

PRINCIPIOS INTEGRALES DE

ZOOLOGÍA

DECIMOTERCERA EDICIÓN

Cleveland P. Hickman, Jr.

WASHINGTON y LEE UNIVERSITY

Larry S. Roberts

FLORIDA INTERNATIONAL UNIVERSITY

Allan Larson

WASHINGTON UNIVERSITY

Helen I'Anson

WASHINGTON y LEE UNIVERSITY

David J. Eisenhour

MOREHEAD STATE UNIVERSITY



Ilustraciones originales de
WILLIAM C. OBER, M.D. y CLAIRE W. GARRISON, R.N.



McGRAW-HILL • INTERAMERICANA

MADRID • BUENOS AIRES • CARACAS • GUATEMALA • LISBOA • MÉXICO
NUEVA YORK • PANAMÁ • SAN JUAN • BOGOTÁ • SANTIAGO • SÃO PAULO
AUCKLAND • HAMBURGO • LONDRES • MILÁN • MONTREAL • NUEVA DELHI • PARÍS
SAN FRANCISCO • SYDNEY • SINGAPUR • ST. LOUIS • TOKIO • TORONTO

Director de la edición española

Fernando Pardos Martínez
Universidad Complutense de Madrid

Traducción

Jesús Benito Salido
Profesor del Departamento de Zoología
Universidad Complutense de Madrid

Isabel Fernández Bernaldo de Quirós
Profesor del Departamento de Zoología
Universidad Complutense de Madrid

Juan Bautista Jesús Lidón
Profesor del Departamento de Zoología
Universidad Complutense de Madrid

Fernando Pardos Martínez
Profesor del Departamento de Zoología
Universidad Complutense de Madrid

PRINCIPIOS INTEGRALES DE ZOOLOGÍA

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, su tratamiento informático, ni la transmisión de cualquier otra forma o por cualquier otro medio electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

DERECHOS RESERVADOS © 2006, respecto a la sexta edición en español, por:
McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S. A. U.

Edificio Valreality
c/ Basauri, 17, 1.ª planta
28023 Aravaca (Madrid)

Primera edición, 1986
Segunda edición, 1990
Tercera edición, 1994
Cuarta edición, 1998
Quinta edición, 2002

ISBN: 84-481-4528-3
Depósito legal: M. 8.855-2006

Traducido de la decimotercera edición en inglés de la obra:
INTEGRATED PRINCIPLES OF ZOOLOGY
ISBN: 0-07-283056-5 (Edición original)
Copyright © 2006 por The McGraw-Hill Companies, Inc.

Compuesto en: FER Fotocomposición, S. A. c/ Bocángel, 45 - 28028 Madrid
Impreso en: Fernández Ciudad, S. L.

IMPRESO EN ESPAÑA - PRINTED IN SPAIN

PARTE PRIMERA

Introducción a la vida animal

1



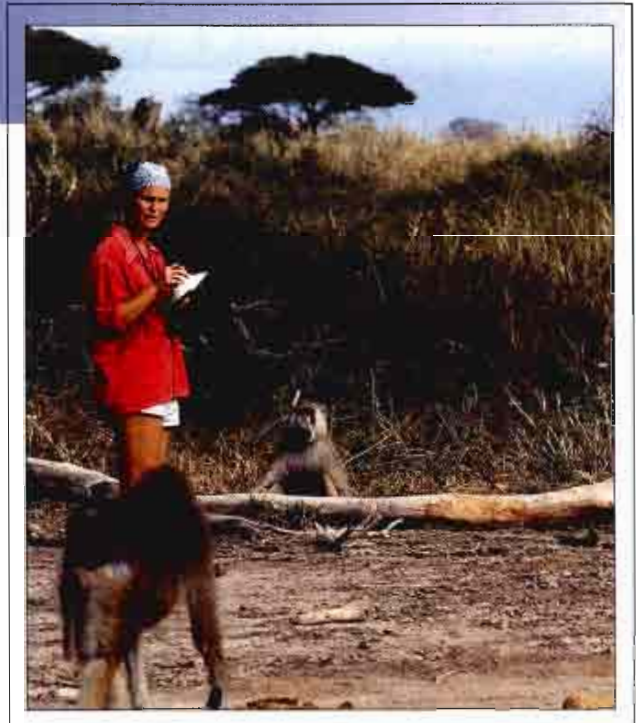
- 1 La vida: los principios biológicos y la ciencia zoológica
- 2 El origen y la química de la vida
- 3 La célula como unidad de vida
- 4 Metabolismo celular

Una anémona tubícola (el ceriántido Botruanthus benedeni) del este del Pacífico.

CAPÍTULO

I

La vida: los principios biológicos y la ciencia zoológica



Una zóologa estudiando el comportamiento de los papiones en la Reserva de Amboseli, en Kenia.

Los principios básicos

Nuestro conocimiento del mundo animal aumenta gracias a la aplicación activa de una serie de principios fundamentales que guían nuestras investigaciones. De la misma forma que la investigación espacial está tanto dirigida como limitada por la tecnología disponible, la exploración del mundo animal depende en gran manera de nuestros interrogantes, métodos y principios. El área de conocimiento que llamamos Zoología sólo tiene sentido si los principios que utilizamos en su construcción son claros.

Los principios de la Zoología moderna tienen muy diversas fuentes y una larga historia. Algunos derivan de las leyes de la física y la química, que se cumplen en todos los sistemas vivos. Otros derivan del método científico, que nos dice que nuestras hipótesis sobre el mundo animal son inútiles a menos que nos dirijan a obtener datos que las confirmen. Muchos principios importantes derivan de estudios previos

sobre el mundo vivo, del que los animales son sólo una parte. Los principios de la herencia, la variación y la evolución orgánica conducen el estudio de la vida desde sus formas unicelulares más simples hasta los animales, hongos y plantas más complejos. Ya que todas las formas de vida comparten una historia evolutiva común, los principios derivados del estudio de un grupo a menudo se aplican a otro. Al rastrear los orígenes de nuestros principios operativos vemos que los zóólogos no están aislados en sí mismos, sino que son parte integrante de la comunidad científica.

