoros y que a este tipo de alimentación le corresponde un tipo de dientes fuertes y aplanados. Esta forma de interpretar los fósiles posibilitaba la reconstrucción de un animal completo a partir de evidencias fragmentarias y permitía proponer las características externas, los hábitos y el ambiente en el que había vivido el animal fósil estudiado.



Fig. I-9. LOS GABINETES DE CURIOSIDADES. *Minerales y fósiles, hierbas, conchas marinas, animales embalsamados, esqueletos y otras piezas de anatomía eran curiosidades que se exponían en los gabinetes que solían abrirse a un público selecto.*



(a)



(b)



(c)

Fig. I-10. DISTINTOS TIPOS DE FÓSILES. *Un fósil es un resto o una impronta de un organismo que murió hace muchos años. (a) Una hoja de cicada, del periodo Jurásico, hace alrededor de 144 a 213 millones de años. Pudo haberse producido por una precipitación de minerales que rellenó los espacios huecos de sus tejidos blandos en descomposición. Una gran variedad de cicadas fueron contemporáneas de los dinosaurios; en la actualidad sobreviven unas cien especies. (b) Un mosquito primitivo atrapado dentro del ámbar formado por la resina de un árbol que vivió hace unos 25 a 40 millones de años.*

La sangre ingerida por el mosquito, procedente de la última comida, todavía se puede apreciar en su estómago. (c) Uno de los fósiles primitivos más comunes son los procedentes de esqueletos externos de trilobites, invertebrados marinos que aparecen en el registro fósil correspondiente al periodo Cámbrico (hace unos 505 a 590 millones de años). Este fósil, con sus antenas y patas muy bien conservadas, está impregnado de pirita. El grupo de los trilobites se expandió y se diversificó durante más de 300 millones de años, hasta que se extinguió definitivamente.

A pesar de sus profundos conocimientos acerca de los seres vivos actuales y extintos, Cuvier consideraba que las especies habían sido creadas simultáneamente por un acto sobrenatural o divino y que, una vez creadas, se mantuvieron fijas o inmutables. Esta postura que se conoce como *fijismo* era predominante en el pensamiento de los naturalistas de la época.

Cuvier reconoció que muchos fósiles correspondían a formas de vida que ya no existían y propuso que estas especies habrían sido exterminadas en sucesivas catástrofes, la última de las cuales habría sido el Diluvio Universal. Aunque realizó contribuciones sumamente importantes—tanto estudios de anatomía comparada como la reconstrucción

de fósiles—, Cuvier no pudo interpretar correctamente el significado de estos fósiles.

En contraste, Lamarck, quien como Cuvier trabajaba en el Museo de Historia Natural de París, realizó interpretaciones diferentes de los fósiles de invertebrados, oponiéndose al catastrofismo y al fijismo de Cuvier. Lamarck se dedicó exhaustivamente al estudio y la clasificación de los organismos invertebrados, tanto contemporáneos como fósiles. Indudablemente, fue su largo estudio de estas formas de vida, cuyo registro fósil es especialmente completo, lo que lo llevó a considerar la idea de una complejidad en continuo aumento y a cada especie como derivada de una más primitiva y menos compleja. A partir de las evi-

dencias, Lamarck propuso que las formas más complejas habían surgido de las formas más simples por un proceso de transformación progresiva.

Posteriormente, el geólogo inglés Charles Lyell (1797-1875), apoyándose en la comparación de fósiles de distintas eras, dio un vuelco en la concepción de la época. En su libro *Principios de geología*, publicado en 1830, Lyell expuso la *teoría uniformitarista* (ya esbozada en 1788 por el geólogo escocés James Hutton [1726-1797]) en la que sostenía que un efecto lento, constante y acumulativo de las fuerzas naturales había producido un cambio continuo en el curso de la historia de la Tierra. Las causas naturales que intervienen actualmente y de una manera observable en la determinación de los procesos geológicos son las mismas que siempre modelaron la superficie de la Tierra. Las ideas de Lyell inspiraron a Darwin en su interpretación del mundo biológico.

