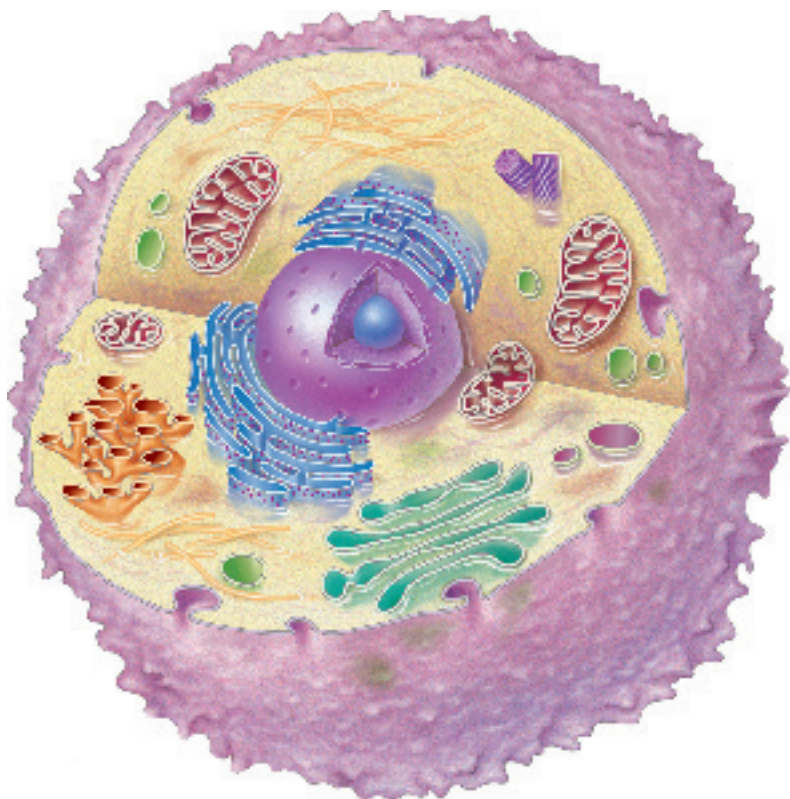


Introducción a la bioquímica



La célula viva Los organismos vivos están formados por una o más células. La capacidad que tienen las células para obtener energía, crecer y reproducirse depende de estructuras complejas.

ESQUEMA

1.1 ¿QUÉ ES LA VIDA?

1.2 BIOMOLÉCULAS

Grupos funcionales de las biomoléculas orgánicas

Clases principales de biomoléculas pequeñas

1.3 ¿ES LA CÉLULA VIVA UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS?

Reacciones bioquímicas

Energía

Generalidades del metabolismo

Orden biológico

1.4 BIOLOGÍA DE SISTEMAS

Emergencia

Robustez

Modularidad

MÉTODOS BIOQUÍMICOS

Introducción

Sinopsis

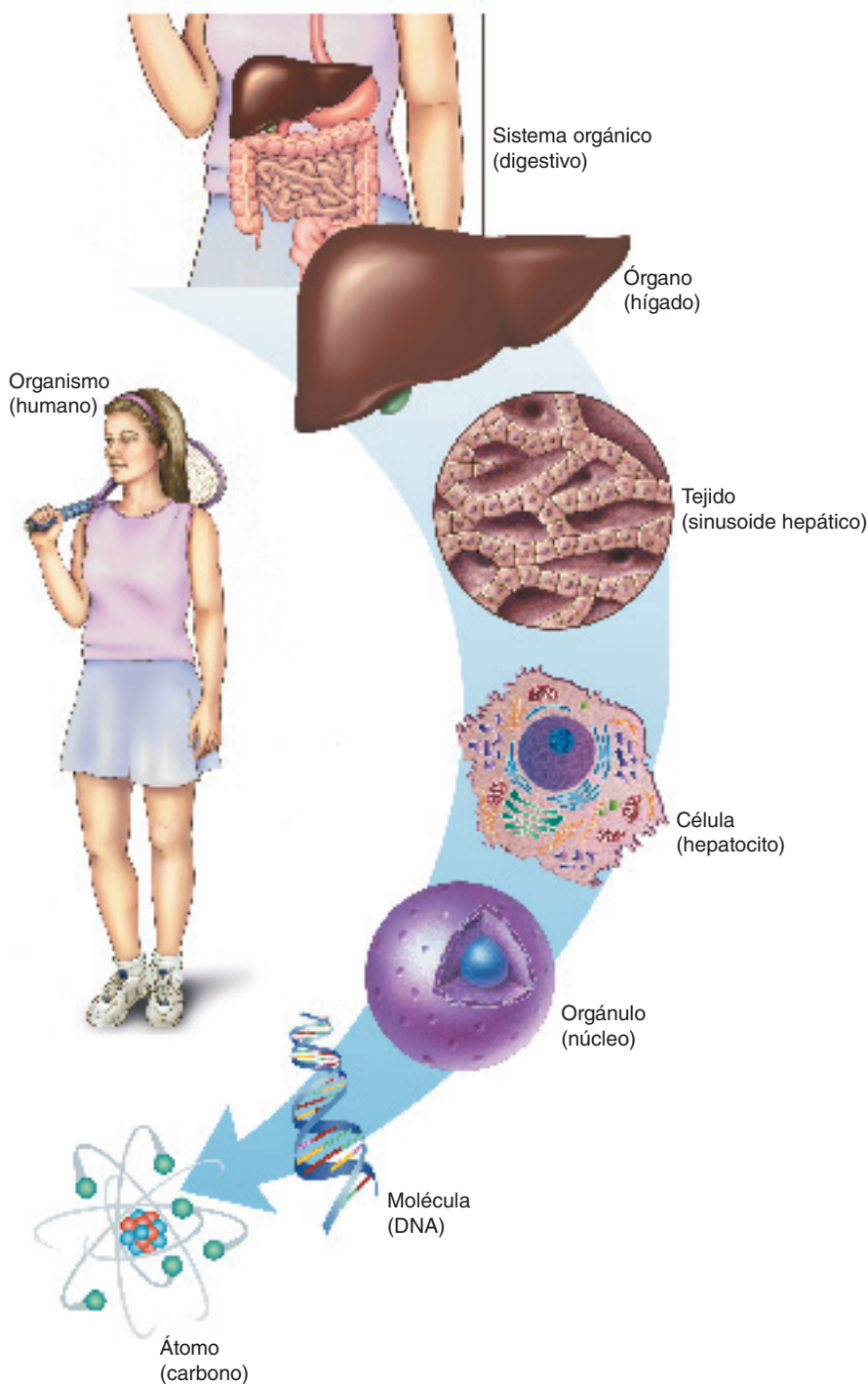
¡CUÁNTO HAN AVANZADO LAS CIENCIAS BIOLÓGICAS! EN POCO MÁS DE UN SIGLO NUESTRO CONOCIMIENTO DE LOS PROCESOS VITALES SE HA TRANSFORMADO DE forma radical. Desde sus modestos inicios a finales del siglo XIX, la bioquímica ha desarrollado herramientas intelectuales y experimentales cada vez más elaboradas para la investigación de los procesos vitales. Actualmente, en los primeros años del siglo XXI, nos hallamos inmersos en una revolución biotecnológica que nadie imaginaba. Ciencias biológicas tan diversas como la medicina, la agricultura y la ciencia forense han generado cantidades inmensas de información. Entender y apreciar la importancia de este fenómeno requiere un conocimiento exhaustivo de los principios bioquímicos subyacentes. En este capítulo se presenta una sinopsis de tales principios. Los capítulos posteriores se centran en la estructura y las funciones de las biomoléculas más importantes y los principales procesos bioquímicos que sustentan la vida.

Este libro está diseñado para proporcionar una introducción a los principios básicos de la bioquímica. El capítulo inicial presenta las generalidades de los principales componentes de los organismos vivos y los procesos biológicos. Después de una breve descripción de la naturaleza del estado vital, se presenta una introducción a las estructuras y funciones de las principales biomoléculas. Esta información va seguida por una revisión general de los procesos bioquímicos más importantes. El capítulo concluye con una breve revisión de los conceptos de la bioquímica experimental moderna y una introducción a la *biología de sistemas*, una estrategia de investigación que estudia a los seres vivos como sistemas integrados y no como conjuntos de componentes aislados y reacciones químicas.

1.1 ¿QUÉ ES LA VIDA?

¿Qué es la vida? A pesar del trabajo de los biólogos durante varios siglos, aún no hay una respuesta definitiva a esta pregunta, engañosamente sencilla. Gran parte de la dificultad para delinear la naturaleza precisa de los seres vivos recae en la abrumadora diversidad del mundo biológico y el solapamiento aparente entre algunas propiedades de la materia viva y la inanimada. Como consecuencia, se ha considerado a la vida una propiedad intangible que desafía cualquier explicación, lo que ha llevado a describirla en términos operativos, como movimiento, reproducción, adaptación y reactividad a estímulos externos. Gracias a los métodos experimentales de la bioquímica, la investigación biológica actual ha establecido que todos los organismos se rigen por las mismas leyes químicas y físicas que el resto del universo.

1. **La vida es compleja y dinámica.** Todos los organismos se encuentran constituidos por el mismo conjunto de elementos químicos, principalmente carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, azufre y fósforo. Las **biomoléculas**, es decir, las moléculas sintetizadas por los seres vivos, son orgánicas (basadas en el carbono). Los procesos vitales, como el crecimiento y el desarrollo, utilizan miles de reacciones químicas en las que moléculas muy diversas vibran y giran, interaccionan, colisionan y se reorganizan en moléculas nuevas.
2. **La vida es organizada y se sustenta a sí misma.** Los seres vivos son sistemas organizados jerárquicamente, es decir, constan de niveles de organización que van desde lo más pequeño (átomos) a lo más grande (organismos) (fig. 1.1). En los sistemas biológicos, las capacidades funcionales dentro de cada nivel de organización provienen de las propiedades estructurales y químicas del nivel sub-

**FIGURA 1.1**

Organización jerárquica de un organismo multicelular: el ser humano

Los organismos multicelulares tienen varios niveles de organización: sistemas orgánicos, órganos, tejidos, células, orgánulos, moléculas y átomos. Se muestran el sistema digestivo y uno de sus órganos componentes (el hígado). El hígado es un órgano multifuncional que posee varias funciones digestivas. Por ejemplo, produce bilis, que facilita la digestión de las grasas y procesa y distribuye las moléculas de alimento absorbidas en el intestino delgado a otras partes del cuerpo. El DNA, una molécula que se encuentra en las células, contiene la información genética que controla el funcionamiento celular.

yacente. Las biomoléculas están formadas por átomos, que a su vez constan de partículas subatómicas. Algunas biomoléculas se unen para formar polímeros, denominados **macromoléculas**. Algunos ejemplos son los ácidos nucleicos, las proteínas y los polisacáridos, que están constituidos respectivamente por nucleótidos, aminoácidos y azúcares. Las células están compuestas por diversas biomoléculas y macromoléculas, dispuestas en estructuras supramoleculares más complejas. En el plano molecular, existen cientos de reacciones bioquímicas que en conjunto mantienen la vida. Estas reacciones están catalizadas por **enzimas** y se organizan en rutas. (Una *ruta bioquímica* consta de una serie de reacciones en las que una molécula específica se convierte en un producto final.) Se denomina

metabolismo a la suma total de todas las reacciones que ocurren en un ser vivo. La capacidad de los seres vivos para regular los procesos metabólicos, a pesar de la variabilidad de sus ambientes interno y externo, se denomina **homeostasis**. En los organismos multicelulares existen otros niveles de organización que incluyen tejidos, órganos y sistemas orgánicos.

3. **La vida es celular.** Las células, las unidades básicas de los seres vivos, se diferencian mucho en su estructura y función, si bien todas están rodeadas por una membrana que controla el intercambio de numerosas sustancias químicas con el entorno. La membrana también participa en la respuesta de la célula al ambiente extracelular. Si se separan los componentes de una célula, se detiene el funcionamiento vital. Las células sólo pueden originarse mediante la división de células existentes.
4. **La vida se fundamenta en la información.** La organización requiere información. Los seres vivos son sistemas que procesan información, porque el mantenimiento de su integridad estructural y sus procesos metabólicos requiere interacciones entre un conjunto enorme de moléculas dentro de las células y entre ellas. La información biológica se expresa en forma de mensajes codificados, incluidos en la estructura tridimensional característica de las biomoléculas. La información genética, que se almacena en las secuencias lineales de nucleótidos del ácido desoxirribonucleico (DNA) denominadas **genes**, especifica a su vez la secuencia lineal de aminoácidos de las proteínas y de qué forma y cuándo se sintetizan esas proteínas. Las proteínas realizan su función al interactuar con otras moléculas. La estructura tridimensional única de cada proteína le permite unirse e interactuar con una molécula específica que tiene una estructura complementaria. La información se transfiere durante el proceso de unión. Por ejemplo, la unión de la insulina, una proteína sintetizada en el páncreas de los vertebrados, a receptores específicos de insulina en la superficie de determinadas células, es una señal que desencadena la captación de la molécula nutriente glucosa.
5. **La vida se adapta y evoluciona.** Todas las formas de vida en la Tierra tienen un origen común y las nuevas formas surgen a partir de otras precedentes. Cada vez que se reproduce un individuo de una población, las modificaciones del DNA causadas por el estrés ambiental y los errores del proceso de replicación pueden dar lugar a **mutaciones** o cambios en la secuencia. La mayoría de las mutaciones son silenciosas; es decir, las repara la célula o no tienen efectos sobre el funcionamiento del organismo. Sin embargo, algunas son nocivas y limitan el éxito reproductor de los descendientes. En ocasiones poco frecuentes, las mutaciones pueden contribuir a aumentar la capacidad del organismo para sobrevivir, adaptarse a circunstancias nuevas y reproducirse. La principal fuerza impulsora de este proceso es la capacidad de explotar fuentes de energía. Los individuos cuyas características les permiten explotar mejor una determinada fuente energética en su hábitat, tendrán una ventaja competitiva cuando los recursos sean limitados. A lo largo de muchas generaciones, la interdependencia de los cambios ambientales y la variación genética origina la acumulación de características favorables y, finalmente, formas de vida cada vez más divergentes.

