

# 3

## Las moléculas de la vida

### IMPACTOS Y PROBLEMAS El temor a freír

El cuerpo humano requiere de no más de una cucharada de grasa diaria para permanecer saludable, pero la mayoría consume mucho más. Un estadounidense promedio consume el equivalente a una barra de mantequilla al día (100 libras de grasa al año); éste podría ser el motivo del sobrepeso en la población.

El sobrepeso aumenta el riesgo a padecer enfermedades y afecciones cardíacas. Sin embargo, el tipo de grasas ingeridas son más importantes que la cantidad consumida. Las grasas son moléculas inertes que se acumulan en áreas estratégicas del cuerpo cuando se ingieren en exceso. Son constituyentes principales celulares y como tales, ejercen poderosos efectos sobre el funcionamiento celular.

La molécula típica de grasa tiene tres colas de largas cadenas de carbono llamadas ácidos grasos. Diferentes grasas tienen distintos componentes de ácidos grasos. Las que tienen cierto tipo de doble enlace, en uno o más de sus ácidos grasos, se conocen como grasas *trans* (figura 3.1). Hay cantidades pequeñas de grasas *trans* en la carne roja y los productos lácteos, pero la mayoría de las grasas *trans* que los humanos consumen provienen de los aceites vegetales parcialmente hidrogenados, un producto alimenticio artificial.

La hidrogenación es un proceso de manufactura en el que se agregan átomos de hidrógeno a los átomos de carbono, modificando los aceites vegetales líquidos para formar grasas sólidas. Procter & Gamble Co., en 1908, desarrolló aceite vegetal parcialmente hidrogenado como sustituto para las grasas animales sólidas más costosas que se usaban para fabricar velas. Empero, la demanda de velas comenzó a disminuir a medida que los hogares estadounidenses contaron con electricidad, por lo que P & G comenzó a buscar otro método para vender sus grasas de patente. El aceite vegetal parcialmente hidrogenado se asemeja mucho a la manteca, de modo que en 1911 la compañía comenzó a venderlo como un nuevo alimento revolucionario; una grasa sólida para cocinar, de larga vida en anaquel, sabor suave y costo inferior al de la manteca o la mantequilla.

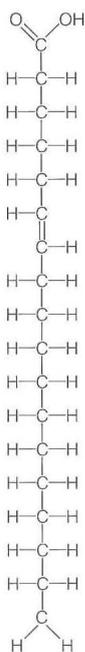
A mediados de 1950, el aceite vegetal hidrogenado ya formaba parte importante de la dieta estadounidense. Se encuentra (aún en la actualidad) en una variedad muy amplia de alimentos procesados o rápidos: sustitutos de la mantequilla (margarinas), galletas dulces y saladas, pasteles y panecillos, mantequilla de maní, tartas, donas, mantecadas, papas fritas, barritas de granola, barritas para el desayuno, chocolate, palomitas para microondas, pizzas, burritos, papas fritas, nuggets de pollo, palitos de pescado y otros similares.

Durante décadas se consideró que el aceite vegetal hidrogenado constituía una alternativa más saludable a las grasas animales. Ahora se sabe que las grasas *trans* de los aceites vegetales hidrogenados aumentan el nivel de colesterol en la sangre más que cualquier otra grasa, afectando directamente el funcionamiento de nuestras arterias y venas.

El efecto de estos cambios es grave. Consumir sólo 2 g al día de aceites vegetales hidrogenados aumenta el riesgo de aterosclerosis (endurecimiento de las arterias), ataques cardíacos y diabetes. Una sola porción de papas fritas preparadas con aceite vegetal hidrogenado contiene aproximadamente 5 g de grasas *trans*.

En este capítulo estudiaremos la química de los seres vivos. Aunque todo ser vivo consta del mismo tipo de moléculas fundamentales (carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos), las pequeñas diferencias en la manera en cómo estas moléculas se encuentran ensambladas a menudo producen resultados importantes.

**¡Mira el video!** **Figura 3.1** Grasas *trans*. El ordenamiento de átomos de hidrógeno en torno al doble enlace carbono-carbono en la parte media de un ácido graso *trans*, lo hace un alimento muy poco saludable. Es recomendable evitar las papas fritas.