Dos viajes que cambiaron el rumbo del pensamiento

Entre los siglos XVIII y XIX, los trabajos de dos grandes viajeros marcaron los cambios que sentaron las bases de la biología moderna. Uno de ellos fue el geógrafo y físico alemán Alexander von Humboldt (1769-1859). A partir de sus viajes surge un nuevo modelo de ciencia natural, más centrado en las características del terreno de donde provienen los especímenes recolectados que en una mera descripción de esas especies. El objetivo era comparar y combinar los hechos observados. Humboldt analizó tanto la morfología de las plantas como la dinámica de las *interacciones* de sus elementos (véase cap. 50, recuadro 50-1).

Desarrollaremos estos conceptos en la Sección 8: Ecología.

Humboldt ejerció una influencia profunda en un joven inglés que había abandonado sus estudios de medicina para dedicarse ávidamente a los de historia natural. Charles Darwin (1809-1882) había leído con enorme interés los relatos del viaje de Humboldt a Tenerife (Islas Canarias) y había decidido que él también recorrería esas islas. Pero la propuesta de embarcarse a bordo del *Beagle* como naturalista no oficialmente cambió sus planes y el rumbo de la historia.

El viaje representó un hecho fundamental en la formación intelectual de Darwin (👁️ fig. I-11). Mientras el *Beagle* descendía a lo largo de la costa atlántica de Sudamérica, atravesaba el Estrecho de Magallanes y ascendía por la costa del Pacífico (👁️ fig. I-12), Darwin viajaba por el interior del continente y exploraba los Andes a pie y a caballo. Allí observó distintos estratos geológicos, descubrió conchas marinas fósiles a aproximadamente 3.700 metros de altura y fue testigo del cataclismo terrestre producido por un gran terremoto. Además, coleccionó ejemplares de numerosas plantas y animales desconocidos.

Darwin se impresionó fuertemente durante su largo y lento viaje, a lo largo de una y otra costa, por las diferencias que observó entre las distintas variedades de organismos. Las aves y otros animales de la costa oeste eran muy diferentes de los de la costa este, e incluso, a medida que él ascendía lentamente por la costa occidental, una especie iba siendo reemplazada por otra.

Aunque Darwin no fue el primero en proponer que los organismos evolucionan, o cambian, a lo largo del tiempo, fue el primero en acumular una cantidad importante de evidencia en apoyo de esta idea y en proponer un mecanismo válido por el cual podría ocurrir la evolución.



Fig. I-11. CHARLES DARWIN EN 1840, CUATRO AÑOS DESPUÉS DE REGRESAR DE SU VIAJE DE CINCO AÑOS EN EL H. M. S. BEAGLE.

Volveremos sobre estos conceptos en la Sección 4: Evolución.

Después de Darwin

La teoría de Darwin se constituyó, así, en el principio fundamental de la biología. En los siglos XIX y XX, otros principios —que en la actualidad consideramos que subyacen en la Teoría de la Evolución— permitieron que la biología se consolidara como ciencia:

- Entre 1838 y 1858 se estableció la idea de que todos los organismos vivos están compuestos por una o más células y que éstas pueden originarse exclusivamente a partir de células preexistentes. Este principio universalmente aceptado se conoce como *teoría celular*. A mediados del siglo XIX comenzaron a realizarse estudios bioquímicos y metabólicos siguiendo modelos experimentales cada vez más precisos y rigurosos (👁️ fig. I-13).

Desarrollaremos estos conceptos en la Sección 1: Unidad de la vida.

- En la segunda mitad del siglo XIX se comenzó a estudiar científicamente la herencia, es decir, la transmisión de las características de los progenitores a los descendientes. En la actualidad, estos temas investigados por la genética moderna se encuentran entre los problemas fundamentales de la biología contemporánea.

Desarrollaremos estos conceptos en la Sección 2: Genética: bases celulares y químicas de la herencia y en la Sección 3: Los genes en acción: estructura, expresión y control de la información genética.