Comenzaremos nuestro estudio de la Zoología no restringiendo nuestro enfoque al mundo animal, sino con una búsqueda mucho más amplia de nuestros principios más básicos y sus diversas fuentes. Estos principios dirigen nuestros estudios sobre los animales y simultáneamente los integran en el contexto, más amplio, del conocimiento humano.

La Zoología, el estudio científico de la vida animal, se erige sobre siglos de interrogantes que el hombre se ha planteado sobre el mundo animal. Las mitologías de casi cualquier cultura pueden ilustrar sus intentos de resolver los misterios de la vida animal y su origen. Hoy en día los zoólogos se enfrentan a los mismos misterios con los más avanzados métodos y tecnologías, desarrollados por todas las ramas de la ciencia. Comencemos por registrar la diversidad de la vida animal y organizarla de forma sistemática. Este proceso complicado y excitante se apoya en las contribuciones individuales de miles de zoólogos que trabajan en todas las dimensiones de la biosfera (Figura 1-1). A través de este trabajo intentamos comprender cómo se originó la diversidad animal y cómo los animales llevan a cabo los procesos vitales básicos que les permiten adaptarse y sobrevivir en tantos ambientes diferentes.

Este capítulo expone las propiedades fundamentales de la vida animal, los principios metodológicos en los que se basa su estudio y dos importantes teorías que guían nuestra investigación: (1) la teoría de la evolución, princi-

pio organizador central de la biología, y (2) la teoría cromosómica de la herencia, que guía nuestro estudio sobre la herencia y la variación en los animales. Estas teorías unifican nuestro conocimiento del mundo animal.

PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LA VIDA

¿Se puede definir la vida?

Comencemos con una pregunta difícil: ¿qué es la vida? Aunque se han hecho durante años muchos intentos de definir la vida, las definiciones simples están condenadas al fracaso. Al tratar de definir la vida de una manera sencilla, buscamos propiedades inmutables a lo largo de su historia. Sin embargo, las propiedades que la vida presenta hoy (pp. 4-10) son muy diferentes a las que tenía en su origen. La historia de la vida muestra grandes y continuos cambios, lo que llamamos *evolución*. Conforme la genealogía de la vida progresaba y se ramificaba a partir de su

**A****B****C****D**

Figura 1-1

Algunas de las muchas dimensiones de la investigación zoológica: **A**, observación de morenas en Maui, Hawaii; **B**, trabajando con osos polares sedados; **C**, anillando ánades reales; **D**, observando una *Daphnia pulex* ($\times 150$) con el microscopio.

forma más primitiva hasta los millones de especies actuales, nuevas propiedades evolucionaron y pasaron de generación en generación. A través de este proceso, los sistemas vivos han producido muchos rasgos extraños y espectaculares, que no tienen contrapartida en el mundo inanimado. Estas propiedades inesperadas emergen en muchas líneas diferentes en la historia evolutiva de la vida y dan lugar a la gran diversidad de organismos que podemos observar en la actualidad.

Podríamos intentar definir la vida sobre la base de sus propiedades universales, que eran evidentes ya en su origen. Por ejemplo, la replicación de las moléculas se puede rastrear hasta el origen de la vida y representa una de sus propiedades más universales. Definir la vida basándose en las propiedades presentes en su origen crea un gran problema ya que estas características son probablemente las mismas que los seres vivos comparten con algunas formas no vivas. Para estudiar el origen de la vida debemos preguntarnos cómo las moléculas orgánicas adquirieron la capacidad de replicarse de forma precisa, pero ¿dónde trazaremos la frontera entre aquellos procesos replicativos que definen la vida y aquellos otros que no son sino propiedades químicas generales de la materia de la que surgió? La replicación de estructuras cristalinas complejas en formas químicas no vivas se puede confundir, por ejemplo, con las propiedades de replicación molecular que asociamos con la vida. Si definimos la vida utilizando solamente las propiedades más avanzadas que caracterizan a los sistemas vivos altamente evolucionados que conocemos hoy en día, el mundo inanimado no entorpecería esta definición, pero estaríamos eliminando aquellas formas de vida muy tempranas, antecesoras de todas las restantes y que confieren a la vida su unidad histórica.

Por último, nuestra definición se debe basar en la historia común de la vida en la Tierra. La historia del origen de la vida le proporciona una identidad y continuidad que la distingue del mundo no vivo. Podemos seguir esta historia común hacia atrás en el tiempo, desde las diversas formas que observamos hoy y en el registro fósil hasta su antecesor común que apareció en la atmósfera de la primitiva Tierra (Capítulo 2). Todos los organismos que forman parte de esta larga historia de ascendencia hereditaria desde la forma de vida ancestral común quedan incluidos en nuestro concepto de vida.

No intentamos limitar la vida a una definición simple, pero sí podemos identificar al mundo vivo a través de su historia de ascendencia evolutiva común y separarlo del inanimado. Muchas propiedades importantes han surgido a lo largo de la historia de la vida y se presentan en los seres vivos en diversas combinaciones. Estas propiedades, que se discuten en la siguiente sección, identifican inequívocamente a sus poseedores como parte de la entidad histórica unitaria que llamamos vida. Tales caracteres están presentes en las formas de vida más evolucionadas, como las que componen el reino animal. Ya que son esenciales para el mantenimiento y funcionamiento de las formas de vida que

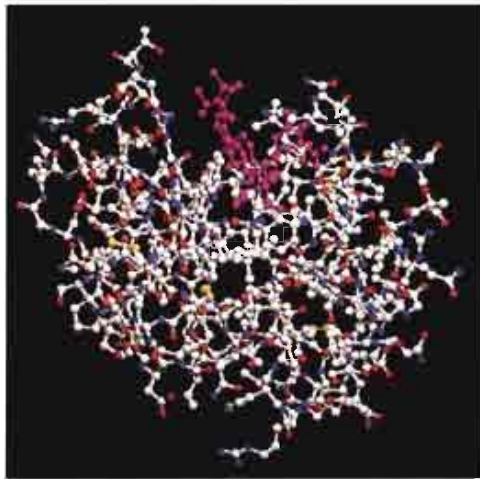
las poseen, estas propiedades deberían persistir a través de la historia evolutiva futura de la vida.