ácido graso *trans*



## Conceptos básicos



### La estructura dicta la función

Las células se definen en parte por su capacidad para sintetizar carbohidratos complejos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Todos estos compuestos orgánicos tienen grupos funcionales unidos a un esqueleto de átomos de carbono. **Secciones 3.1, 3.2**



### Carbohidratos

Los carbohidratos son las moléculas biológicas más abundantes. Funcionan como reservas de energía y materiales estructurales. Diferentes tipos de carbohidratos complejos están constituidos por las mismas subunidades que los azúcares simples, pero enlazadas en patrones distintos. **Sección 3.3**



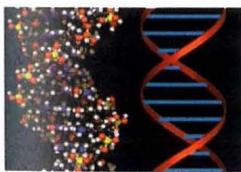
### Lípidos

Los lípidos funcionan como reservorio de energía, impermeabilización o sustancias lubricantes. Algunos se remodelan para dar otras moléculas. Los lípidos son los principales componentes estructurales de todas las membranas celulares. **Sección 3.4**



### Proteínas

Desde el punto de vista estructural y funcional, las proteínas son las moléculas más diversas de los seres vivos. Incluyen enzimas, materiales estructurales, moléculas señalizadoras y transportadores. La función de las proteínas se deriva directamente de su estructura. **Secciones 3.5, 3.6**



### Nucleótidos y ácidos nucleicos

Los nucleótidos desempeñan papeles metabólicos importantes y son bloques constitutivos de los ácidos nucleicos. Dos tipos de ácidos nucleicos, el ADN y el ARN, interactúan como el sistema celular de almacenamiento, recuperación y traducción de información sobre la síntesis de proteínas. **Sección 3.7**

## Conexiones a conceptos anteriores

- Tras describir los átomos, vamos a entrar al siguiente nivel de la organización en la naturaleza: las moléculas de la vida. Ten presente el cuadro general repasando la sección 1.1.
- Aumentarás tu comprensión de cómo se encuentran ordenados los electrones en los átomos (2.3) y también la naturaleza del enlace covalente y los puentes de hidrógeno (2.4).
- Después evaluaremos las consecuencias de la mutación del ADN (1.4), esta vez empleando como ejemplo la anemia falciforme.

**¿Por qué opción votarías?** Todos los elementos empacados estadounidenses ahora indican el contenido de grasas *trans*, pero algunos indican "0 g de grasas *trans*", aunque una porción contiene hasta medio gramo de ella. ¿Se debería prohibir el uso de aceites vegetales hidrogenados en todos los alimentos? Consulta más detalles en CengageNOW y vota en línea. Sólo disponible en inglés.

### 3.1

## Moléculas orgánicas

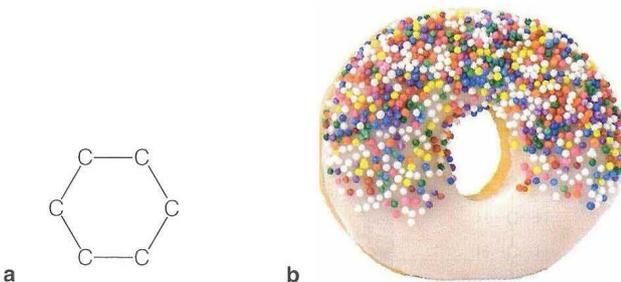
- Todas las moléculas orgánicas de la vida están constituidas por átomos de carbono.
- Podemos emplear diferentes modelos para ilustrar diversos aspectos de una misma molécula.
- Conexiones con Elementos 2.1, Enlaces covalentes 2.4.

### El carbono, la molécula de la vida

Los seres vivos están constituidos principalmente por oxígeno, hidrógeno y carbono. La mayoría del oxígeno y el hidrógeno se encuentra en forma de agua. Haciendo a un lado el agua, el carbono constituye un poco más de la mitad de lo restante.

El carbono de los organismos vivos forma parte de las moléculas de la vida: carbohidratos complejos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. Estas moléculas consisten principalmente de átomos de carbono e hidrógeno, de modo que son **orgánicos**. Este término se acuñó en una época en la que se creía que dichas moléculas sólo eran fabricadas por seres vivos, en contraste con las moléculas “inorgánicas” que se sintetizaban por procesos no vivos. El término ha persistido, aunque ahora sabemos que los compuestos orgánicos estaban presentes sobre la Tierra mucho antes que los organismos, y que también pueden sintetizarse en el laboratorio.