Además, se fue avanzando en los estudios anatómicos y fisiológicos de plantas y animales. Poco a poco, los procesos del desarrollo se



Fig. I-12. EL VIAJE DEL BEAGLE. El barco dejó Inglaterra en diciembre de 1831 y luego de pasar por Cabo Verde, llegó a Bahía, Brasil, a fines de febrero de 1832. Sus tripulantes, durante aproximadamente tres años y medio, recorrieron las costas de América del Sur y realizaron incursiones y exploraciones tierra adentro. En las Islas Galápagos, el Beagle

se detuvo poco más de un mes y durante ese corto lapso Darwin hizo las valiosas observaciones que cambiarían el curso de la ciencia biológica. El viaje a través del Pacífico hasta Nueva Zelanda y Australia, a través del océano Índico hasta el Cabo de Buena Esperanza, el regreso a Bahía y, finalmente, la vuelta a Inglaterra, consumió otro año.

fueron estudiando con más detalle y se fueron rompiendo viejas y erradas concepciones. La zoología y la botánica, primeras ramas fundamentales de la biología, se enriquecieron con el aporte de numerosos campos de estudio.

Muchas otras ramas se fueron interrelacionando; por ejemplo, la ecología utiliza conceptos de la fisiología y la genética a las que a su vez aporta sus propios conceptos.

Desarrollaremos estos conceptos en la Sección 6: Biología de los animales y en la Sección 7: Biología de las plantas.

La biología actual

Podemos considerarnos afortunados los que estudiamos biología hoy, ya que nuevas ideas y descubrimientos inesperados han abierto



Fig. I-13. CREADORES DE LA TEORÍA CELULAR. Como veremos en el capítulo 1, (a) el zoólogo Friedrich T. Schwann, (b) el botánico Matthias Schleiden y (c) el patólogo Rudolf Virchow contribuyeron al desarrollo de la Teoría Celular, que comenzó a edificar-

se durante la primera mitad del siglo XIX. Ello fue posible, por un lado, por la construcción de microscopios con lentes acromáticas y, por otro, por la aplicación de este instrumento al estudio de los seres vivos.

fronteras en excitantes áreas de la ciencia como biología celular, genética, inmunología, neurobiología, desarrollo, evolución, ecología, entre muchas otras.

Este libro recoge muchos de los estudios, aportes y discusiones realizados. Los temas se han organizado en secciones y las secciones en capítulos para hacer más práctico su estudio. Sin embargo, los temas están interconectados, como podremos comprobarlo a través de las numerosas citas cruzadas entre capítulos. Además, como surge de la breve reseña histórica que acabamos de presentar, el orden de las secciones no se corresponde con el orden histórico.

Como vimos, desde su nacimiento como ciencia independiente, la biología ha sufrido cambios radicales. Se ha diversificado y especializado de tal manera que, en ocasiones, los científicos de distintas áreas tienen dificultades para comunicar sus resultados a colegas de otras especialidades. Algunas áreas de investigación, como la neurobiología o la biología molecular, producen enormes volúmenes de trabajos. Esto es consecuencia del interés de los científicos por dar respuesta a interrogantes ancestrales, como la lógica que subyace al funcionamiento del cerebro o los detalles moleculares que impulsan la diferenciación de las células. También es consecuencia de las necesidades humanas de nuevos medicamentos y nuevos tratamientos para viejas y nuevas enfermedades y,

no menos importante, de los intereses económicos de empresas que se benefician con la comercialización de productos biológicos.

Así como varias ramas de la biología se fueron afinando, especializando en sus intereses y alcances, otras disciplinas surgieron de la fusión de dos o más ramas. Tal es el caso de la paleoecología, que estudia las interacciones en los ecosistemas del pasado. A su vez, se comenzó a implementar enfoques más integradores, que analizan un problema determinado desde varias disciplinas, como es el caso del estudio de la obesidad tanto en sus aspectos biológicos como psicológicos.

La ciencia no es información contenida en los libros de texto o en las bibliotecas, o en los centros de obtención de datos; es un proceso dinámico que tiene lugar en las mentes de los científicos inmersos en una sociedad y en una época dada. Nuestro entusiasmo por narrar lo que los biólogos han aprendido hasta ahora acerca de los organismos vivos, su historia, sus propiedades y sus actividades no debe convencer al lector de que hay respuestas para todo. Muchas preguntas aún no tienen respuesta. Lo que es más importante, muchas buenas preguntas aún no se han formulado. Tal vez sea usted quien las formule.