Caracteres generales de los sistemas vivos

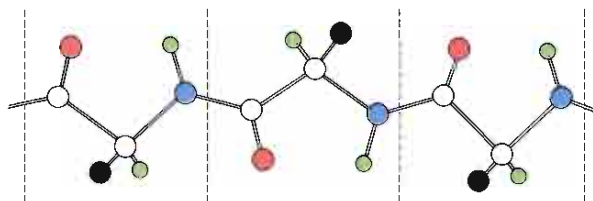
Los caracteres generales más importantes que han aparecido durante la historia de la vida son: la exclusividad química, la complejidad y la organización jerárquica, la reproducción (herencia y variación), la posesión de un programa genético, el metabolismo, el desarrollo y la interacción ambiental.

1. **Exclusividad química.** *Los sistemas vivos muestran una organización molecular exclusiva y compleja.* Los sistemas vivos presentan un conjunto de grandes moléculas, conocidas como macromoléculas, que son mucho más complejas que las de pequeño tamaño de la materia no viva. Estas macromoléculas están compuestas por los mismos tipos de átomos y de enlaces químicos que aparecen en la materia inerte y obedecen todas las leyes fundamentales de la química; lo que las hace únicas es solamente su organización estructural compleja. Distinguimos cuatro categorías principales de macromoléculas biológicas: ácidos nucleicos, proteínas, hidratos de carbono y lípidos (Capítulo 2). Estas categorías difieren en la estructura de sus partes, en los tipos de enlaces químicos que mantienen juntas sus subunidades y en sus funciones en los sistemas vivos.

Las estructuras generales de estas macromoléculas evolucionaron y se estabilizaron muy pronto en la historia de la vida. Con algunas modificaciones, las mismas estructuras generales se encuentran en todas las formas de vida que observamos actualmente. Las proteínas, por ejemplo, contienen unas 20 clases específicas de subunidades aminoácidas unidas por enlaces peptídicos en una secuencia lineal (Figura 1-2). Existen otros enlaces adicionales entre aminoácidos no adyacentes en la cadena de la proteína, que confieren a ésta una estructura tridimensional compleja (Figuras 1-2 y 2-11). Una proteína típica contiene varios cientos de subunidades aminoácidas. A pesar de la estabilidad de esta estructura proteica básica, el orden de los distintos aminoácidos en la molécula de proteína está sujeto a una enorme variación. Esta variación es en último término responsable de gran parte de la diversidad que observamos entre las diferentes formas de vida. De forma semejante, los ácidos nucleicos, los hidratos de carbono y los lípidos contienen enlaces característicos que unen subunidades variables (Capítulo 2). Esta organización proporciona a los sistemas vivos tanto una uniformidad bioquímica como una gran diversidad potencial.



A



B

Figura 1-2

Simulación por ordenador de la estructura tridimensional de la proteína lisozima (**A**), utilizada por los animales para destruir bacterias. La proteína es un cordón lineal de subunidades denominadas aminoácidos, unidas como se muestra en **B**, que se pliega según un patrón tridimensional para formar la proteína activa. Las esferas blancas corresponden a los átomos de carbono, las rojas al oxígeno, las azules al nitrógeno, las amarillas al azufre y las verdes al hidrógeno, mientras que las negras (**B**) representan grupos moleculares constituidos por diversas combinaciones de carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y azufre, que difieren en los distintos aminoácidos. En **A** no se muestran los átomos de hidrógeno. La estructura molecular púrpura que aparece en **A** es parte de la pared de la bacteria que ha roto la lisozima.

2. Complejidad y organización jerárquica. Los seres vivos muestran una organización jerárquica exclusiva y compleja. La materia inerte está organizada al menos en átomos y moléculas y a menudo con un mayor grado de organización. Sin embargo, en el mundo vivo, los átomos y las moléculas se combinan según patrones que no existen en el mundo inerte. En los sistemas vivos encontramos una jerarquía de niveles que incluye, en orden de complejidad ascendente, macromoléculas, células, organismos, poblaciones y especies (Figura 1-3). Cada nivel se organiza sobre el inmediatamente inferior y tiene su propia estructura interna, que a menudo es también jerárquica. En una célula, por ejemplo, las macromoléculas se organizan en estructuras tales como los ribosomas, los cromosomas y las membranas y éstas a su vez se combinan

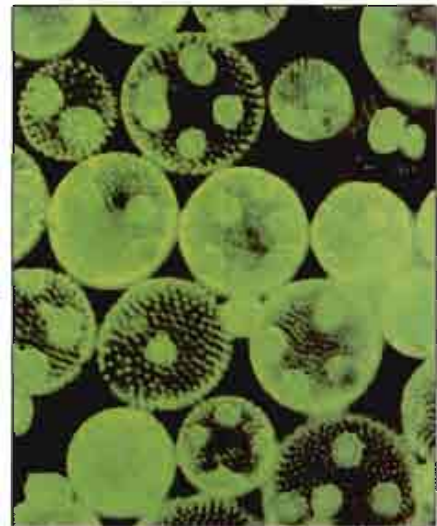


Figura 1-3

Volvox globator (pp. 255-256) es un fitoflagelado pluricelular que muestra tres niveles distintos de jerarquía biológica: el celular, el del organismo y el poblacional. Cada esferoide es un organismo independiente cuyas células están incluidas en una matriz gelatinosa. Las células mayores tienen función reproductora y las más pequeñas llevan a cabo las funciones metabólicas generales del organismo. El conjunto de esferoides forma una población.

de diversas formas para constituir estructuras subcelulares más complejas llamadas orgánulos, como las mitocondrias (Capítulos 3 y 4). El nivel de organismo tiene también una subestructura jerárquica: las células forman tejidos, que se combinan en órganos, y éstos a su vez lo hacen en sistemas (Capítulo 9).