CONCEPTOS CLAVE



- Todos los organismos vivos obedecen a las mismas leyes físicas y químicas.
- La vida es compleja, dinámica, organizada y automantenible.
- La vida es celular y se basa en la información.
- La vida se adapta y evoluciona.

1.2 BIOMOLÉCULAS

Los seres vivos están formados por miles de moléculas diferentes, inorgánicas y orgánicas. El agua, una molécula inorgánica, supone entre el 50 y el 95% del peso de una célula, y iones como el sodio (Na^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y calcio (Ca^{2+}) pueden representar otro 1%. Casi todas las demás clases de moléculas de los seres vivos son orgánicas. Las moléculas orgánicas están formadas principalmente por seis elementos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, y contienen cantidades mínimas (traza) de determinados elementos metálicos y no metálicos. Los átomos de los elementos más comunes en los seres vivos pueden formar con facilidad enlaces covalentes estables, el tipo de enlace que permite la construcción de moléculas tan importantes como las proteínas.

La gran diversidad y complejidad estructural de las moléculas orgánicas se debe a la capacidad de los átomos de carbono para formar cuatro enlaces covalentes simples, bien entre átomos de carbono o bien con otros elementos. Las moléculas orgánicas que contienen muchos átomos de carbono son capaces de adquirir formas complicadas, como estructuras lineales alargadas o cadenas ramificadas y anillos.

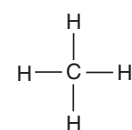
Grupos funcionales de las biomoléculas orgánicas

Se puede considerar que la mayoría de las biomoléculas deriva de la clase más simple de moléculas orgánicas, los **hidrocarburos**. Éstos (fig. 1.2) son moléculas que contienen carbono e hidrógeno y son **hidrófobas**, es decir, insolubles en agua. Todas las demás moléculas orgánicas se forman mediante la unión de otros átomos o grupos de átomos al esqueleto hidrocarbonado. Las propiedades químicas de las moléculas así construidas vienen determinadas por ciertos conjuntos específicos de átomos, denominados **grupos funcionales** (cuadro 1.1). Por ejemplo, los alcoholes se producen cuando los átomos de hidrógeno son reemplazados por grupos hidroxilo (—OH). Así, el metano (CH_4), un componente del gas natural, puede convertirse en metanol (CH_3OH), un líquido tóxico que se utiliza como disolvente en muchos procesos industriales.

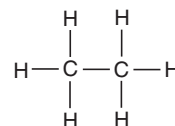
La mayoría de las biomoléculas contiene más de un grupo funcional. Por ejemplo, muchos azúcares tienen numerosos grupos hidroxilo y un grupo aldehído. Los aminoácidos, que son los elementos fundamentales de las proteínas, tienen un grupo amino y un grupo carboxilo. Las distintas propiedades químicas de cada grupo funcional contribuyen al comportamiento de las moléculas que lo contienen.

Clases principales de biomoléculas pequeñas

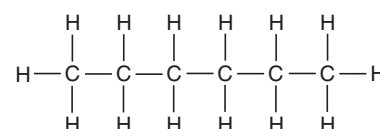
Muchos de los compuestos orgánicos que se encuentran en las células son relativamente pequeños, con pesos moleculares inferiores a 1 000 daltons (Da). (Un dalton, o unidad de masa atómica, equivale a $1/12$ de la masa de un átomo de ^{12}C .) Las células contienen cuatro familias de moléculas pequeñas: aminoácidos, monosacáridos, ácidos grasos y nucleótidos (cuadro 1.2). Los miembros de cada grupo desempeñan



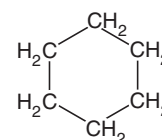
Metano



Etano



Hexano



Ciclohexano

FIGURA 1.2
Fórmulas estructurales de cuantiosos hidrocarburos

CUADRO 1.1 Grupos funcionales importantes de las biomoléculas

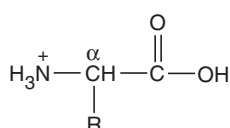
Nombre de la familia	Estructura del grupo	Nombre del grupo	Significado
Alcohol	R—OH	Hidroxilo	Polar (y por lo tanto hidrosoluble), forma enlaces de hidrógeno
Aldehído	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R—C—H} \end{array}$	Carbonilo	Polar, se encuentra en algunos azúcares
Cetona	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R—C—R}' \end{array}$	Carbonilo	Polar, se encuentra en algunos azúcares
Ácido	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R—C—OH} \end{array}$	Carboxilo	Débilmente ácido, porta una carga negativa cuando dona un protón
Amina	R—NH_2	Amino	Débilmente básico, porta una carga positiva cuando acepta un protón
Amida	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R—C—NH}_2 \end{array}$	Amido	Polar, pero no tiene carga
Tiol	R—SH	Tiol	Fácilmente oxidable; puede formar enlaces —S—S— (disulfuro)
Éster	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{R—C—O—R}' \end{array}$	Éster	Se encuentra en determinadas moléculas lipídicas
Alqueno	$\text{RCH=CHR}'$	Doble enlace	Componente estructural importante de muchas biomoléculas; p. ej., se encuentra en moléculas lipídicas

CUADRO 1.2 Clases principales de biomoléculas

Molécula pequeña	Polímero	Funciones generales
Aminoácidos	Proteínas	Catálisis y elementos estructurales
Azúcares	Carbohidratos	Fuentes energéticas y elementos estructurales
Ácidos grasos	N.A.	Fuentes energéticas y elementos estructurales de las moléculas lipídicas complejas
Nucleótidos	DNA	Información genética
	RNA	Síntesis de proteínas

varias funciones. En primer lugar, se utilizan en la síntesis de moléculas más grandes, muchas de las cuales son polímeros. Por ejemplo, las proteínas, los polisacáridos y los ácidos nucleicos son polímeros formados, respectivamente, por aminoácidos, monosacáridos y nucleótidos. Los ácidos grasos forman parte de varias clases de lípidos (moléculas insolubles en agua).

En segundo lugar, algunas moléculas tienen funciones biológicas especiales. Por ejemplo, el nucleótido trifosfato de adenosina (ATP) opera como reserva celular de energía química. Por último, muchas moléculas orgánicas pequeñas participan en rutas bioquímicas complejas. A continuación se describen ejemplos de cada clase.

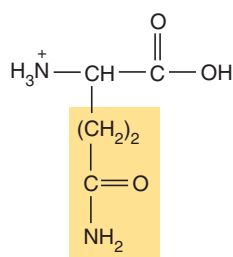
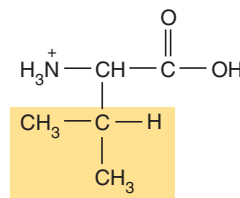
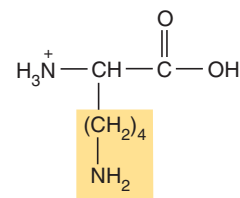
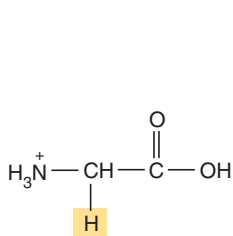
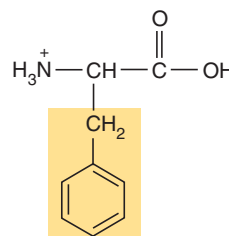
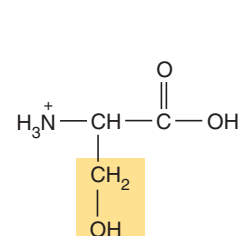
**FIGURA 1.3****Fórmula general para aminoácidos-α**

En 19 de los 20 aminoácidos estándar, el carbono α se une con un átomo de hidrógeno, un grupo carboxilo, un grupo amino y un grupo R.

AMINOÁCIDOS Y PROTEÍNAS Hay cientos de **aminoácidos** naturales, cada uno de los cuales contiene un grupo amino y un grupo carboxilo. Los aminoácidos se clasifican como α, β o γ, de acuerdo con la posición del grupo amino respecto al grupo carboxilo. En los aminoácidos α, la clase más frecuente, el grupo amino está unido al átomo de carbono (carbono α) adyacente al grupo carboxilo (fig. 1.3). En los aminoácidos β y γ, el grupo amino está unido a los carbonos segundo y tercero, respectivamente, a partir del grupo carboxilo. Otro grupo químico, denominado cadena lateral o grupo R, se une también al carbono α. Una vez incorporados a las proteínas, las propiedades químicas de cada aminoácido vienen determinadas en gran medida por las propiedades de su cadena lateral. Por ejemplo, algunas cadenas laterales son **hidrófobas** (p. ej., baja solubilidad en el agua), mientras que otras son **hidrófilas** (p. ej., se disuelven con facilidad en agua). La figura 1.4 presenta varios ejemplos de aminoácidos α.

FIGURA 1.4**Fórmulas estructurales de numerosos aminoácidos α**

Un grupo R (destacado en amarillo) en la estructura de un aminoácido puede ser un átomo de hidrógeno (p. ej., en la glicina), un grupo hidrocarbonado (p. ej., el grupo isopropilo en la valina) o un derivado del anterior (p. ej., el grupo hidroximetilo en la serina).

**Glutamina****Valina****Lisina****Glicina****Fenilalanina****Serina**

Existen 20 aminoácidos α estándar en las proteínas. Algunos de ellos tienen funciones únicas en los seres vivos. Por ejemplo, la glicina y el ácido glutámico actúan en los animales como **neurotransmisores**, moléculas señalizadoras liberadas por las células nerviosas. Las proteínas contienen también aminoácidos no estándar, que son versiones modificadas de los aminoácidos convencionales. La estructura y la función de las proteínas se alteran con frecuencia por la modificación de determinados residuos aminoácidos mediante fosforilación, hidroxilación u otros cambios químicos. (El término “residuo” se refiere a una biomolécula pequeña que se incorpora a una macromolécula, p. ej., los residuos de aminoácidos en una proteína.) En el caso del colágeno, la proteína mayoritaria del tejido conjuntivo, un porcentaje elevado de los residuos de prolina está hidroxilado. Muchos de los aminoácidos naturales no son aminoácidos α . Entre los ejemplos más notables se encuentran la β -alanina, precursor de la vitamina ácido pantoténico, y el ácido γ -aminobutírico (GABA), un neurotransmisor que se encuentra en el cerebro (fig. 1.5).

Las moléculas de aminoácido se utilizan principalmente para la síntesis de polímeros largos y complejos denominados **polipéptidos**. Las moléculas cortas, con una longitud inferior a 50 aminoácidos, se denominan **péptidos** u **oligopéptidos**. Las **proteínas** están formadas por uno o más polipéptidos. Éstos desempeñan una gran variedad de funciones en los seres vivos. Entre los ejemplos se encuentran las proteínas transportadoras, las proteínas estructurales y las enzimas (proteínas catalíticas).

Los aminoácidos individuales forman péptidos (fig. 1.6) y polipéptidos al unirse mediante **enlaces peptídicos**. Estos enlaces amida resultan de una sustitución nucleofílica en que el nitrógeno del grupo amino de un aminoácido ataca al grupo carboxilo de otro a través de su carbono carbonílico. La estructura tridimensional final de los polipéptidos, y por lo tanto su función biológica, se debe en gran medida a las interacciones entre los grupos R (fig. 1.7).

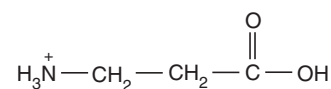
PROBLEMA 1.1

Los seres vivos generan una enorme cantidad de biopolímeros distintos al ensamblar monómeros según secuencias específicas. Un conjunto de tripéptidos, formado cada uno por tres residuos de aminoácidos, contiene sólo dos tipos distintos de aminoácidos: A y B. ¿Cuántos tripéptidos son posibles en este conjunto?

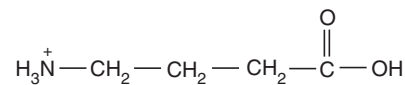
Solución

El número de tripéptidos posibles se obtiene con la fórmula X^n , donde X es el número de aminoácidos constituyentes, y n es la longitud del péptido.