La importancia del carbono para la vida inicia por el versátil comportamiento de su enlace. Cada átomo de carbono puede formar enlaces covalentes con uno, dos, tres o cuatro átomos adicionales. Dependiendo de los demás elementos en la molécula resultante, dichos enlaces pueden ser polares o no polares. Muchos compuestos orgánicos tienen una cadena principal de átomos de carbono a la cual están unidos otros átomos. Los extremos de la cadena pueden unirse de modo que formen estructuras de anillo (figura 3.2). Dicha versatilidad implica que los átomos de carbono pueden ensamblarse y remodelarse para dar lugar a una variedad de compuestos orgánicos.

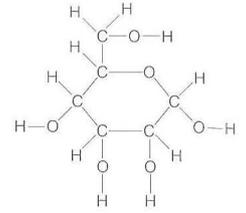


**Figura 3.2** Anillos de carbono. (a) El comportamiento versátil del enlace de carbono le permite formar diversas estructuras, incluyendo anillos. (b) Los anillos de carbono forman el marco constitutivo de diversos azúcares, almidones y grasas, como las que se encuentran en las donas.

### Representación de las estructuras de moléculas orgánicas

La estructura de cualquier molécula puede ilustrarse empleando diferentes tipos de modelos moleculares. Éstos nos permiten observar diferentes características de una misma molécula.

Por ejemplo, los modelos estructurales como el de la *derecha* muestran cómo están conectados los átomos de una molécula entre sí. En estos modelos, cada línea indica un enlace covalente. Una línea doble (=) indica un doble enlace, y una línea triple (≡) indica un triple enlace. Algunos de los átomos o enlaces en la molécula pueden ser implícitos y no se muestran. Los átomos de hidrógeno unidos a una cadena principal de carbono suelen omitirse y en ocasiones, también otros átomos.



glucosa

Las estructuras de anillos de carbono como los que ocurren en la glucosa y otros azúcares a menudo se representan mediante polígonos. Un átomo no indicado en el vértice o en el extremo de un enlace implica un átomo de carbono:



glucosa



glucosa

Los modelos de pelotas y varillas como el de la *derecha* muestran las posiciones de los átomos en tres dimensiones. Los enlaces covalentes simples, dobles y triples se muestran como una varilla que conecta a dos bolitas, que representan átomos. El tamaño de la pelota refleja el tamaño relativo del átomo. Los elementos suelen codificarse por colores:



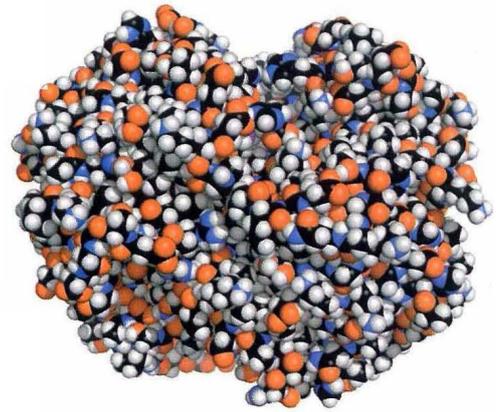
glucosa



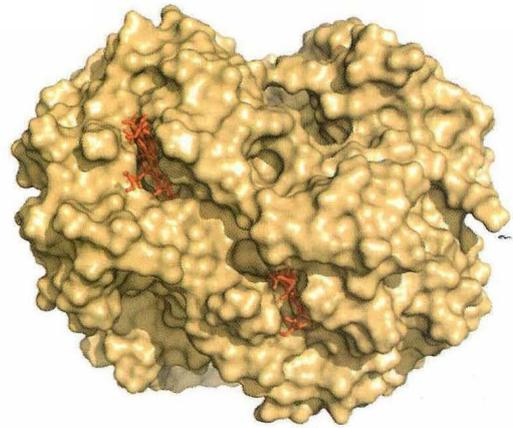
Los modelos espaciales, como el de la *derecha*, muestra cómo se empalman los átomos que comparten electrones. Los elementos de los modelos espaciales se codifican siguiendo el mismo plan de colores que los modelos de pelotas y varillas.



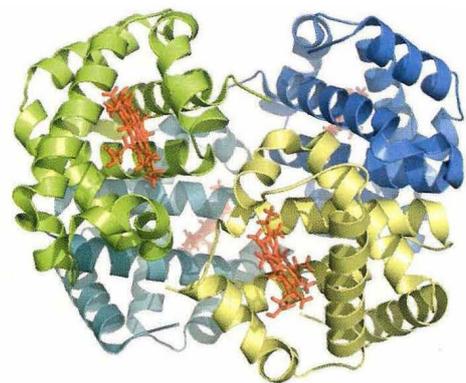
glucosa



A Modelo espacial de la hemoglobina que muestra la complejidad de la molécula.