La célula (Figura 1-4) es la unidad más pequeña de la jerarquía biológica que es semiautónoma



Figura 1-4

Micrografía electrónica de células epiteliales ciliadas y células secretoras de mucus (pp. 215-220). La célula es la pieza básica de los seres vivos.

TABLA 1.1

Diferentes niveles jerárquicos de complejidad biológica en los que aparecen reproducción, variación y herencia

Nivel	Escala temporal de reproducción	Campos de estudio	Método de estudio	Algunas propiedades emergentes
Célula	Horas (célula de mamífero = ~16 horas)	Biología celular	Microscopio (luminico, electrónico), bioquímica	Replicación cromosómica (meiosis, mitosis), síntesis de macromoléculas (DNA, RNA, proteínas, lípidos, polisacáridos)
Organismo	Horas a días (unicelular); días a años (pluricelular)	Anatomía, fisiología y genética de los organismos	Disección, entrecruzamientos genéticos, estudios clínicos	Estructura, funciones y coordinación de tejidos, órganos y sistemas orgánicos (tensión arterial, temperatura corporal, percepción sensorial, alimentación)
Población	Hasta miles de años	Biología de las poblaciones, genética de las poblaciones, ecología	Análisis estadístico de la variación, abundancia y distribución	Estructuras sociales, sistemas de emparejamiento, distribución de los organismos por edades, niveles de variación, acción de la selección natural
Especie	Miles a millones de años	Biología sistemática y evolutiva, ecología comunitaria	Estudio de las barreras reproductoras, filogenia, paleontología, interacciones ecológicas	Método de reproducción, barreras reproductoras

en su capacidad para llevar a cabo sus funciones básicas, incluida la reproducción. La replicación de las moléculas y los componentes subcelulares se produce únicamente en el contexto celular, nunca de forma independiente. Por tanto, la célula se considera como la unidad básica de los sistemas vivos (Capítulo 3). Podemos aislar células de un organismo y hacer que crezcan y se multipliquen bajo condiciones de laboratorio y en presencia únicamente de nutrientes. Esta replicación semiautónoma no es posible con moléculas individuales o componentes subcelulares, que necesitan otros constituyentes celulares adicionales para reproducirse. Cada nivel sucesivamente más alto de la jerarquía biológica está compuesto por unidades del nivel inferior precedente. Una característica importante de esta jerarquía es que las propiedades de cualquier nivel dado no pueden deducirse ni siquiera con el conocimiento más completo de las propiedades de sus partes componentes. Un carácter fisiológico, como la presión sanguínea, es una propiedad del nivel de organismo; es imposible predecir la presión sanguínea de alguien simplemente a partir del conocimiento de las características físicas de las células individuales del cuerpo. De igual forma, los sistemas de interacción social, como los observados en las abejas, aparecen en el nivel poblacional; no es posible deducir las propiedades de este sistema social a partir del mero conocimiento de las propiedades de las abejas individuales.

La aparición de nuevas características en un nivel de organización determinado se conoce como **emergencia** y tales características se denominan **propiedades emergentes**. Estas propiedades surgen de las interacciones que se producen entre las partes componentes de un sistema. Por esta razón, debemos estudiar todos los niveles de forma directa, cada uno de los cuales es el objeto de las diferentes subdivisiones de la biología (biología molecular, biología celular, anatomía, fisiología y genética, biología de las poblaciones; Tabla 1.1). Nos encontramos con que las propiedades emergentes expresadas en un nivel determinado de la jerarquía biológica están ciertamente influidas y restringidas por las propiedades de los componentes de un nivel inferior. Por ejemplo, sería imposible que una población de organismos carentes del sentido del oído pudieran desarrollar un lenguaje hablado. En todo caso, las propiedades de las partes de un sistema vivo no determinan de forma rígida las propiedades del conjunto. En la cultura humana han aparecido muchos lenguajes hablados diferentes a partir de las mismas estructuras anatómicas básicas que permiten el oído y el habla. La libertad de las partes para interactuar de distintas maneras hace posible la gran diversidad de propiedades emergentes potenciales en cada nivel de la jerarquía biológica.

Los diferentes niveles de la jerarquía biológica y sus propiedades emergentes particulares son producto de la evolución. Antes de que evolucionaran

los organismos pluricelulares no existía distinción entre los niveles celular y del organismo, lo que todavía se mantiene para los organismos unicelulares (Capítulo 11). La diversidad de las propiedades emergentes que observamos en todos los niveles de la jerarquía biológica contribuye a dificultar la definición o la descripción de la vida de una forma sencilla.

3. **Reproducción.** *Los sistemas vivos pueden autorreproducirse.* La vida no surge espontáneamente, sino que sólo puede proceder de vida anterior a través de un proceso de reproducción. Aunque es cierto que la vida se originó a partir de materia inerte al menos una vez (Capítulo 2), esto requirió períodos enormemente largos y condiciones muy distintas a las de la biosfera moderna. En cada nivel de la jerarquía biológica, las formas de vida se reproducen para generar otras semejantes a ellas (Figura 1-5). Los genes se replican para producir nuevos genes. Las células se dividen para dar lugar

a nuevas células. Los organismos se reproducen, sexual o asexualmente, y el resultado son nuevos organismos (Capítulo 5). Las poblaciones pueden fragmentarse y dar lugar a nuevas poblaciones y las especies pueden producir nuevas especies mediante un proceso conocido como especiación. La reproducción, a cualquier nivel de la jerarquía, normalmente implica un aumento de número. Individualmente, los genes, las células, los organismos, las poblaciones o las especies, pueden, en un determinado caso, no reproducirse, pero la reproducción es, a pesar de todo, una propiedad potencial de tales individualidades.