Si se sustituyen los valores en la fórmula, se obtiene $2^3 = 8$. Los ocho tripéptidos son los siguientes: AAA, AAB, ABA, BAA, ABB, BAB, BBA Y BBB. ■



β -Alanina



GABA

FIGURA 1.5

Ejemplos seleccionados de aminoácidos naturales que no son α -aminoácidos: β -alanina y ácido γ -aminobutírico (GABA)

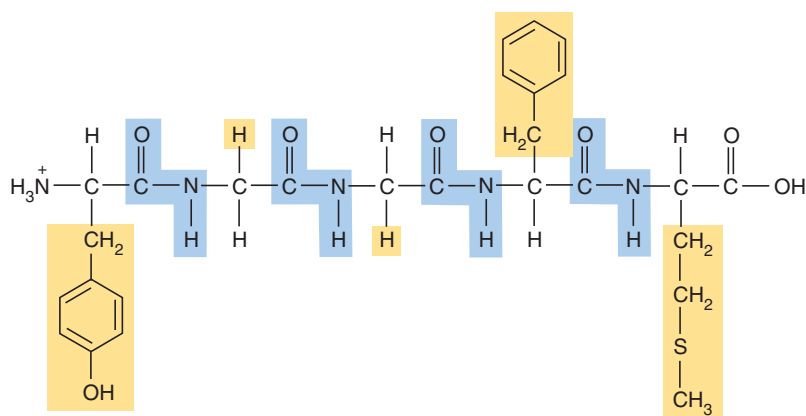
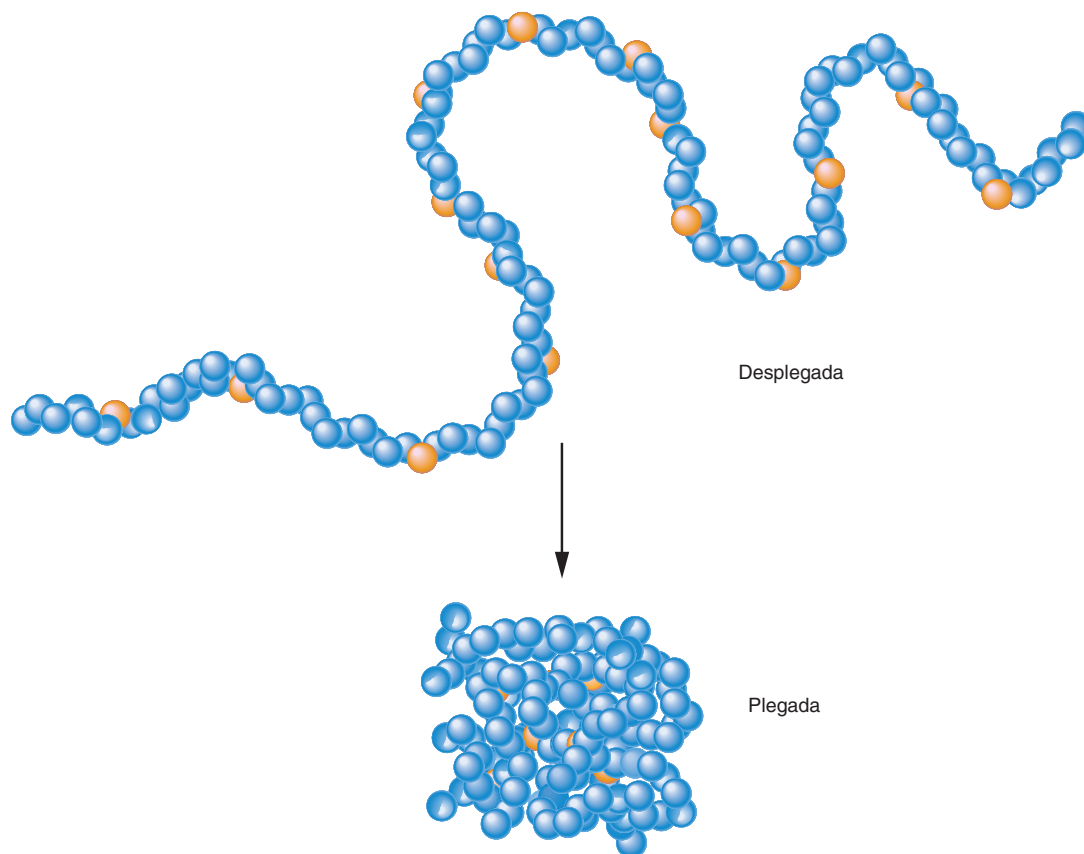


FIGURA 1.6

Estructura de la met-enkefalina, un pentapéptido

La met-enkefalina pertenece a una clase de moléculas que poseen actividad de tipo opiácea. La met-enkefalina se encuentra en el cerebro e inhibe la percepción del dolor. (Los enlaces peptídicos están sombreados en color azul. Los grupos R están destacados en color amarillo.)

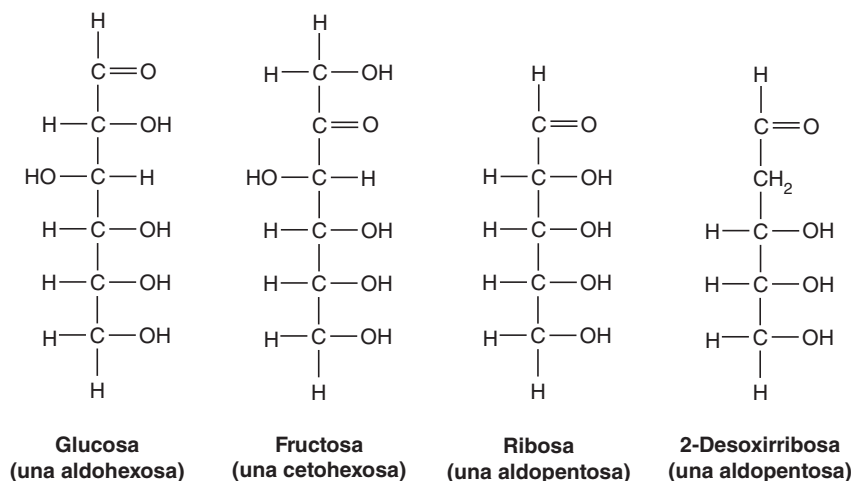
**FIGURA 1.7****Estructura polipeptídica**

Al adquirir un polipéptido su estructura tridimensional característica, al menos el 50% de los grupos R más hidrófobos (esferas amarillas) quedan escondidos en el interior, alejados del agua. Los grupos hidrófilos se encuentran generalmente en la superficie.

AZÚCARES Y CARBOHIDRATOS Los **azúcares**, los carbohidratos más pequeños, contienen grupos funcionales alcohol y carbonilo. Se describen normalmente según el número de carbonos y el tipo de grupo carbonilo que contienen. Los azúcares que poseen un grupo aldehído se denominan *aldosas* y aquellos que poseen un grupo cetona se denominan *cetos*. Por ejemplo, el azúcar de seis carbonos denominado glucosa (una fuente de energía importante para la mayoría de seres vivos) es una aldohexosa; la fructosa (azúcar de las frutas) es una cetohehexosa (fig. 1.8).

Los azúcares son las unidades básicas de los carbohidratos, las moléculas orgánicas más abundantes de la naturaleza. Los carbohidratos van desde los azúcares sencillos o **monosacáridos**, como la glucosa y la fructosa, hasta los **polisacáridos**, polímeros que contienen miles de unidades azúcar. Entre estos últimos se encuentran el almidón y la celulosa de las plantas y el glucógeno de los animales. Los carbohidratos desempeñan funciones muy diversas en los seres vivos. Determinados azúcares almacenan cantidades importantes de energía. La glucosa es la principal fuente de energía de tipo carbohidrato en animales y plantas. Muchas plantas utilizan la sacarosa para transportar eficazmente energía a través de sus tejidos. Otros carbohidratos actúan como materiales estructurales. La celulosa es el principal componente estructural de la madera y ciertas fibras vegetales. La quitina, otro tipo de polisacárido, se encuentra en el exoesqueleto de los insectos y los crustáceos.

Algunas biomoléculas incluyen carbohidratos entre sus componentes. Los nucleótidos, las subunidades estructurales de los ácidos nucleicos, contienen ribosa o desoxirribosa. Determinadas proteínas contienen también carbohidratos. Las glu-

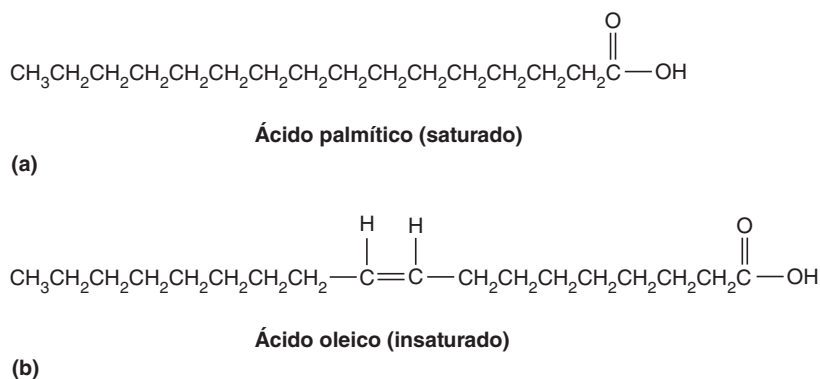
**FIGURA 1.8****Ejemplos de algunos monosacáridos con importancia biológica**

La glucosa y la fructosa son fuentes importantes de energía en los animales y en las plantas. La ribosa y la desoxirribosa son componentes de los ácidos nucleicos. Estos monosacáridos se encuentran en la naturaleza en forma de estructuras anulares.

coproteínas y glucolípidos se encuentran en la superficie externa de las membranas celulares de los organismos multicelulares, donde desempeñan funciones cruciales en las interacciones entre células.

ÁCIDOS GRASOS Los **ácidos grasos** son ácidos monocarboxílicos que en general contienen un número par de átomos de carbono. Los ácidos grasos están representados por la fórmula química $R-COOH$, en la que R es un grupo alquilo que contiene átomos de carbono e hidrógeno. Existen dos tipos de ácidos grasos: los ácidos grasos **saturados**, que no contienen enlaces dobles carbono-carbono, y aquellos ácidos grasos **insaturados**, que poseen uno o varios enlaces de este tipo (fig. 1.9). En condiciones fisiológicas el grupo carboxilo de los ácidos grasos se encuentra en el estado ionizado, $R-COO^-$. Por ejemplo, el ácido graso saturado de 16 carbonos, denominado ácido palmítico, se encuentra como palmitato, $CH_3(CH_2)_{14}COO^-$. Aunque el grupo carboxilo cargado tiene afinidad por el agua, las largas cadenas hidrocarbonadas apolares convierten a la mayoría de ácidos grasos en insolubles en agua.

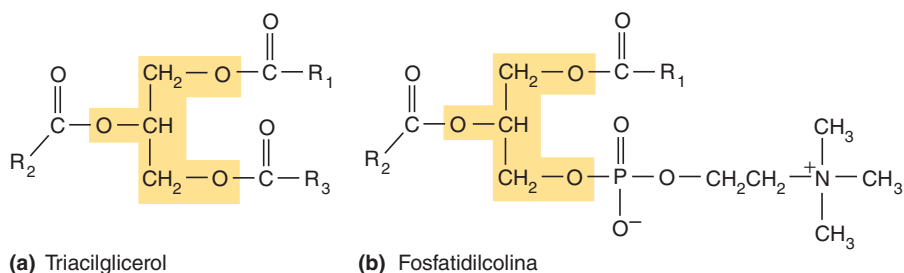
Los ácidos grasos se encuentran raramente como moléculas independientes (libres) en los seres vivos. La mayor parte se encuentra integrada en la estructura de varias clases de moléculas **lipídicas** (fig. 1.10). Los lípidos son un grupo heterogéneo de sustancias miscibles en disolventes orgánicos, como el cloroformo o la acetona, e insolubles en agua. Por ejemplo, los triacilgliceroles (grasas y aceites) son ésteres que contienen glicerol (un alcohol de tres carbonos con tres grupos hidroxilo) y tres ácidos grasos. Determinadas moléculas de lípidos semejantes a los triacilgliceroles, que se denominan fosfoglicéridos, contienen dos ácidos grasos. En estas moléculas el tercer grupo hidroxilo del glicerol está esterificado con un grupo fosfato, el cual a su vez se une a pequeños compuestos polares como la colina. Los fosfoglicéridos son componentes estructurales muy importantes de las membranas celulares.

**FIGURA 1.9****Estructura de los ácidos grasos**

(a) Ácido graso saturado. (b) Ácido graso insaturado.

FIGURA 1.10**Moléculas lipídicas que contienen ácidos grasos**

(a) Triacilglicerol. (b) Fosfatidilcolina, una clase de fosfoglicérido.

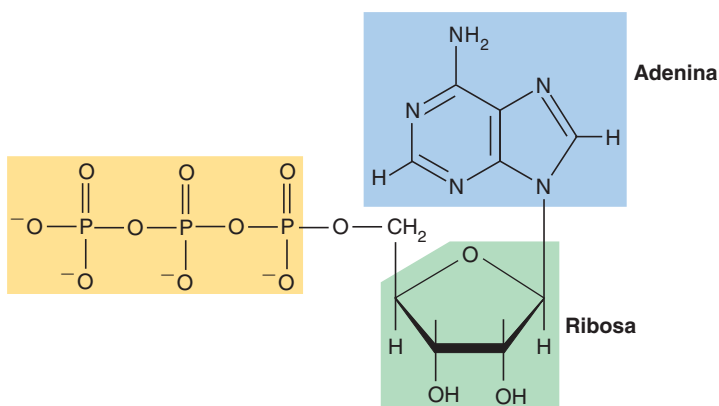


NUCLEÓTIDOS Y ÁCIDOS NUCLEICOS Cada **nucleótido** contiene tres componentes: un azúcar de cinco carbonos (ribosa o desoxirribosa), una base nitrogenada y uno o varios grupos fosfato (fig. 1.11). Las bases de los nucleótidos son anillos aromáticos heterocíclicos con varios sustituyentes. Hay dos clases de bases: las purinas bicíclicas y las pirimidinas monocíclicas (fig. 1.12).

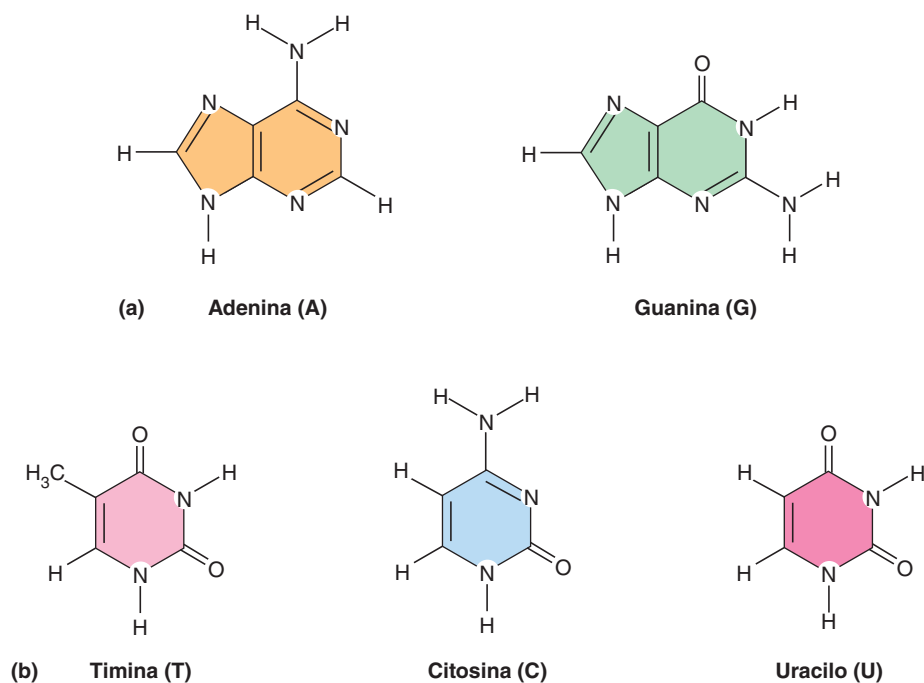
Los nucleótidos participan en una gran variedad de reacciones de biosíntesis y de obtención de energía. Por ejemplo, una proporción sustancial de la energía que se obtiene de las moléculas de los alimentos se utiliza para formar los enlaces fosfato

FIGURA 1.11**Estructura de los nucleótidos**

Cada nucleótido contiene una base nitrogenada (en este caso, adenina), un azúcar pentosa (ribosa) y uno o varios fosfatos. Este nucleótido es el trifosfato de adenosina.