B Modelo superficial de la misma molécula que revela grietas y pliegues importantes para su función. Los grupos hemo de color rojo están anidados en pliegues dentro de la molécula.



C Modelo de listones de la hemoglobina que muestra los cuatro grupos hemo, también en rojo, mantenidos en su sitio por los pliegues de la molécula.

En la figura 3.3 se muestran tres formas distintas para representar una misma molécula, la hemoglobina, una proteína que imparte color rojo a la sangre. La hemoglobina transporta el oxígeno a los tejidos del cuerpo de todos los vertebrados (animales con columna vertebral). Un modelo de pelotas y varillas, o espacial de una molécula tan grande, tiene una apariencia muy compleja cuando se incluyen todos los átomos. Un ejemplo es el modelo espacial de la figura 3.3a.

Para reducir la complejidad visual en algunos tipos de modelos se omiten ciertos átomos. Los modelos superficiales de grandes moléculas permiten revelar características a gran escala, como pliegues o bolsas; que serían difíciles de observar al mostrar átomos individuales. Por ejemplo, en el modelo superficial de la hemoglobina de la figura 3.3b, se observan pliegues de la molécula que albergan a dos grupos hemo. Los grupos hemo son estructuras complejas de anillos de carbono que a menudo tienen un átomo de hierro en el centro y forman parte de muchas proteínas importantes que describiremos en el libro.

Las moléculas muy grandes, como la hemoglobina, a menudo se muestran mediante modelos de cinta. En estos modelos se ilustran diferentes características de la estructura, como hélices o láminas. En el modelo de listones de la hemoglobina (figura 3.3c) se ve que dicha proteína consta de cuatro hélices, cada una en torno a un grupo hemo.

Dichos detalles estructurales son clave sobre el funcionamiento de la molécula. Por ejemplo, la hemoglobina, que es el principal portador de oxígeno en la sangre de los vertebrados, tiene cuatro grupos hemo. El oxígeno se une a los grupos hemo, de modo que cada grupo hemo puede llevar hasta cuatro moléculas de oxígeno.

#### Para repasar en casa

¿En qué se asemejan todas las moléculas de los seres vivos?

- Los carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos son moléculas orgánicas formadas principalmente por átomos de carbono e hidrógeno.
- La estructura de toda molécula orgánica comienza con un esqueleto de carbono, el cual también puede tener forma de anillo.
- Se emplean diferentes modelos para representar las diversas características de la estructura molecular. Considerar las características estructurales de la molécula nos permite comprender su funcionamiento.

**Figura 3.3** Visualización de la estructura de la hemoglobina, molécula que transporta el oxígeno en los eritrocitos (*superior izquierda*). Los modelos que muestran átomos individuales en general se ilustran mediante elementos codificados por colores. Otros modelos se muestran en diversos colores, dependiendo de las características que ilustren.

## 3.2 De estructura a función

■ La función de las moléculas orgánicas en los sistemas biológicos comienza por su estructura.

■ Conexiones con lones 2.3, Polaridad 2.4, Ácidos y bases 2.6.

Todos los sistemas biológicos se basan en las mismas moléculas orgánicas (un legado del origen común de los seres vivos), aunque los detalles de esas moléculas difieren entre organismos. Recuerda que dependiendo de la manera en cómo los átomos de carbono se unan, formarán un diamante, el mineral más duro, o el grafito, uno de los más blandos (sección 2.4). De manera similar, los bloques constitutivos de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos en distintos ordenamientos forman diversas moléculas.

Grupo	Caracter	Ubicación	Estructura
hidroxilo	polar	aminoácidos, azúcares y otros alcoholes	—OH
metilo	no polar	ácidos grasos, algunos aminoácidos	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{C} - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$
carbonilo	polar, reactivo	azúcares, aminoácidos, nucleótidos	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{C} - \text{H} \\    \\ \text{O} \end{array}$ (aldehído) $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{C} - \text{H} \end{array}$ (cetona)
carboxilo	ácido	aminoácidos, ácidos grasos, carbohidratos	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{C} - \text{OH} \\    \\ \text{O} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{O}^- \\   \\ \text{C} - \text{O}^- \\    \\ \text{O} \end{array}$ (ionizado)
amino	básico	aminoácidos, algunas bases de nucleótidos	$\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{N} - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{N}^+ - \text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}$ (ionizado)
fosfato	de alta energía, polar	nucleótidos (por ejemplo, ATP); ADN y ARN; muchas proteínas; fosfolípidos	$\begin{array}{c} \text{O}^- \\   \\ \text{O} - \text{P} - \text{O}^- \\    \\ \text{O} \end{array}$ $\text{P}$ (icono)
sulfhidrilo	forma puentes disulfuro	cisteína (un aminoácido)	—SH     —S—S— (puente disulfuro)