En cada uno de dichos niveles, la reproducción lleva consigo los fenómenos complementarios, pero aparentemente contradictorios, de la **herencia** y la **variación**. La herencia es la transmisión fiel de los caracteres de padres a hijos, normalmente (aunque no necesariamente) en el nivel de organismo. La variación es la aparición de *diferencias* entre las

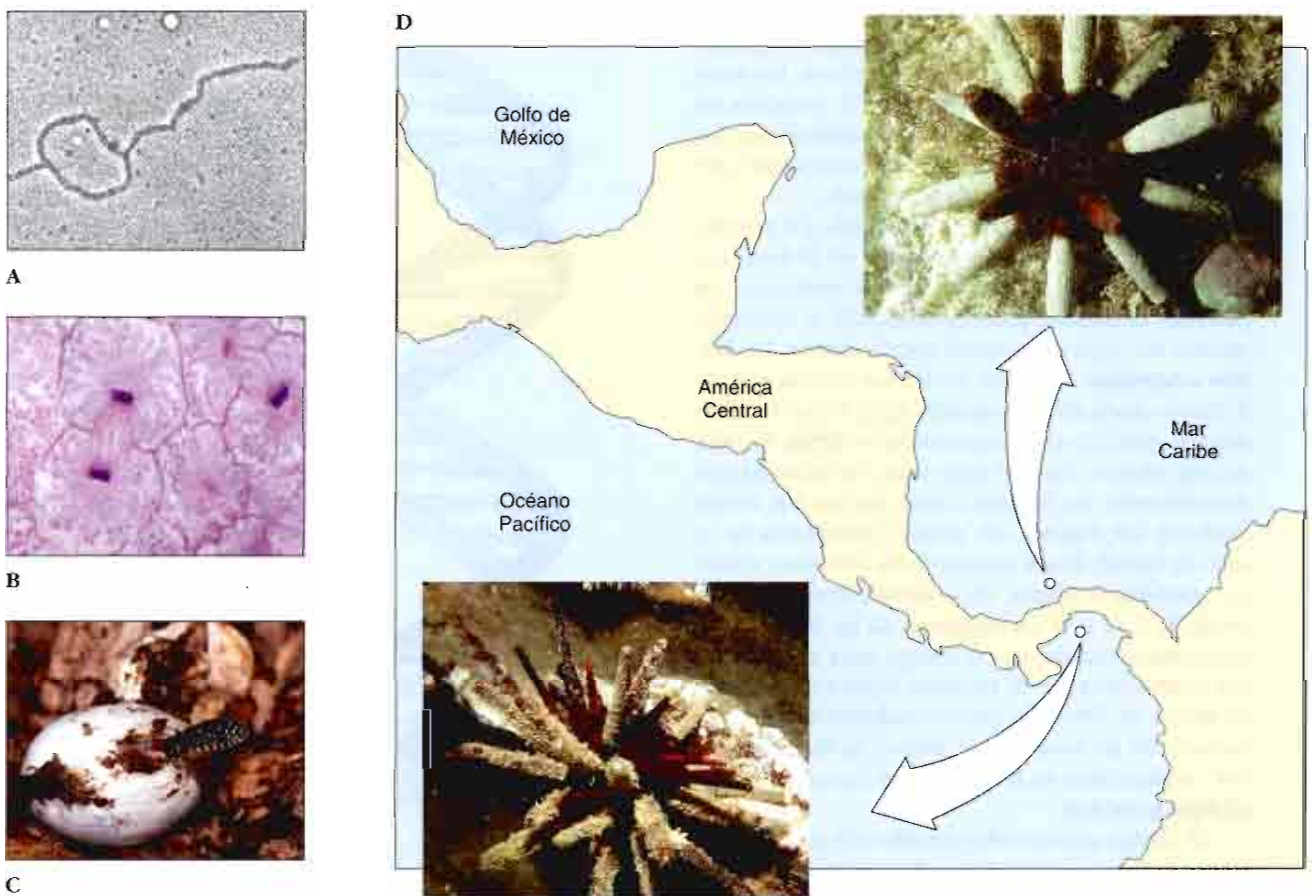


Figura 1-5

Procesos reproductores observados en cuatro niveles diferentes de complejidad biológica: **A**, nivel molecular, micrografía electrónica de una molécula de DNA en replicación; **B**, nivel celular, micrografía de una división celular en la etapa mitótica de telofase; **C**, nivel de organismo, unas serpientes saliendo de sus huevos; **D**, nivel de especie, aparición de nuevas especies del erizo de mar (*Eucidaris*) tras la separación geográfica de sus poblaciones en el Caribe (*E. tribuloides*) y en el Pacífico (*E. thouarsi*) por la formación del istmo de Panamá.

características de distintos individuos. En el proceso reproductor, las propiedades de los descendientes se asemejan a las de sus progenitores en distintos grados, pero generalmente no son idénticas a las de éstos. La replicación del ácido desoxirribonucleico (DNA) se produce con gran fidelidad, pero también hay errores relativamente frecuentes. La división celular es un proceso excepcionalmente preciso, especialmente en lo que respecta al material nuclear, pero no obstante se producen cambios cromosómicos con frecuencias apreciables. La reproducción de los organismos también presenta herencia y variación, siendo esta última especialmente evidente en las formas de reproducción sexual. La producción de nuevas poblaciones y especies también lleva consigo la conservación de ciertas propiedades y cambios en otras. Dos especies de ranas estrechamente emparentadas pueden tener llamadas de reclamo sexual muy semejantes, pero que difieren en el ritmo de repetición de los sonidos.

Veremos más adelante en este libro que la interacción entre herencia y variación en el proceso reproductor es la base de la evolución orgánica (Capítulo 6). Si la herencia fuese perfecta, los sistemas vivos no cambiarían nunca; si la variación no estuviese controlada por el proceso hereditario, los sistemas biológicos carecerían de la estabilidad que les permite persistir a través del tiempo.

4. **Posesión de un programa genético.** *Un programa genético garantiza la fidelidad de la herencia* (Figura 1-6). Las estructuras de las moléculas de proteína necesarias para el desarrollo y funcionamiento del organismo están codificadas en los **ácidos nucleicos** (Capítulo 5). En los animales, y en la mayor parte de los restantes seres vivos, la información genética está contenida en el **DNA**. El DNA es una cadena, lineal y muy larga, de subunidades denominadas nucleótidos, cada uno de los cuales contiene un fosfato, un azúcar (desoxirribosa) y una de cuatro bases nitrogenadas (adenina, citosina, guanina o timina, abreviadas respectivamente como A, C, G y T). La secuencia de las bases de los nucleótidos representa un código para el orden de los aminoácidos en la proteína especificada por la molécula de DNA. La correspondencia entre la secuencia de las bases en el DNA y la secuencia de los aminoácidos en la proteína se conoce como el **código genético**.