**FIGURA 1.12****Bases nitrogenadas**

(a) Purinas. (b) Pirimidinas.



de alta energía del trifosfato de adenosina (ATP). Esta energía se libera cuando se hidrolizan los enlaces fosfoanhídrido. Los nucleótidos también tienen una función importante como subunidades estructurales de los ácidos nucleicos. En una molécula de **ácido nucleico**, un gran número de nucleótidos (desde centenares hasta millones) se une mediante enlaces fosfodiéster para formar largas cadenas de polinucleótidos. Hay dos clases de ácidos nucleicos: el DNA y el RNA.

DNA. El DNA (ácido desoxirribonucleico) es el sitio de almacenamiento de la información genética. Su estructura consta de dos cadenas polinucleotídicas antiparalelas que se arrollan entre sí para formar una doble hélice dextrógira (fig. 1.13). Además de la desoxirribosa y el fosfato, el DNA contiene cuatro clases de bases nitrogenadas: las **purinas** adenina y guanina y las **pirimidinas** timina y citosina. La doble hélice se forma por la unión de dos bases complementarias mediante la formación de enlaces de hidrógeno. Un enlace de hidrógeno es una fuerza de atracción entre el hidrógeno polarizado de un grupo molecular y átomos electronegativos de oxígeno o nitrógeno presentes en grupos moleculares próximos.

Todo el conjunto de secuencias de bases del DNA de un organismo constituye su genoma. El DNA consiste en secuencias codificantes y no codificantes. Las secuencias codificantes, llamadas genes, especifican la estructura de los productos génicos funcionales, como los polipéptidos y las moléculas de RNA. Algunas secuencias no codificantes tienen funciones reguladoras (p. ej., controlan la síntesis de ciertas proteínas), pero aún se desconocen las funciones de otras.

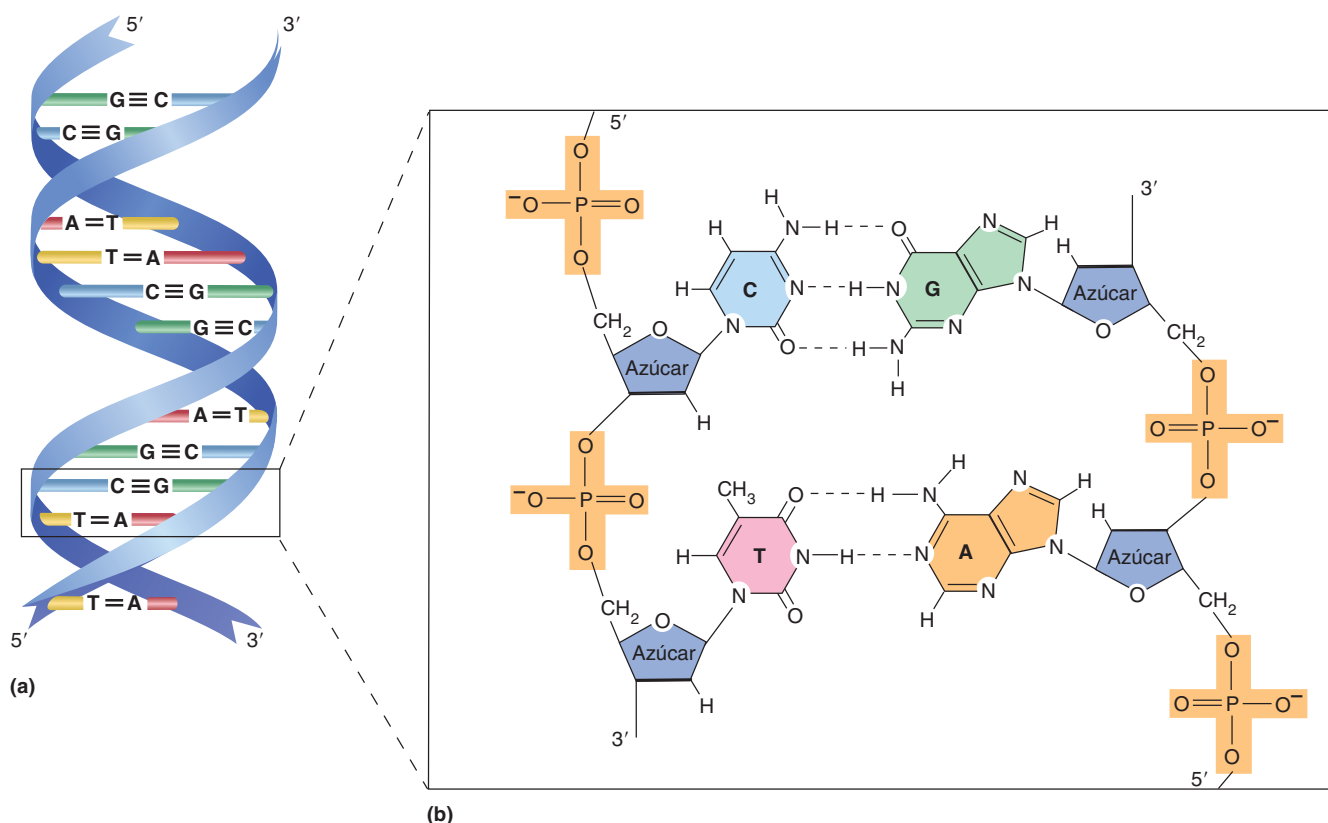


FIGURA 1.13

DNA

(a) Vista esquemática del DNA. Los esqueletos de azúcar-fosfato de la doble hélice están representados por cintas coloreadas. Las bases unidas al azúcar desoxirribosa están en el interior de la hélice. (b) Vista ampliada de dos pares de bases. Obsérvese que las dos cadenas de DNA van en direcciones opuestas definidas por los grupos 5' y 3' de la desoxirribosa. Las bases en las cadenas opuestas se aparean mediante enlaces de hidrógeno. La citosina siempre se aparea con la guanina y la timina siempre se aparea con la adenina.

CONCEPTOS CLAVE



- La mayoría de las moléculas de los seres vivos son orgánicas. Las propiedades químicas de las moléculas orgánicas están determinadas por las disposiciones específicas de los átomos, que se denominan grupos funcionales.
- Las células contienen cuatro familias de moléculas pequeñas: aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y nucleótidos.
- Las proteínas, los polisacáridos y los ácidos nucleicos son biopolímeros formados por aminoácidos, azúcares y nucleótidos, respectivamente.

RNA. El ácido ribonucleico es un polinucleótido que se diferencia del DNA en que contiene el azúcar ribosa en lugar de desoxirribosa, y la base uracilo en lugar de timina. En el RNA, como en el DNA, los nucleótidos están unidos por enlaces fosfodiéster. A diferencia de la doble hélice del DNA, el RNA es de cadena sencilla en general. Las moléculas de RNA se pliegan en estructuras tridimensionales complejas creadas por regiones de unión de bases complementarias. Cuando la doble cadena del DNA se desenrolla, una de las cadenas puede servir como plantilla. Las moléculas de RNA se sintetizan mediante el proceso de **transcripción**. La unión de pares de bases complementarias especifica la secuencia de bases nucleotídicas de la molécula de RNA. Existen tres tipos principales de RNA: el RNA mensajero (mRNA), el RNA ribosómico (rRNA) y el RNA de transferencia (tRNA). Cada secuencia o molécula individual de mRNA posee la información que codifica directamente la secuencia de aminoácidos de un polipéptido específico. Los ribosomas, que son estructuras supramoleculares grandes y complejas formadas por rRNA y proteínas, convierten la secuencia de bases del mRNA en la secuencia de aminoácidos de un polipéptido. Las moléculas de RNA de transferencia actúan como adaptadores durante la síntesis de proteínas.

En los últimos años se han descubierto numerosas moléculas de RNA que no intervienen directamente en la síntesis de proteínas. Estas moléculas de *RNA no codificadoras* (ncRNA) participan en una gran variedad de procesos celulares. Entre otros ejemplos se incluyen el RNA interferente pequeño (siRNA), microRNA (miRNA), RNA nuclear pequeño (snRNA) y RNA nucleolar pequeño (snoRNA). Los RNA interferentes pequeños son componentes esenciales del proceso de *interferencia del RNA*, un mecanismo de defensa antiviral. Los microRNA sincronizan la síntesis de mRNA, y los RNA nucleares pequeños facilitan el proceso mediante el cual las moléculas precursoras de mRNA se transforman en funcionales. Los RNA nucleolares pequeños ayudan a la maduración del rRNA durante la formación de los ribosomas.

Expresión génica. La **expresión génica** controla cuándo y cómo se accede a la información codificada en un gen. El proceso se inicia con la transcripción, el mecanismo por el que la secuencia de bases de un determinado segmento de DNA se utiliza como molde para sintetizar un producto génico. Los **factores de transcripción** son un tipo de proteínas que regula la expresión de los genes codificadores de proteínas, para lo cual se unen a secuencias específicas de DNA llamadas **elementos de respuesta**. Los factores de transcripción se sintetizan, se regulan o ambos como respuesta a un mecanismo de flujo de información iniciado por una molécula de señalización (p. ej., insulina, una proteína que regula varios procesos metabólicos) o un factor abiótico, como la luz.

1.3 ¿ES LA CÉLULA VIVA UNA FÁBRICA DE PRODUCTOS QUÍMICOS?

Incluso las células más simples tienen una capacidad bioquímica tan notable que a menudo se han considerado como fábricas de productos químicos. Igual que nuestras fábricas, los organismos adquieren de su entorno materias primas, energía e información. Manufacturan componentes y devuelven al entorno productos de desecho y calor. Para que esta analogía fuera completa, sin embargo, las fábricas no sólo tendrían que manufacturar y reparar todos sus componentes estructurales y funcionales, sino también construir todas las máquinas que los generan y clonarse a sí mismas, es decir, producir nuevas fábricas. Se ha creado el término **autopoyesis** para describir estas propiedades tan notables de los seres vivos. Cada organismo se considera así un sistema autopoyético, es decir, una entidad autónoma, autoorganizada y autosustentable. La vida surge de una red autorregulada de miles de reacciones bioquímicas.

El flujo constante de energía y nutrientes a través de los organismos y las propiedades funcionales de miles de biomoléculas catalíticas (biocatalizadores) llamados enzimas hacen posible el metabolismo. Las funciones primarias de este proceso son: (1) la adquisición y utilización de energía, (2) la síntesis de moléculas necesarias para

mantener la estructura y el funcionamiento de las células (p. ej., proteínas, carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos), (3) el crecimiento y desarrollo y (4) la eliminación de los productos de desecho. Los procesos metabólicos requieren cantidades significativas de energía útil. Esta sección comienza con una revisión de las principales clases de reacciones químicas y las características esenciales de las estrategias biológicas para obtener energía. Más adelante se describen los procesos metabólicos y los mecanismos que permiten a los seres vivos mantener sistemas ordenados.

Reacciones bioquímicas

A primera vista, las miles de reacciones que tienen lugar en las células, producen una impresión de gran complejidad. Sin embargo, algunas características del metabolismo permiten simplificar en gran medida esta percepción:

1. Aunque el número de reacciones es muy grande, la variedad de éstas es relativamente pequeña.
2. Las reacciones bioquímicas tienen mecanismos sencillos propios de las reacciones orgánicas.
3. Son relativamente pocas las reacciones que tienen una importancia central en bioquímica (p. ej., aquellas que se utilizan para producir energía, así como sintetizar y degradar los principales componentes celulares).

Entre las clases de reacción más comunes en los procesos bioquímicos se encuentran la sustitución nucleofílica, la eliminación, la adición, la isomerización y la oxidación-reducción.

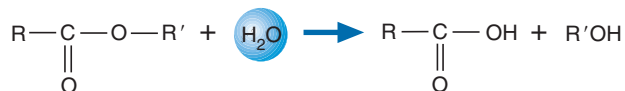
REACCIONES DE SUSTITUCIÓN NUCLEOFÍLICA En las reacciones de **sustitución nucleofílica**, como sugiere su nombre, se sustituye un átomo o grupo por otro:



En la reacción general mostrada, la especie atacante (A) se denomina **nucleófilo** (“amante del núcleo”). Los nucleófilos son aniones (átomos o grupos con carga negativa) o especies neutras que poseen pares electrónicos no enlazantes. Los **electrófilos** (“amantes de los electrones”) son deficitarios en densidad electrónica y, por lo tanto, son atacados con facilidad por un nucleófilo. Al formarse un enlace nuevo entre A y B, se rompe el existente entre B y X. El nucleófilo que sale (en este caso X), denominado **grupo saliente**, lo hace con su par de electrones.

Un ejemplo importante de sustitución nucleofílica es la reacción de la glucosa con el ATP (fig. 1.14). En esta reacción, que es el primer paso en la utilización de la glucosa como fuente de energía, el oxígeno del grupo hidroxilo del carbono 6 de la glucosa es el nucleófilo y el átomo de fósforo es el electrófilo. El grupo saliente es el difosfato de adenosina.

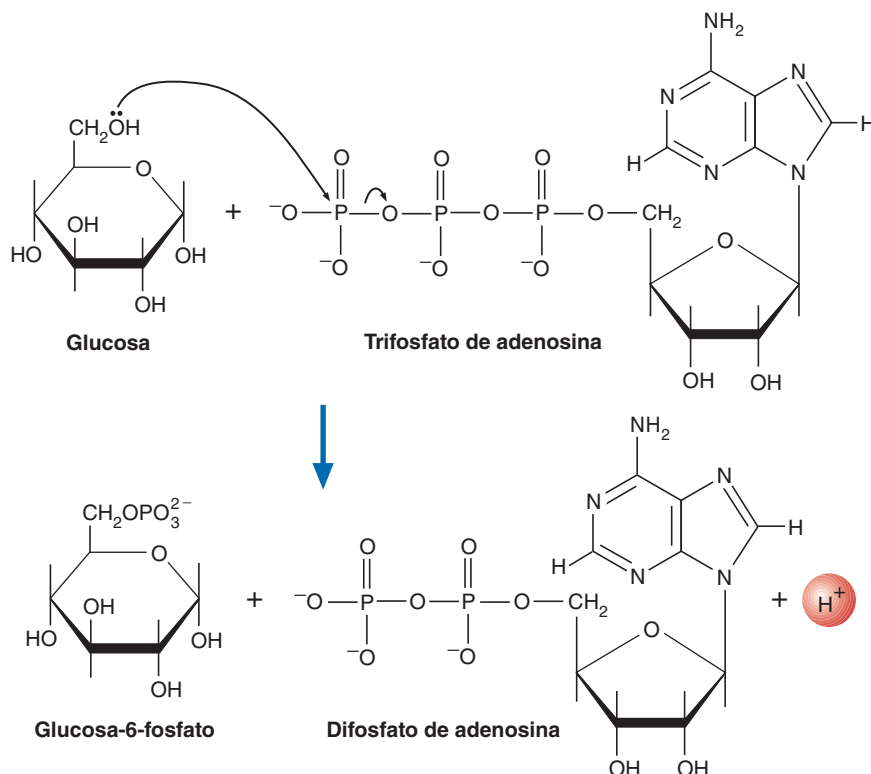
Las reacciones de **hidrólisis** son eventos de sustitución nucleofílica en los que el oxígeno de una molécula de agua actúa como nucleófilo. El electrófilo suele ser el carbono del grupo carbonilo de un éster, de una amida o de un anhídrido. (Un **anhídrido** es una molécula que contiene dos grupos carbonilo unidos por un átomo de oxígeno.)



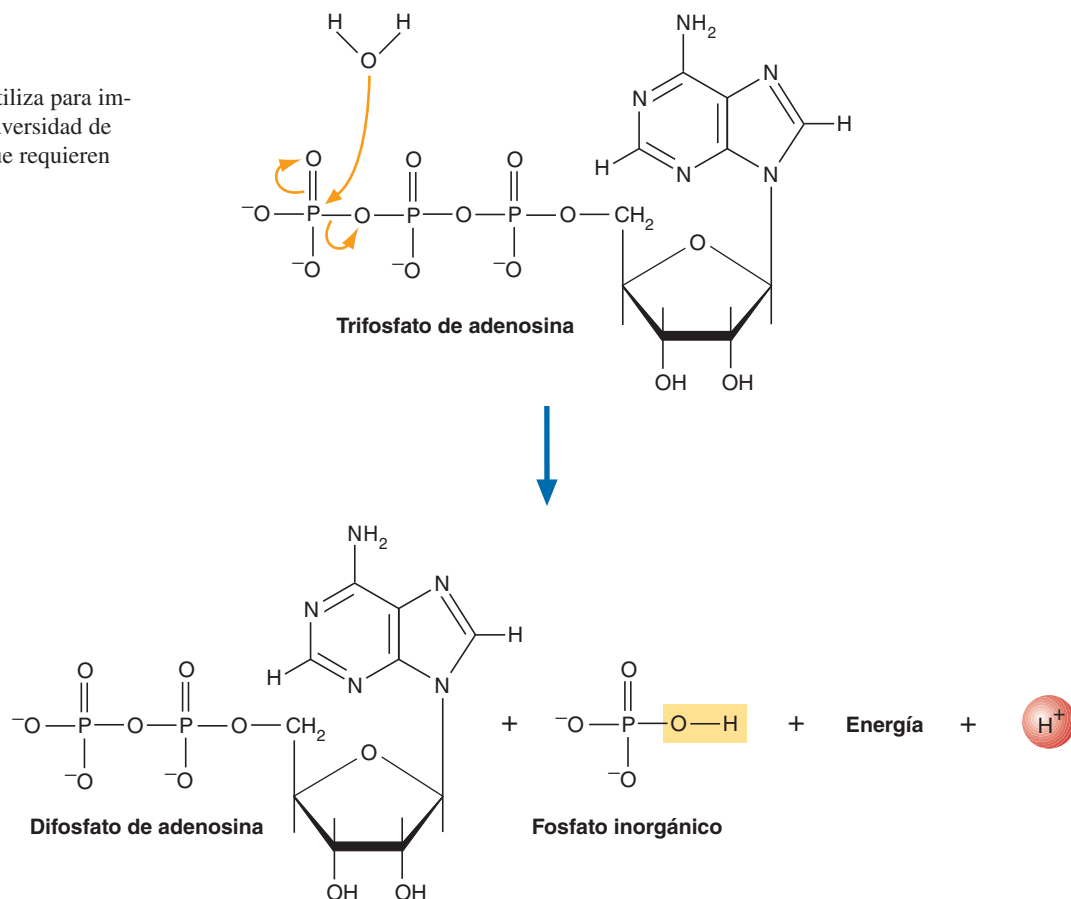
La digestión de muchos nutrientes implica reacciones de hidrólisis. Por ejemplo, las proteínas se degradan en el estómago en una reacción catalizada en condiciones ácidas. Otro ejemplo importante es la rotura de enlaces fosfato del ATP (fig. 1.15). La energía que se obtiene de esta reacción se utiliza para impulsar muchos procesos celulares.

FIGURA 1.14**Ejemplo de sustitución nucleofílica**

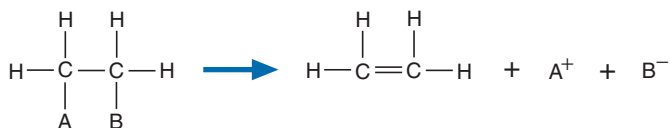
En la reacción de la glucosa con el ATP, el oxígeno del hidroxilo de la glucosa es el nucleófilo. El átomo de fósforo (el electrófilo) es polarizado por el oxígeno enlazado, de forma que porta una carga positiva parcial. Al producirse la reacción, el par de electrones sin compartir del CH_2OH del azúcar ataca al fósforo, dando lugar a la expulsión del ADP, el grupo saliente.

**FIGURA 1.15****Reacción de hidrólisis**

La hidrólisis del ATP se utiliza para impulsar una sorprendente diversidad de reacciones bioquímicas que requieren energía.

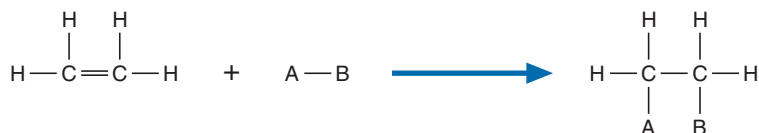


REACCIONES DE ELIMINACIÓN En las **reacciones de eliminación** se forma un doble enlace cuando se eliminan átomos de una molécula.



Una reacción frecuente que afecta a las moléculas con grupos funcionales de alcohol es la eliminación de agua (H_2O). Un ejemplo destacado es la deshidratación del 2-fosfoglicerato, un paso importante en el metabolismo de los carbohidratos (fig. 1.16). Otros productos de las reacciones de eliminación son el amoníaco (NH_3), las aminas (RNH_2) y los alcoholes (ROH).

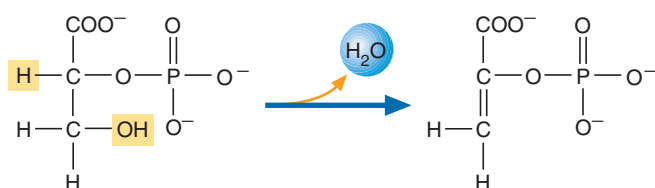
REACCIONES DE ADICIÓN En las **reacciones de adición** se combinan dos moléculas para formar un solo producto.



La **hidratación** es una de las reacciones de adición más comunes. Cuando se añade agua a un alqueno se produce un alcohol. Un ejemplo bien estudiado es la hidratación del intermediario metabólico fumarato para formar malato (fig. 1.17).

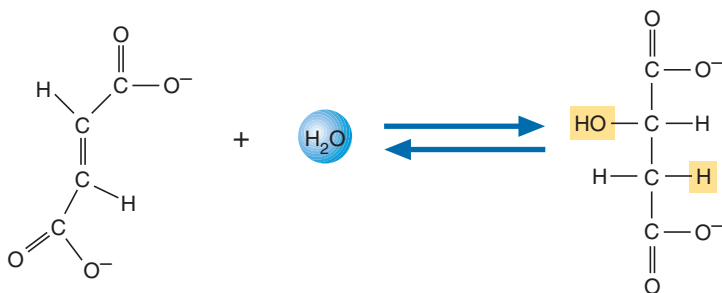
REACCIONES DE ISOMERIZACIÓN En las reacciones de **isomerización** los átomos o los grupos experimentan cambios intramoleculares. Una de las isomerizaciones bioquímicas más comunes es la conversión recíproca entre aldosas y cetosas (fig. 1.18).

REACCIONES DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN Las **reacciones de oxidación-reducción** (también denominadas reacciones **redox**) ocurren cuando hay una transferencia de electrones desde un donador (denominado **agente reductor**) a un aceptor (denominado **agente oxidante**). Cuando los agentes reductores ceden electrones quedan **oxidados**. Al aceptar electrones, los agentes oxidantes quedan **reducidos**. Los dos procesos suceden forzosamente de forma simultánea.



2-Fosfoglicerato

Fosfoenolpiruvato



Fumarato

Malato

FIGURA 1.16**Reacción de eliminación**

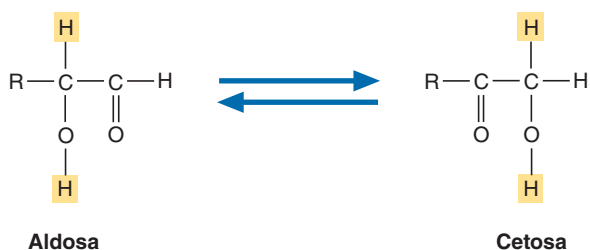
Cuando se deshidrata el 2-fosfoglicerato se forma un doble enlace.

FIGURA 1.17**Reacción de adición**

Cuando se añade agua a una molécula que contiene un doble enlace, como el fumarato, se produce un alcohol.

FIGURA 1.18**Reacción de isomerización**

Una clase de reacción bioquímica que se observa con frecuencia es la interconversión reversible de los isómeros de aldosa y cetosa.



No siempre es fácil determinar si las biomoléculas han ganado o perdido electrones. Sin embargo, pueden utilizarse dos reglas sencillas para averiguar si una molécula se ha oxidado o reducido:

1. Se produce una oxidación cuando un átomo de carbono gana oxígeno o pierde hidrógeno:



2. Se produce una reducción cuando un átomo de carbono pierde oxígeno o gana hidrógeno:

**CONCEPTO CLAVE**

Las clases de reacciones más comunes que se encuentran en los procesos bioquímicos son la sustitución nucleofílica, la eliminación, la adición, la isomerización y la oxidación-reducción.

En las reacciones redox biológicas, los electrones se transfieren a aceptores como el nucleótido NAD^+/NADH (dinucleótido de nicotinamida y adenina en forma oxidada/reducida).

Energía

La **energía** se define como la capacidad para realizar un trabajo, es decir, mover materia. A diferencia de nuestras máquinas, que transforman y utilizan la energía en condiciones inhóspitas en cuanto a temperatura, presión y corriente eléctrica, las frágiles máquinas moleculares de los seres vivos deben operar en condiciones mucho más sutiles. Las células generan la mayoría de su energía mediante reacciones redox en las que se transfieren electrones desde una molécula oxidable hasta una molécula con déficit electrónico. En estas reacciones, los electrones se eliminan o añaden con frecuencia en forma de átomos de hidrógeno (H^\bullet) o iones hidruro (H^-). Cuanto más reducida está una molécula (es decir, cuantos más átomos de hidrógeno posee), más energía contiene. Por ejemplo, los ácidos grasos contienen en proporción más átomos de hidrógeno que los azúcares y por tanto producen más energía durante su oxidación. Cuando se oxidan los ácidos grasos y los azúcares, sus átomos de hidrógeno se incorporan a las coenzimas redox FAD (dinucleótido de flavina y adenina) o NAD^+ , respectivamente. (Las coenzimas son moléculas pequeñas que operan junto con algunas enzimas y sirven como transportadores de grupos moleculares pequeños o, en este caso, electrones.) Los productos reducidos de este proceso (FADH_2 o NADH , respectivamente) transfieren posteriormente sus electrones a otro aceptor.

Siempre que se transfiere un electrón se libera energía. Las células poseen mecanismos complejos para explotar este fenómeno, de tal forma que parte de la energía liberada pueda ser aprovechada para las necesidades celulares. La característica más destacada de la obtención de energía en la mayoría de las células es la de un flujo electrónico a través de moléculas transportadoras conectadas e inmersas en una membrana. Mediante un proceso regulado, se libera energía y se transfieren electrones entre las moléculas transportadoras. Algunas de estas reacciones redox disipan suficiente energía para promover la síntesis de ATP, la molécula que suministra energía de forma directa para mantener organizadas las funciones y estructuras celulares.