El código genético fue establecido muy al principio de la historia evolutiva de la vida y el mismo código está presente en las bacterias y en los genomas nucleares de casi todos los animales y plantas. La constancia casi total de este código entre los seres vivos es una importante prueba a favor de un origen único de la vida. El código genético ha sufrido muy pocos cambios evolutivos desde su origen,

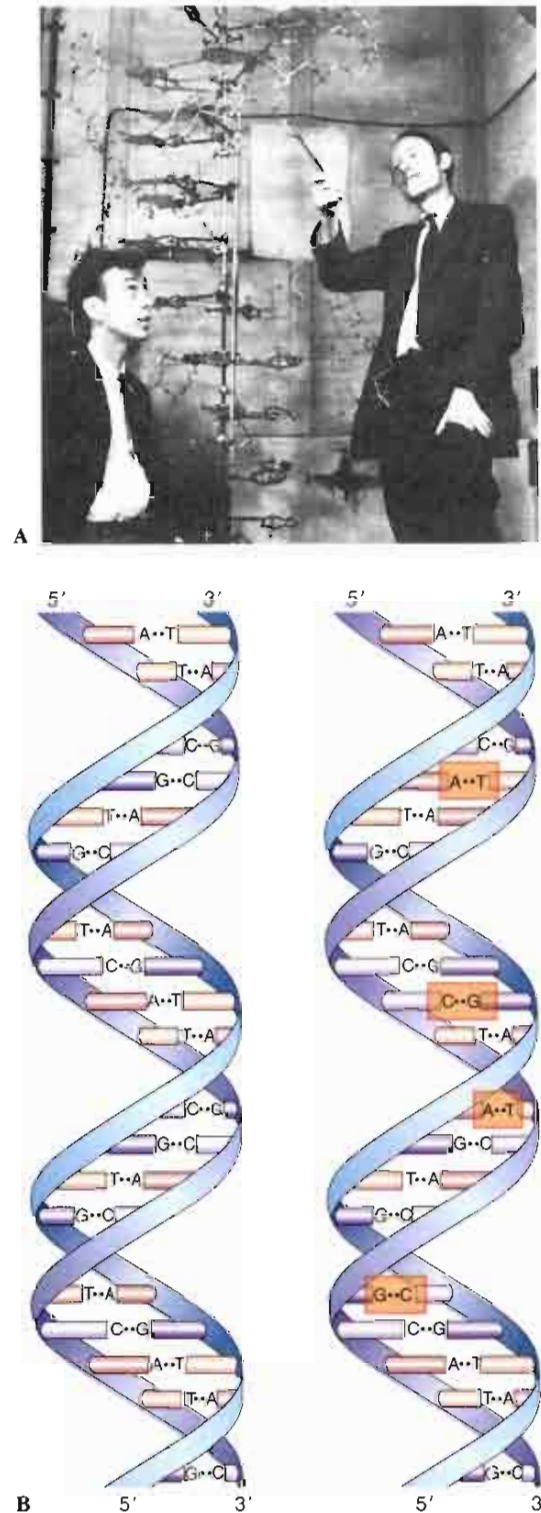


Figura 1-6

James Watson y Francis Crick con un modelo de la doble hélice de DNA (A). La información genética está codificada en la secuencia de bases de los nucleótidos de la molécula de DNA. La variación genética se muestra (B) en moléculas de DNA que son muy similares pero difieren en cuatro puntos. Tales diferencias pueden codificar caracteres alternativos, como distinto color de ojos.

ya que cualquier alteración cambiaría por completo la estructura de casi todas las proteínas, lo que a su vez alteraría gravemente funciones celulares que requieren estructuras proteicas muy específicas. Solamente en el raro caso de que las estructuras proteicas alteradas fueran todavía compatibles con sus funciones celulares, el cambio tendría la oportunidad de sobrevivir y reproducirse. Se ha producido un cambio genético evolutivo en el caso del DNA contenido en las mitocondrias de los animales, los orgánulos que regulan la energía celular. El código genético del DNA mitocondrial animal es, por tanto, ligeramente diferente del código estándar del DNA nuclear y bacteriano. Ya que el DNA mitocondrial codifica muchísimas menos proteínas que el DNA nuclear, la probabilidad de que se produzca un cambio en el código que conserve las funciones celulares es mayor aquí que en el núcleo.

5. **Metabolismo.** *Los organismos vivos se automantienen obteniendo nutrientes de su entorno* (Figura 1-7). Los nutrientes se degradan para obtener energía química y componentes moleculares que se utilizarán en la construcción y mantenimiento del sistema vivo (Capítulo 4). Estos procesos químicos esenciales reciben el nombre de **metabolismo** e incluyen la digestión, la producción de energía (respiración) y la síntesis de moléculas y estructuras. El metabolismo se considera a menudo como la interacción de reacciones destructivas (catabólicas) y constructivas (anabólicas). Los procesos químicos anabólicos y catabólicos más fundamentales que utilizan los sistemas vivos, surgieron muy pronto en la historia evolutiva de la vida y son comunes a todos los seres vivos. Éste es el caso de la síntesis de carbohidratos, lípidos, ácidos nucleicos y proteínas, junto con sus partes constituyentes y la rotura de enlaces químicos para recuperar la energía contenida en ellos. En los animales, muchas reacciones metabólicas fundamentales se producen a nivel celular, a menudo en orgánulos específicos que están presentes en todo el reino animal. La respiración celular, por ejemplo, tiene lugar en las mitocondrias. Las membranas celulares y nucleares regulan el metabolismo mediante el control del flujo de moléculas a través de los límites de la célula y del núcleo, respectivamente. El estudio de las funciones metabólicas complejas se conoce como **fisiología**. Dedicaremos una gran porción de este libro a describir y comparar los diversos tejidos, órganos y sistemas que han desarrollado los distintos grupos de animales para llevar a cabo las funciones fisiológicas básicas de la vida (Capítulos 11 a 36).
6. **Desarrollo.** *Todos los organismos tienen un ciclo vital característico.* El desarrollo describe los cambios característicos que sufre un organismo desde



A



B

Figura 1-7

Mecanismos de alimentación, ilustrados por (A), una ameba englobando alimento, y (B), un camaleón capturando un insecto con su lengua extensible.

su origen (generalmente la fecundación del óvulo por el espermatozoide) hasta su forma adulta final (Capítulo 8). El desarrollo normalmente implica cambios de tamaño y forma y la diferenciación de estructuras internas en el organismo. Incluso los organismos unicelulares más simples aumentan de tamaño y replican sus partes constituyentes antes de dividirse en dos o más células. Los organismos pluricelulares sufren cambios más dramáticos a lo largo de sus vidas. En muchas formas pluricelulares las distintas etapas del ciclo vital son tan distintas que difícilmente se pueden reconocer como estados de la misma especie. Los embriones son claramente diferentes de las formas juveniles y adultas a que dan lugar, e incluso el desarrollo postembrionario de algunos organismos tiene etapas que son drásticamente diferentes entre sí. La transformación que se produce de un estado a

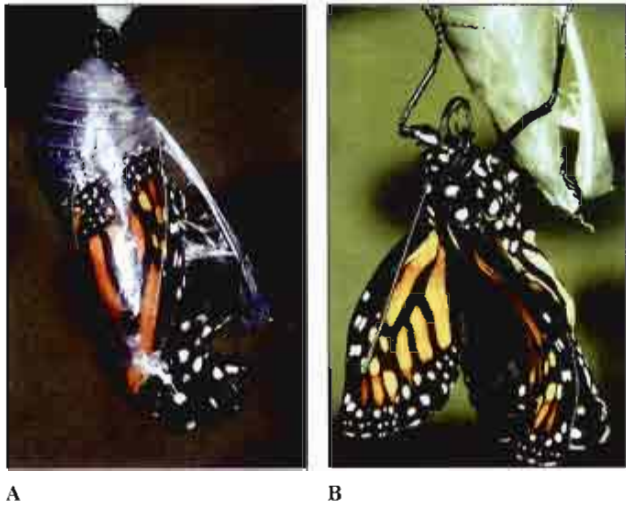


Figura 1-8

A, mariposa monarca adulta emergiendo de la pupa; B, mariposa monarca adulta completamente formada.

otro se denomina **metamorfosis**. Por ejemplo, hay muy poco parecido entre el huevo y las etapas de larva, pupa y adulto en los insectos metamórficos (Figura 1-8). Entre los animales, las primeras etapas del desarrollo son a menudo más similares entre organismos de especies emparentadas que lo son luego las etapas más tardías. En nuestra revisión de la diversidad animal, describimos todas las etapas de los ciclos vitales observados, pero nos concentramos en los estados adultos, en los que la diversidad tiende a ser más pronunciada.

7. Interacción ambiental. *Todos los animales interactúan con su entorno.* El estudio de las interacciones de los organismos con el ambiente se denomina **ecología**. Son de especial interés los factores que afectan a la distribución geográfica y a la abundancia de los animales (Capítulos 37 y 38). La ciencia de la ecología nos permite comprender cómo un organismo puede percibir los estímulos del ambiente y responder a ellos en consecuencia, adecuando su metabolismo y su fisiología (Figura 1-9). Todos los organismos reaccionan a los estímulos de su ambiente, propiedad que se denomina **irritabilidad**. El estímulo y la respuesta pueden ser simples, como es el caso de los organismos unicelulares que se mueven hacia, o se alejan de, una fuente de luz o huyen de una sustancia nociva, o pueden ser bastante complejos, como ocurre con las aves que responden a una complicada serie de señales en un ritual de cortejo (Capítulo 36). La vida y su entorno son inseparables. No podemos aislar la historia evolutiva de una estirpe de organismos de los distintos ambientes en los que se han desarrollado.

La vida obedece las leyes físicas

Para un observador poco experto, puede parecer que estas siete propiedades violan las leyes básicas de la física. El vitalismo, la idea de que la vida lleva asociada una fuerza vital mística que viola las leyes físicas y químicas, tuvo amplia aceptación durante un tiempo. La investigación biológica ha rechazado el vitalismo de forma consistente, demostrando a su vez que todos los sistemas vivos operan y evolucionan dentro de los límites de las leyes básicas de la física y la química. Las leyes que gobiernan la energía y

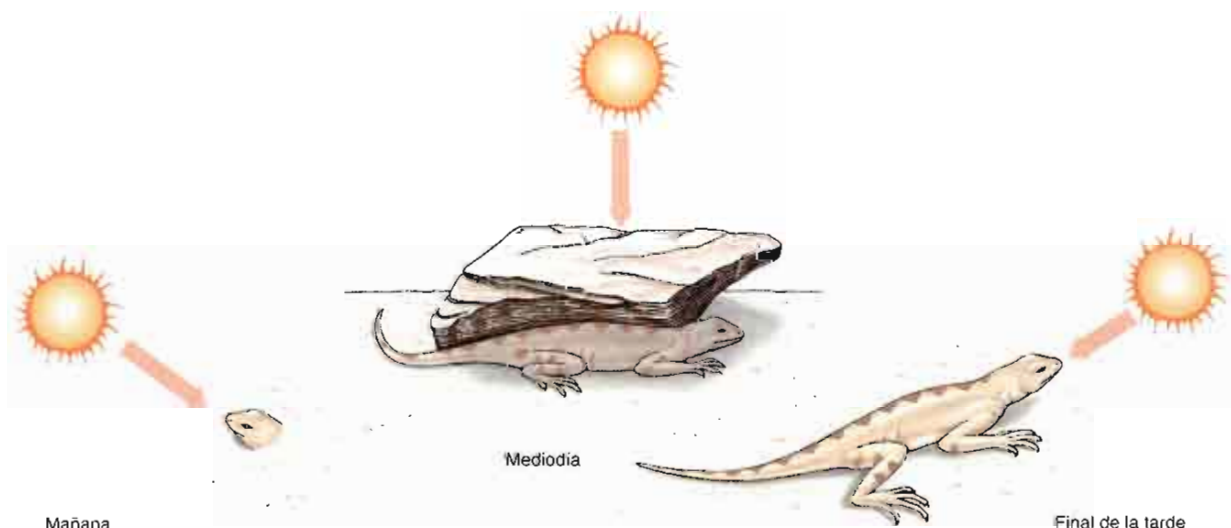


Figura 1-9

Un lagarto regula su temperatura corporal escogiendo diferentes lugares (microhábitat) en los distintos momentos del día.