A pesar de sus numerosas semejanzas, los distintos grupos de seres vivos difieren en sus estrategias para adquirir energía del entorno. Los **autótrofos** transforman la energía del sol (**fotosíntesis**) o de algunos compuestos químicos (**quimiosíntesis**) para crear enlaces químicos; se les denomina, respectivamente, **fotoautótrofos** y **quimioautótrofos**. Los **heterótrofos** obtienen energía degradando moléculas de alimento previamente formadas por otros organismos. Los **quimioheterótrofos** utilizan las moléculas de los alimentos como única fuente de energía. Algunos organismos procariotas y un pequeño número de vegetales (p. ej., *Sarracenia alata*, que captura y digiere insectos) son **fotoheterótrofos**, es decir, utilizan como fuentes de energía tanto la luz solar como biomoléculas orgánicas.

La fuente principal de energía para la mayoría de seres vivos es el sol. Organismos fotosintéticos como plantas, determinadas procariotas y las algas, captan directamente energía lumínica y la utilizan para fijar dióxido de carbono (CO_2) en azúcares y otras biomoléculas. Las especies quimioautótrofas obtienen la energía necesaria para la fijación de CO_2 oxidando sustancias inorgánicas como sulfuro de hidrógeno (H_2S), nitrito (NO_2^-) o hidrógeno gaseoso (H_2). La biomasa producida en ambos tipos de procesos es consumida a su vez por heterótrofos que la usan como fuente de energía y de precursores estructurales. En cada paso, al reordenarse los enlaces moleculares, parte de la energía se captura y utiliza para sustentar las complejas estructuras y actividades del organismo. En última instancia toda la energía se desorganiza y se libera al entorno en forma de calor. Las rutas metabólicas que permiten a los seres vivos obtener y utilizar energía se describen brevemente en la siguiente sección. Después se revisan los mecanismos fundamentales mediante los cuales se mantiene el orden celular.

Generalidades del metabolismo

Son todas las reacciones catalizadas por enzimas de un ser vivo. Muchas de estas reacciones están organizadas en vías metabólicas (fig. 1.19), en las que una molécula inicial se va transformando de forma gradual en un producto que la célula utiliza para un fin específico. Por ejemplo, la glucólisis, la ruta generadora de energía que degrada al azúcar glucosa, está constituida por 10 reacciones químicas. Todos los procesos metabólicos de un organismo determinado conforman un vasto patrón reticular de reacciones bioquímicas interconectadas, reguladas de tal manera que se conserven los recursos y se optimice la energía. Existen tres clases de rutas bioquímicas: las metabólicas, las de transferencia de energía y las de transducción de señales.

VÍAS METABÓLICAS Existen dos tipos de vías metabólicas: las anabólicas y las catabólicas. En las **vías anabólicas** o biosintéticas, se producen moléculas complejas a partir de precursores más pequeños. Las unidades estructurales básicas (p. ej., los aminoácidos, los azúcares y los ácidos grasos), producidas por el organismo o adquiridas de los alimentos, se integran en moléculas más grandes y complejas. Dado que la biosíntesis aumenta el orden y la complejidad, las vías anabólicas requieren un aporte de energía. Entre los procesos anabólicos se incluyen la síntesis de polisacáridos y de proteínas, a partir de azúcares y aminoácidos, respectivamente. En las **vías catabólicas** moléculas grandes y complejas se degradan a productos más pequeños y sencillos. Algunas rutas catabólicas liberan energía útil. Una fracción de esta energía se captura y se utiliza para llevar a cabo reacciones anabólicas.

En la figura 1.20 se explica la relación entre los procesos anabólicos y catabólicos. Al degradarse las moléculas de los nutrientes, la energía y el poder reductor (los electrones de alta energía) se conservan en las moléculas de ATP y de NADH, respectivamente. Los procesos de biosíntesis utilizan metabolitos del catabolismo, así como ATP y NADPH (fosfato de dinucleótido de nicotinamida y adenina reducido, una fuente de poder reductor) para generar estructuras y funciones complejas.

VÍAS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA Estas rutas capturan energía y la convierten en utilizable por los organismos para llevar a cabo procesos biomoleculares. Un ejemplo lo constituye la absorción de energía lumínica por las moléculas de clorofila y las reacciones redox subsiguientes, que liberan la energía química necesaria para sintetizar una molécula de azúcar.

CONCEPTO CLAVE



En los seres vivos la energía, la capacidad para mover la materia, normalmente se genera mediante reacciones redox.

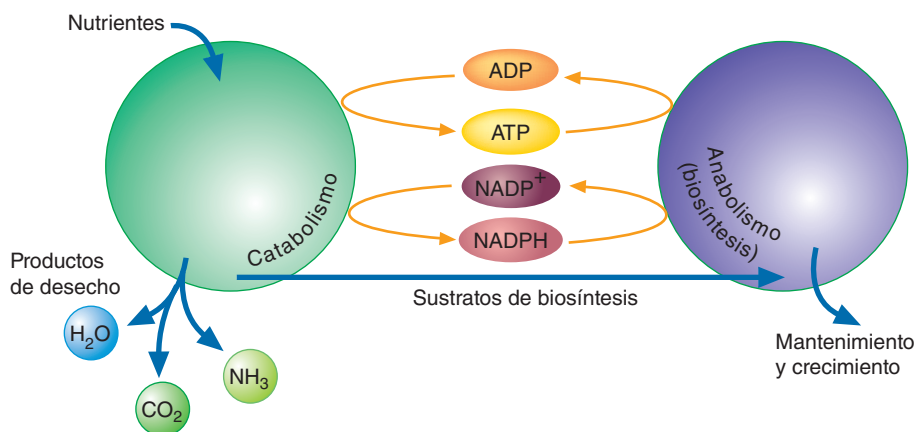


FIGURA 1.19
Una ruta bioquímica

En esta ruta bioquímica la biomolécula A se convierte en la biomolécula D mediante tres reacciones consecutivas. Cada reacción está catalizada por una enzima específica (E).

FIGURA 1.20**Anabolismo y catabolismo**

En los organismos que utilizan oxígeno para generar energía, las vías catabólicas transforman los nutrientes en moléculas pequeñas, que sirven como materiales de partida. La energía (ATP) y el poder reductor (NADPH) que impulsan las reacciones de biosíntesis se generan durante los procesos catabólicos al convertirse determinadas moléculas nutrientes en productos de desecho, como dióxido de carbono y agua.

**CONCEPTOS CLAVE**

- El metabolismo es la suma de todas las reacciones catalizadas por enzimas en un ser vivo.
- Existen tres clases de rutas bioquímicas: metabólicas (anabólica y catabólica), de transferencia de energía y de transducción de señales.

TRANSDUCCIÓN DE SEÑALES Las vías de **transducción de señales** permiten a las células recibir información de su entorno y responder a ella. El mecanismo de transducción de señales consta de tres fases: recepción, transducción y respuesta. En la fase inicial o de recepción, una molécula señalizadora como una hormona o un nutriente se une a una proteína receptora. Esta unión inicia la fase de transducción, una cascada de reacciones intracelulares que desencadena la respuesta celular a la señal original. Por ejemplo, la glucosa se une a su receptor en las células pancreáticas secretoras de insulina, con lo cual ésta se libera en el torrente sanguíneo. En general las respuestas se traducen en un aumento o disminución de la actividad de enzimas ya existentes o en la síntesis de nuevas moléculas enzimáticas.

Orden biológico

La unidad coherente que se observa en todos los seres vivos implica la integración funcional de millones de moléculas. En otras palabras, la vida muestra una complejidad muy organizada. A pesar de la gran disparidad de procesos vitales que contribuyen a generar y mantener el orden biológico, la mayoría de éstos puede clasificarse dentro de una de las siguientes categorías: (1) síntesis y degradación de biomoléculas, (2) transporte de iones y moléculas a través de membranas celulares, (3) producción de fuerza y movimiento y (4) eliminación de desechos metabólicos y de otras sustancias tóxicas.

SÍNTESIS DE BIOMOLÉCULAS Los componentes celulares se sintetizan a través un intrincado conjunto de reacciones químicas, muchas de las cuales requieren energía; ésta es aportada de manera directa o indirecta por moléculas de ATP. Las moléculas que se forman en las reacciones de biosíntesis realizan numerosas funciones. Pueden ensamblarse en estructuras supramoleculares (p. ej., las proteínas y los lípidos que constituyen las membranas), funcionar como portadoras de información (p. ej., el DNA y el RNA), o catalizar reacciones químicas (p. ej., las enzimas).

TRANSPORTE A TRAVÉS DE MEMBRANAS Las membranas celulares regulan el paso de iones y moléculas de un compartimento a otro. Por ejemplo, la membrana plasmática (la membrana externa de las células) es una barrera selectiva. Es responsable del transporte de determinadas sustancias, como los nutrientes que proceden de un entorno relativamente desorganizado al interior celular, más ordenado. Del mismo modo, hay un transporte bidireccional de iones y moléculas en los organelos. Por ejemplo, los ácidos grasos se transportan al interior de un organelo denominado mitocondria para que puedan degradarse y generar energía.

MOVIMIENTO CELULAR Una de las características más destacadas de los seres vivos es el movimiento organizado. Las actividades complejas y coordinadas que se requieren para mantener la vida necesitan de la movilidad de los componentes celulares. Algunos ejemplos en eucariotas son la división celular y el movimiento organelar.

Ambos procesos dependen en gran medida de la estructura y el funcionamiento dinámico de una red compleja de filamentos proteínicos conocida como *citoesqueleto*. Las formas de movimiento celular influyen sobremanera en la capacidad de los organismos para crecer, reproducirse y competir por unos recursos limitados. Como ejemplo, considérese el movimiento de los protistas en su búsqueda de alimento en una charca, o la migración de los leucocitos humanos en su persecución de células extrañas durante una infección. Otros ejemplos más sutiles son el movimiento de enzimas específicas a lo largo de una molécula de DNA durante la replicación cromosómica que precede a la división celular o la secreción de insulina por determinadas células pancreáticas.

ELIMINACIÓN DE RESIDUOS Todas las células vivas producen compuestos de desecho. Por ejemplo, las células animales transforman en última instancia nutrientes como azúcares y aminoácidos en CO_2 , H_2O y NH_3 . Estas moléculas pueden ser tóxicas si no se eliminan adecuadamente. Dicha eliminación es sencilla en algunos casos. Así, el CO_2 difunde en los animales al espacio extracelular y desde allí, tras una conversión breve y reversible a bicarbonato por los eritrocitos, se exhala rápidamente a través del sistema respiratorio. El exceso de H_2O se excreta a través de los riñones. Otras moléculas son tan tóxicas, sin embargo, que los seres vivos han desarrollado mecanismos complejos para llevar a cabo su eliminación. El ciclo de la urea (que se describe en el capítulo 15) es un mecanismo para transformar el amoníaco libre y el exceso de nitrógeno de los grupos amino en urea, una molécula menos tóxica. Esta molécula se elimina del organismo a través de los riñones, como un componente importante de la orina.

Las células contienen también una gran variedad de moléculas potencialmente tóxicas que deben eliminarse. Las células vegetales resuelven este problema transportando dichas moléculas a la vacuola, donde se degradan o se almacenan. Sin embargo, los animales deben utilizar mecanismos de eliminación que dependen de su solubilidad en agua (p. ej., la formación de orina en el riñón). Las sustancias hidrofóbicas que no pueden fragmentarse en moléculas más sencillas, como las hormonas esteroideas, se transforman en derivados hidrosolubles mediante reacciones específicas. Este mecanismo también se utiliza para solubilizar otras moléculas orgánicas, como fármacos y contaminantes ambientales.

CONCEPTO CLAVE



En los seres vivos, los procesos de complejidad altamente ordenada son mantenidos por un aporte constante de energía.

1.4 BIOLOGÍA DE SISTEMAS

Los conocimientos generales que se han presentado en este capítulo proceden de la aplicación de herramientas de investigación basadas en el *reduccionismo*. Esta poderosa estrategia, mecanicista en su concepción, estudia el “todo” biológico mediante su “reducción” a las partes que lo componen. A su vez cada parte individual se subdivide, de modo que sea posible determinar las propiedades físico-químicas de sus moléculas y las conexiones entre ellas. El gran avance experimentado por las ciencias biológicas modernas no hubiera sido posible sin la filosofía reduccionista. Pero ésta presenta limitaciones relevantes, puesto que asume que un conocimiento suficientemente detallado de las partes conduce a una comprensión completa del fenómeno. A pesar de los intensos esfuerzos dedicados a esta tarea, todavía está lejos la comprensión plena de los procesos dinámicos de la vida.

En las últimas décadas ha suscitado gran interés un nuevo enfoque, denominado biología de sistemas, que pretende lograr un entendimiento más profundo de los seres vivos. A partir de algunos principios de ingeniería desarrollados inicialmente para construir reactores de propulsión a chorro, la **biología de sistemas** considera a los organismos vivos como sistemas integrados. Cada sistema permite realizar determinadas funciones. En un animal, uno de estos sistemas es el aparato digestivo, que consiste en un conjunto de órganos cuya misión es descomponer los alimentos en moléculas que puedan ser absorbidas por las células intestinales.

Aunque los sistemas diseñados por el ser humano y los seres vivos presentan similitudes notables en algunos aspectos, son significativamente distintos en otros. La diferencia más importante está en el diseño. Cuando los ingenieros planifican

un sistema mecánico o eléctrico complejo, cada componente se crea para realizar una función precisa, y no existen interacciones superfluas o imprevistas entre los componentes de la red. Si consideramos por ejemplo el cableado de una aeronave, cada cable individual está aislado del resto para evitar cortocircuitos. En cambio, los sistemas biológicos han evolucionado por ensayo y error en el transcurso de cientos de millones de años. La evolución, que es la respuesta de las poblaciones biológicas a las presiones de la selección natural, ha sido posible merced a la capacidad de éstas para generar diversidad genética mediante la mutación, las duplicaciones génicas y la adquisición de genes nuevos procedentes de otros organismos. Los componentes de los seres vivos, a diferencia de las partes diseñadas por los ingenieros, no tienen funciones tan precisas, estando además permitida la superposición de tareas. Muchos sistemas bioquímicos se han vuelto extraordinariamente complejos, debido en parte a que son inevitables las interacciones entre los componentes establecidos y partes nuevas potencialmente útiles para el sistema (p. ej., las resultantes de duplicaciones génicas seguidas de mutaciones).