sus transformaciones (termodinámica) son particularmente importantes para comprender la vida (Capítulo 4). La **primera ley de la termodinámica** es la ley de la conservación de la energía. La energía ni se crea ni se destruye, sino que puede transformarse de una forma en otra. Todos los aspectos de la vida requieren energía y su transformación. La energía que mantiene la vida en la Tierra procede de las reacciones de fusión en nuestro Sol y llega a la Tierra en forma de luz y calor. La luz solar es captada por las plantas verdes y las cianobacterias y transformada en enlaces químicos mediante el proceso de fotosíntesis. La energía de estos enlaces químicos es una forma de energía potencial que se puede liberar cuando el enlace se rompe, y se utiliza entonces para llevar a cabo diversas funciones celulares. La energía transformada y almacenada en las plantas la emplean los animales que se alimentan de ellas y éstos pueden a su vez proporcionar energía a otros animales que los coman.

La **segunda ley de la termodinámica** establece que los sistemas físicos tienden hacia un estado de desorden creciente, o **entropía**. La energía obtenida y almacenada por las plantas se libera subsecuentemente por diversos mecanismos y finalmente se disipa en forma de calor. El alto grado de organización molecular de las células vivas se alcanza y mantiene solamente mientras haya aporte de energía. El destino último de los materiales en las células es la degradación y disipación de la energía de sus enlaces químicos en forma de calor. El proceso evolutivo, en el que la complejidad de los organismos puede aumentar con el tiempo, puede parecer, en principio, que viola la segunda ley de la termodinámica, pero no es así. La complejidad de los organismos se alcanza y mantiene solamente por la utilización constante y la disipación de la energía que fluye en la biosfera procedente del Sol. La supervivencia, el crecimiento y la reproducción de los animales requieren energía que procede de la rotura de complejas moléculas de alimento en simples productos orgánicos de desecho. Los procesos por los cuales los animales adquieren energía a través de la nutrición y la respiración son el objeto de estudio de las diversas ciencias fisiológicas.

LA ZOOLOGÍA COMO PARTE DE LA BIOLOGÍA

Los animales forman una rama bien patente en el árbol evolutivo de la vida. Es una rama grande y antigua que se originó en los mares del Precámbrico hace unos 600 millones de años. Los animales forman parte de un tronco aún mayor, conocido como los **eucariontes**, organismos cuyas células contienen un núcleo limitado por una membrana. Este gran tronco incluye también a las plantas y a los hongos. Quizás la característica más distintiva de los animales como grupo resida en su modo de nutrición, que consiste en comer otros organismos. La evolución ha desarrollado este modo de vida básico mediante sistemas

muy diversos para la captura y procesamiento de una amplia variedad de alimentos y para la locomoción.

Los animales también se pueden distinguir por la ausencia de propiedades que han evolucionado en otros eucariontes. Las plantas, por ejemplo, han desarrollado la capacidad de utilizar la energía de la luz para producir compuestos orgánicos (fotosíntesis) y han producido paredes celulares rígidas que rodean a sus membranas celulares; la fotosíntesis y las paredes celulares no aparecen en los animales. Los hongos han desarrollado la capacidad de nutrirse por absorción de pequeñas moléculas orgánicas del ambiente y presentan un modelo corporal que consiste en filamentos tubulares llamados *hifas*; estas estructuras no existen en el reino animal.

Algunos organismos combinan las propiedades de animales y plantas. Por ejemplo, *Euglena* (Figura 1-10) es un organismo unicelular móvil que se asemeja a las plantas en que es fotosintético, pero se parece a los animales por su capacidad para ingerir partículas de alimento. *Euglena* es parte de una rama separada de eucariontes que divergieron de las plantas y los animales en una etapa temprana de la historia evolutiva de los eucariontes. *Euglena* y otros eucariontes unicelulares se agrupan algunas veces en el Reino Protista, aunque este Reino puede consistir en un agrupamiento arbitrario de linajes no emparentados, en cuyo caso violaría los principios taxonómicos (Capítulo 10).

Las características fundamentales, estructurales y del desarrollo, que han evolucionado en el Reino animal se tratan con detalle en los Capítulos 8 y 9.

PRINCIPIOS DE LA CIENCIA

Naturaleza de la ciencia

Ya establecimos en la primera frase de este capítulo que la zoología es el estudio científico de los animales. Por tanto, para una aproximación correcta a la zoología es necesaria la comprensión de lo que es ciencia, lo que no lo es y cómo se obtienen conocimientos mediante la utilización del método científico.

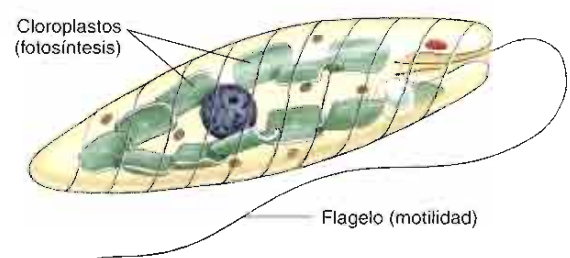


Figura 1-10

Algunos organismos, como el flagelado *Euglena* (que se muestra aquí) y *Volvox* (Figura 1-3), combinan propiedades que se asocian normalmente con los animales (motilidad) y las plantas (capacidad fotosintética).