El nuevo enfoque sistemático reviste especial utilidad, dada la incapacidad de la mente humana para analizar las cientos de reacciones bioquímicas que ocurren simultáneamente en un organismo. Para abordar este problema, los biólogos de sistemas han desarrollado nuevos modelos matemáticos y programas informáticos encaminados a comprender, partiendo de datos bioquímicos empíricos, cómo operan estos procesos en el tiempo y en condiciones variables. El potencial de estos modelos se basa en el manejo de grandes bases de datos, con información precisa sobre las concentraciones reales de las biomoléculas y las velocidades de las reacciones bioquímicas en que están implicadas durante el funcionamiento celular. Aunque estas series de datos son todavía incompletas, dicho método analítico ha producido ya algunos éxitos notables. La tecnología necesaria para identificar y cuantificar biomoléculas de todos los tipos sigue depurándose. Los biólogos de sistemas han identificado tres principios centrales que sustentan las complejas y diversas vías bioquímicas descritas en este libro: surgimiento (emergencia), robustez y modularidad.

Emergencia

Se ha descubierto que no siempre es posible comprender el comportamiento de los sistemas complejos a partir del conocimiento de las propiedades de sus partes integrantes. En cada nivel de organización del sistema surgen nuevas propiedades no previstas a partir de interacciones entre las partes. Por ejemplo, la hemoglobina (la proteína que transporta oxígeno en la sangre) necesita hierro ferroso (Fe^{2+}) para funcionar. Si bien el hierro se oxida con facilidad en el mundo inanimado, en la hemoglobina no suele oxidarse aunque se una de forma directa al oxígeno durante el proceso de transporte. Los aminoácidos que recubren el sitio de unión protegen al Fe^{2+} contra la oxidación. Esta protección del hierro ferroso en la hemoglobina es una **propiedad emergente**, es decir, una propiedad conferida por la complejidad y la dinámica del sistema.

Robustez

Los sistemas que permanecen estables a pesar de las perturbaciones se denominan *robustos*. Por ejemplo, el piloto automático de los aviones mantiene una trayectoria de vuelo determinada a pesar de fluctuaciones inevitables en la velocidad del viento o en el funcionamiento mecánico del avión. Todos los sistemas robustos son necesariamente complejos, debido a que la prevención de incidencias requiere un conjunto integrado de mecanismos automáticos que evite los fallos. La robustez de los sistemas mecánicos creados por el ser humano se consigue mediante *redundancia*, es decir, partes duplicadas (p. ej., los generadores eléctricos de emergencia de un aeroplano). Aunque el diseño de los organismos incluye a veces partes redundantes, la robustez de los sistemas biológicos deriva en gran medida de la **degeneración**, esto es, de la capacidad que tienen algunas partes estructuralmente diferentes para realizar funciones idénticas o similares. El código genético proporciona un ejemplo sencillo y bien conocido. De las 64 secuencias de tres bases (llamadas codones) que son posibles en una molécula de mRNA, 61 codones codifican un total de 20 aminoácidos durante la

síntesis de proteínas. Dado que la mayoría de los aminoácidos viene codificada por más de un codón, la degeneración del código genético supone una protección contra mutaciones por sustitución de bases.

Los sistemas robustos tienen elaborados mecanismos de control. En los seres vivos el tipo más común es el **control por retroalimentación** (fig. 1.21), un mecanismo de autorregulación en el cual el producto de un proceso actúa modificando el propio proceso, ya sea de manera negativa o positiva. En la *retroalimentación negativa*, la más común, un producto que se acumula desacelera su propia producción. Muchas rutas bioquímicas son reguladas mediante retroalimentación negativa. Típicamente, el producto de una vía metabólica inhibe una enzima del comienzo de dicha ruta. En el control por *retroalimentación positiva*, el producto incrementa su propia producción. Esta forma de control se encuentra con menos frecuencia en los seres vivos porque tal mecanismo es potencialmente desestabilizador. Si no se controla de manera cuidadosa, el efecto amplificador de un ciclo de retroalimentación positiva puede causar el colapso del sistema. Por ejemplo, en la coagulación sanguínea el conjunto de plaquetas que taponan un vaso sanguíneo dañado no se expande de forma continuada, porque las células sanas adyacentes liberan inhibidores.

Los sistemas a prueba de fallos son costosos, tanto en mecanismos artificiales como en los seres vivos. Restricciones como la disponibilidad de energía hacen necesario establecer prioridades en la asignación de recursos. Así, aunque los sistemas suelen estar protegidos contra cambios ambientales frecuentes, no sucede lo mismo contra episodios lesivos raros o infrecuentes. Esta vulnerabilidad, que recibe el nombre de *fragilidad*, es otra característica inherente a los sistemas robustos. El cáncer, un grupo de enfermedades en las cuales se pierde el control del ciclo celular, ejemplifica la naturaleza “robusta pero frágil” de los sistemas biológicos. A pesar de los controles meticulosos de la división celular en los animales, la acumulación de mutaciones en sólo unos pocos genes que codifican proteínas reguladoras puede causar la proliferación sin control de las células afectadas.

Modularidad

Los sistemas complejos están constituidos típicamente por *módulos*, que son componentes o subsistemas con funciones específicas. Los seres vivos utilizan módulos porque se ensamblan, reordenan, reparan y eliminan con facilidad cuando es necesario. Aunque a menudo es posible aislar los módulos (p. ej., las enzimas extraídas de células en el laboratorio) con alguna o incluso la mayoría de sus propiedades funcionales intactas, su funcionamiento sólo es significativo dentro del contexto del sistema al que pertenecen. En los seres vivos, la modularidad se da en todos los niveles del sistema. Podemos citar como ejemplo en el interior de una célula a los aminoácidos, las proteínas y las rutas bioquímicas. La modularidad es importante porque proporciona la posibilidad de limitar un daño a ciertos componentes, que pueden retirarse y ser sustituidos con facilidad. Así, las células poseen mecanismos para detectar la



Coagulación sanguínea

CONCEPTOS CLAVE



- La biología de sistemas representa un esfuerzo por desentrañar las propiedades funcionales de los seres vivos mediante modelos matemáticos de las interacciones biológicas a partir de cantidades masivas de datos.
- El enfoque de sistemas ha proporcionado indicios sobre la emergencia, la robustez y la modularidad de los seres vivos.

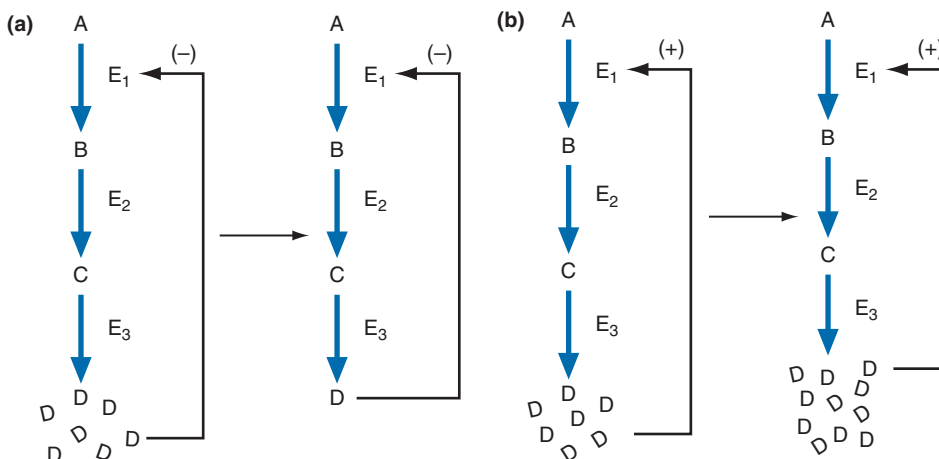


FIGURA 1.21
Mecanismos de retroalimentación

(a) **Retroalimentación negativa.** Conforme se acumulan moléculas de producto, éstas se unen específicamente a una enzima de la ruta e inhiben su actividad. El resultado es una disminución de la síntesis de producto. (b) **Retroalimentación positiva.** Conforme se acumulan moléculas del producto, éstas estimulan una enzima de la ruta, con lo que aumenta la velocidad de síntesis del producto.

presencia de una proteína dañada, destruirla y promover la síntesis de una nueva. Las relaciones funcionales entre módulos en un sistema se manejan por medio de *protocolos*, o conjuntos de reglas que especifican si los módulos interactúan y de qué manera. El mecanismo regulador que controla la síntesis de una proteína específica es un ejemplo de protocolo.

MÉTODOS bioquímicos

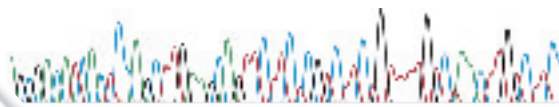
Introducción

Las tecnologías bioquímicas aprovechan las propiedades físico-químicas de las biomoléculas: reactividad, tamaño, solubilidad, carga eléctrica neta, movimiento en un campo eléctrico y absorción de radiación electromagnética. A medida que la investigación en ciencias biológicas se ha hecho más compleja, los científicos han sido capaces de proporcionar una imagen cada vez más detallada y coherente del fenómeno vital. El Proyecto Genoma Humano fue un acontecimiento trascendental en este contexto. El objetivo de este esfuerzo de investigación internacional, iniciado a finales del decenio de 1980, era determinar la secuencia de nucleótidos del DNA humano. El subsiguiente desarrollo de la tecnología de secuenciación automatizada del DNA revolucionó la investigación en las ciencias biológicas, pues proporcionó a los científicos una herramienta de “alto rendimiento” (p. ej., rápida, informativa y relativamente económica) para investigar la información almacenada en los genomas, un campo de estudio denominado ahora **genómica**.

La genómica ha sido especialmente útil en el ámbito de la investigación médica. Una gran cantidad de enfermedades se ha podido vincular a errores en una o más regiones codificantes o en regiones que causan una regulación defectuosa de la expresión génica. Entre los primeros beneficios de este trabajo está el desarrollo de pruebas fiables y sencillas para identificar la predisposición a condiciones patológicas, como la fibrosis quística, el cáncer de mama o algunas hepatopatías. Numerosas tecnologías desarrolladas recientemente han

creado nuevas oportunidades para investigar las bases moleculares de las enfermedades. Por ejemplo, los microchips de DNA (miles de moléculas de DNA dispuestas en una superficie sólida) se usan hoy de manera sistemática para monitorizar la expresión génica de las células. También es posible analizar proteínas rápidamente mediante una combinación de electroforesis en gel y espectrometría de masas. Entre los nuevos campos científicos creados por los métodos de alto rendimiento destacan la **genómica funcional** (la investigación de los patrones de expresión génica) y la **proteómica** (el estudio de los patrones de síntesis proteica y de las interacciones entre proteínas). La ciencia de la **bioinformática** facilita el análisis de las cantidades masivas de datos de secuencia de aminoácidos y ácidos nucleicos que se están generando.

En el pasado los bioquímicos y otros científicos se han beneficiado mutuamente de su trabajo. Por ejemplo, ciertas tecnologías desarrolladas por los físicos, como la difracción de rayos X, la microscopía electrónica y el marcaje con radioisótopos, propiciaron las primeras investigaciones sobre estructura biomolecular. En los últimos años, las ciencias biológicas se han beneficiado en buena medida del trabajo de científicos de la computación, matemáticos e ingenieros. Conforme se ha expandido nuestra base de conocimientos biológicos, también se ha hecho más evidente que los avances futuros en la investigación biológica y biomédica requerirán de los esfuerzos conjuntos de equipos multidisciplinarios de científicos.



Resumen del capítulo

1. La bioquímica se puede definir como el estudio de las bases moleculares de la vida. Los bioquímicos han contribuido a los siguientes conocimientos sobre la vida: 1) la vida es compleja y dinámica, 2) la vida está organizada y se mantiene de forma autónoma, 3) la vida es celular, 4) la vida se basa en la información y 5) la vida se adapta y evoluciona.
2. Las células animales y vegetales contienen miles de moléculas distintas. El agua supone entre el 50 y el 90% del peso de una célula y algunos iones como el Na^+ , el K^+ y el Ca^{2+} pueden representar otro 1%. Casi todas las biomoléculas restantes son orgánicas.
3. Muchas de las biomoléculas que se encuentran en las células son relativamente pequeñas, con pesos moleculares inferiores a 1 000 Da. Las células contienen cuatro familias

de moléculas pequeñas: aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y nucleótidos.

4. El DNA, formado por dos cadenas antiparalelas de polinucleótidos, es el depositario de la información genética de los seres vivos. El DNA contiene secuencias codificantes, llamadas genes, y secuencias no codificantes, algunas de las cuales tienen funciones reguladoras. El RNA es un polinucleótido de cadena sencilla, que difiere del DNA en que contiene el azúcar ribosa en lugar de desoxirribosa y la base uracilo en lugar de timina. Las moléculas de RNA tienen muchas funciones, entre otras la síntesis de proteínas y la regulación de la transcripción. La expresión génica es el proceso que controla si un gen determinado se transcribe y cuándo lo hace, e implica la unión de factores de trans-

cripción con secuencias reguladoras específicas del DNA llamadas elementos de respuesta.

5. Todos los procesos vitales consisten en reacciones químicas catalizadas por enzimas. Entre las clases de reacciones más habituales en los procesos bioquímicos están: la sustitución nucleófila, la eliminación, la adición, la isomerización y la óxido-reducción.
6. Los seres vivos requieren un flujo constante de energía para mantener su organización. El principal medio por el cual las células obtienen energía es la oxidación de biomoléculas o de determinados minerales.
7. El metabolismo es la suma de todas las reacciones que ocurren en un ser vivo. Existen dos tipos de vías metabólicas: anabólicas y catabólicas. Las vías de transferencia de energía capturan ésta y la convierten en formas útiles para promover procesos biomoleculares en los organismos. Las

rutras de transducción de señales, que permiten a las células recibir información de su entorno y responder a ella, constan de tres fases: recepción, transducción y respuesta.

8. La estructura compleja de las células requiere un grado elevado de orden interno. Éste se consigue mediante cuatro mecanismos primarios: síntesis de biomoléculas, transporte de iones y de moléculas a través de membranas, producción de movimiento y eliminación de los productos metabólicos de desecho y otras sustancias tóxicas.
9. La biología de sistemas es un nuevo campo que intenta explicar las propiedades funcionales de los seres vivos aplicando modelos matemáticos a grandes cantidades de datos biológicos. Entre los primeros beneficios de este enfoque están los conocimientos asociados a la emergencia, la robustez y la modularidad.



El lector podrá mejorar su aprendizaje visitando el **sitio de red de apoyo** de bioquímica en www.oup.com/mckee-xse, donde podrá resolver un examen de respuesta múltiple sobre este capítulo introductorio a fin de prepararse para los exámenes de su curso.

Lecturas recomendadas

- Benton, M. J., *When Life Nearly Died: The Greatest Mass Extinction of All Time*, Thames & Hudson, London, 2003.
- Campbell, N. A., and Reece, J. B., *Biology*, 7th ed., Benjamin Cummings, San Francisco, 2008.
- Goodsell, D. S., *The Machinery of Life*, 2nd ed., Springer, New York, 2009.
- Kerr, R. A., Deep Life in the Slow, Slow Lane, *Science* 296:1056–1058, 2002.
- Kring, D. A., and Durda, D. D., The Day the World Burned: The Dinosaur-Killing Impact Set Off a Wave of Wildfires That Consumed Earth's Forests, *Sci. Am.* 289(6):98–105, 2003.

- Newman, D. K., and Banfield, J. F., Geomicrobiology: How Molecular-Scale Interactions Underpin Biogeochemical Systems, *Science* 296:1071–1077, 2002.
- Rothman, S., *Lessons from the Living Cell: The Limits of Reductionism*, McGraw-Hill, New York, 2002.
- Tudge, C., *The Variety of Life: A Survey and a Celebration of All the Creatures That Have Ever Lived*, Oxford University Press, New York, 2000.
- Ward, P. D., Impact from the Deep, *Sci. Am.* 295(4):1071–1077, 2002.

Palabras clave

ácido graso, 9
 ácido nucleico, 11
 agente oxidante, 15
 agente reductor, 15
 aminoácido, 6
 anhídrido, 13
 autopoyesis, 12
 autótrofos, 17
 azúcares, 8
 bioinformática, 22
 biología de sistemas, 19
 biomoléculas, 2
 control por retroalimentación, 21
 degeneración, 20
 electrófilos, 13
 elemento de respuesta, 12
 energía, 16
 enlaces peptídicos, 7
 enzimas, 3

expresión génica, 12
 factor de transcripción, 12
 fotoautótrofos, 17
 fotoheterótrofos, 17
 fotosíntesis, 17
 genes, 4
 genómica, 22
 genómica funcional, 22
 grupos funcionales, 5
 grupo saliente, 13
 heterótrofos, 17
 hidratación, 15
 hidrocarburos, 5
 hidrófilo, 6
 hidrófobo, 5
 hidrólisis, 13
 homeostasis, 4
 insaturados, 9
 isomerización, 15
 lipídicas, 9

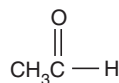
macromoléculas, 3
 metabolismo, 4
 módulos, 21
 monosacáridos, 8
 mutaciones, 4
 neurotransmisores, 7
 nucleófilo, 13
 nucleótido, 10
 oligopéptidos, 7
 oxidar, 15
 óxido-reducción (reacción redox), 15
 péptidos, 7
 pirimidinas, 11
 polipéptidos, 7
 polisacáridos, 8
 propiedad emergente, 20
 proteínas, 7
 proteómica, 22
 purinas, 11

quimioautótrofos, 17
 quimioheterótrofos, 17
 quimiosíntesis, 17
 reacciones de adición, 15
 reacciones de eliminación, 15
 reduccionismo, 19
 reducir, 15
 retroalimentación negativa, 21
 retroalimentación positiva, 21
 RNA no codificador, 12
 robustez, 20
 saturados, 9
 sustitución nucleofílica, 13
 transcripción, 12
 transducción de señales, 18
 vías anabólicas, 17
 vías catabólicas, 17

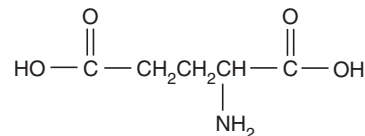
Preguntas de revisión

Estas preguntas están diseñadas para poner a prueba los conocimientos del lector sobre los conceptos clave expuestos en este capítulo, antes de pasar al siguiente. El lector puede comparar sus respuestas con las soluciones que se proporcionan al final del libro.

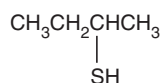
- Defina los siguientes términos:
 - biomolécula
 - macromolécula
 - enzima
 - metabolismo
 - homeostasis
- Defina los siguientes términos:
 - grupo funcional
 - grupo R
 - grupo carboxilo
 - grupo amino
 - grupo hidroxilo
- Defina los siguientes términos:
 - azúcar
 - monosacárido
 - polisacárido
 - glucosa
 - celulosa
- Defina los siguientes términos:
 - mRNA
 - tRNA
 - rRNA
 - siRNA
 - miRNA
- Defina los siguientes términos:
 - factor de transcripción
 - elemento de respuesta
 - molécula de señalización
 - interferencia de RNA
 - ribosoma
- Defina los siguientes términos:
 - nucleótido
 - electrófilo
 - grupo de salida
 - trifosfato de adenosina
 - anhídrido
- Defina los siguientes términos:
 - reacción de eliminación
 - hidrólisis
 - reacción de adición
 - reacción de deshidratación
 - reacción de hidratación
- Defina los siguientes términos:
 - reacción redox
 - agente oxidante
 - agente reductor
 - NADH
 - Molécula oxidada
- Defina los siguientes términos:
 - FAD
 - ion hidruro
 - energía
 - vía de transporte electrónico
 - coenzima
- Defina los siguientes términos:
 - autótrofo
 - quimioautótrofo
 - fotoautótrofo
 - quimioheterótrofo
 - fotoheterótrofo
- Defina los siguientes términos:
 - vía metabólica
 - vía anabólica
 - vía catabólica
 - glucólisis
 - vía de transducción de señal
- Defina los siguientes términos:
 - biología de sistemas
 - reduccionismo
 - propiedad emergente
 - degeneración
 - control por retroalimentación
- ¿Cuáles son los seis elementos principales de los organismos vivos?
- Identifique los grupos funcionales de las moléculas siguientes



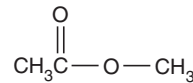
(a)



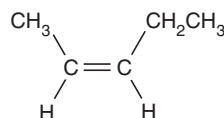
(b)



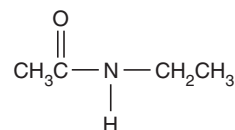
(c)



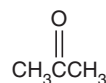
(d)



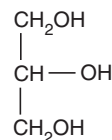
(e)



(f)

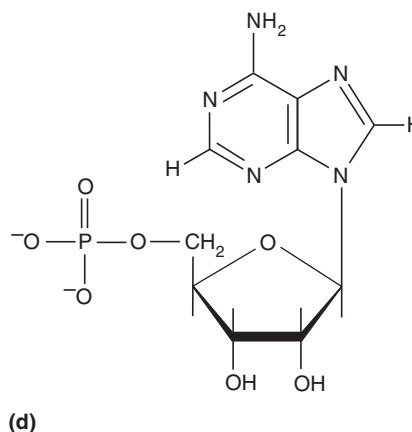
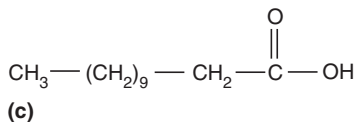
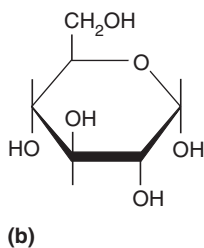
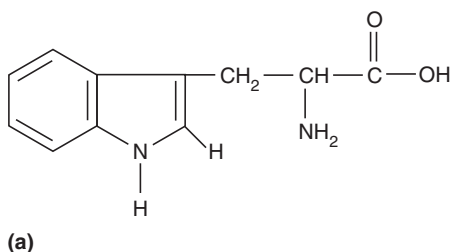


(g)



(h)

15. Mencione cuatro clases de biomoléculas pequeñas. ¿En qué biomoléculas más grandes se encuentran?
16. Cite dos funciones para cada una de las siguientes biomoléculas:
 - a. ácidos grasos
 - b. azúcares
 - c. nucleótidos
 - d. aminoácidos
17. ¿Cuáles son las funciones del DNA y el RNA?
18. ¿Cómo obtienen energía las células de los enlaces químicos?
19. ¿Cuáles son las características generales de los procesos anabólicos y catabólicos?
20. Asigne los siguientes compuestos a una de las principales clases de biomoléculas:



21. ¿Cuáles son las funciones principales del metabolismo?
22. Presentar un ejemplo de cada una de las siguientes reacciones:
 - a. sustitución nucleofílica
 - b. eliminación
 - c. óxido-reducción
 - d. adición
23. Mencione varios iones importantes que se encuentran en los organismos vivos.
24. Comparar y contrastar las características del piloto automático de un avión con un sistema biológico.
25. Los carbohidratos son bien reconocidos como fuentes de energía metabólica. Mencionar dos funciones críticas más de los carbohidratos en los organismos vivos.
26. ¿Cuáles son las biomoléculas más grandes? ¿Qué funciones tienen en los organismos vivos?
27. Los nucleótidos tienen otras funciones además de ser componentes del DNA y RNA. Mencionar un ejemplo.
28. Mencionar varios productos de desecho que producen las células animales.
29. Comparar las funciones del mRNA, rRNA y tRNA en la síntesis de proteínas.
30. Describir el significado de la frase “robusto, pero frágil”.
31. Comparar y contrastar las características generales de los sistemas complejos diseñados por los humanos y los sistemas vivos.
32. Comparar un sistema autopoyético con una fábrica que construye aeronaves.

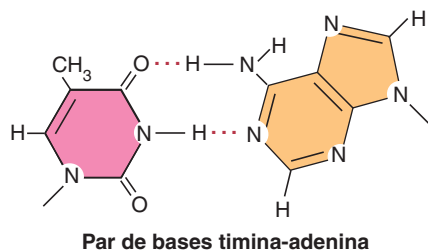
Preguntas de análisis

El objetivo de estas preguntas es reforzar la comprensión de todos los conceptos clave expuestos en el libro hasta el momento. Es factible que no tengan una única respuesta correcta. Los autores proporcionan soluciones posibles a estas preguntas al final del libro.

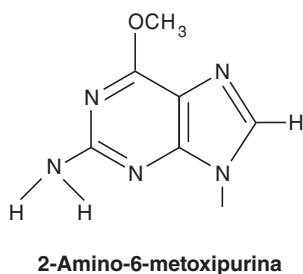
33. Las reacciones bioquímicas se consideran a veces como versiones exóticas de reacciones orgánicas. ¿En qué difieren las reacciones bioquímicas de las usadas en la síntesis orgánica?
34. ¿Por qué los ácidos grasos son la principal reserva energética a largo plazo del organismo?
35. Cuando una sustancia como el cloruro de sodio se disuelve en agua, los iones que se forman quedan rodeados por completo por moléculas de agua que forman estructuras

llamadas esferas de hidratación. Cuando la sal de sodio de un ácido graso se mezcla con agua, el grupo carboxilato de la molécula se hidrata, pero la porción del hidrocarburo hidrófobo de la molécula se hidrata poco o nada. Utilizar un círculo para representar el grupo carboxilato y una línea ondulada para representar la cadena de hidrocarburo, hacer un dibujo que muestre cómo interactúan los ácidos grasos en el agua.

36. Las bases de dos cadenas complementarias de DNA se emparejan entre sí mediante puentes de hidrógeno; es decir,



Se aisló un nuevo nucleótido que contiene la siguiente purina:



- ¿Cuál de las purinas y pirimidinas normales (adenina, guanina, citosina o timina) esperaría que se apareara con ella?
37. Los elementos como el carbono, hidrógeno y oxígeno, que se encuentran en las biomoléculas forman enlaces covalentes estables. ¿Cuál sería el resultado si los enlaces entre

estos átomos fueran un poco menos o más estables de lo que son en la naturaleza?

38. La enfermedad de Tay-Sachs es un trastorno neurológico devastador causado por la falta de la enzima que degrada una molécula lipídica específica. Cuando esta molécula se acumula en las células cerebrales, un niño por lo demás sano experimenta deterioro motor y mental meses después de nacer y muere alrededor de los tres años de edad. En términos generales, ¿cómo valoraría este fenómeno un biólogo de sistemas?
39. Las células cancerosas de un tumor proliferan sin control y el tratamiento a menudo incluye el uso de fármacos tóxicos en un intento por matarlas. Sin embargo, con frecuencia después del éxito inicial (o sea, reducción del tumor), el cáncer regresa porque desarrolló resistencia a los fármacos. Los bioquímicos identificaron una de las principales causas de este fenómeno, llamado resistencia farmacológica múltiple. Una o más células del tumor expresaron un gen para la glucoproteína-P, una proteína de transporte de la membrana que bombea los fármacos al exterior de las células. En ausencia de moléculas farmacológicas tóxicas, estas células crecen de manera incontrolable y al final se convierten en las células dominantes en el tumor. ¿Qué características de los organismos vivos ilustran este proceso?
40. Se han descubierto cientos de miles de proteínas en los organismos vivos. Sin embargo, sorprendente como es esta diversidad, dichas moléculas representan sólo una pequeña fracción de las que son posibles. Calcule el número total de decapeptidos posibles (moléculas con 10 residuos de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos) que podrían sintetizarse con los 20 aminoácidos estándar. Si se tardara 5 min en escribir la estructura molecular de cada decapeptido posible, ¿cuánto tiempo duraría esa tarea?