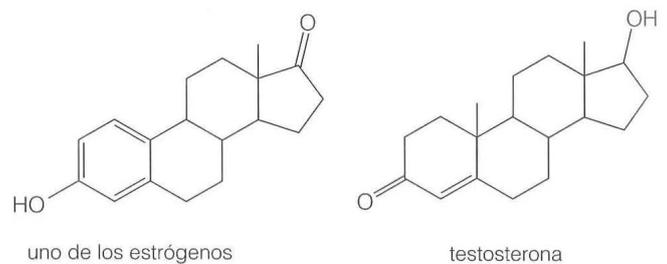
**Figura 3.4 Animada** Los grupos funcionales comunes en las moléculas biológicas, con ejemplos de sitios donde se encuentran. Como éstos imparten características químicas específicas a los compuestos orgánicos, son parte importante de las funciones de las moléculas de los seres vivos.

### Grupos funcionales

Una molécula orgánica que consta únicamente de átomos de hidrógeno y carbono se llama hidrocarburo. El metano, que es el hidrocarburo más sencillo, consta de un átomo de carbono unido con cuatro átomos de hidrógeno. La mayoría de las moléculas de la vida tienen por lo menos un **grupo funcional**: grupo de átomos enlazados covalentemente a un átomo de carbono de la molécula orgánica. Los grupos funcionales imparten propiedades químicas específicas a la molécula, como polaridad y acidez. En la figura 3.4 se da una lista de algunos grupos funcionales comunes en carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Por ejemplo, los alcoholes son un tipo de compuestos orgánicos que tiene grupos hidroxilo (—OH). Estos grupos funcionales polares pueden formar puentes de hidrógeno, de modo que los alcoholes (por lo menos los más pequeños) se disuelven rápidamente en agua. Los alcoholes de mayor tamaño no se disuelven tan fácilmente porque sus largas cadenas no polares de hidrocarburos repelen al agua. Los ácidos grasos son similares; por este motivo, los lípidos que tienen colas de ácido graso no se disuelven fácilmente en agua.

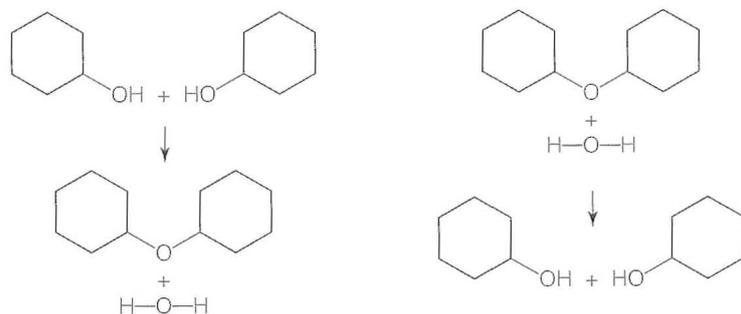
Los grupos metilo imparten carácter no polar. Los grupos carbonilo reactivos (—C = O) forman parte de las grasas y los carbohidratos. Los grupos carboxilo (—COOH) hacen que los aminoácidos y los ácidos grasos sean ácidos. Los grupos amino son básicos. El ATP libera energía química al donar un grupo fosfato (PO<sub>4</sub>) a otra molécula. El ADN y el ARN también contienen grupos fosfato. Los enlaces entre grupos sulfhidrilo (—SH) estabilizan la estructura



**Figura 3.5** Estrógeno y testosterona, hormonas sexuales que provocan la diferencia de caracteres entre machos y hembras de muchas especies, como estos patos silvestres (*Aix sponsa*). **Investiga:** ¿Qué grupos funcionales difieren entre estas hormonas? *Investiga: ¿Qué grupos funcionales difieren entre estas hormonas? Respuesta: Los grupos hidroxilo y carbonilo difieren en posición y la testosterona tiene un grupo metilo adicional.*

**Tabla 3.1** Qué hacen las células con los compuestos orgánicos

Tipo de reacción	Lo que ocurre.
Condensación	Dos moléculas se unen covalentemente formando otra más grande.
Descomposición	Una molécula se divide en dos más pequeñas. Un ejemplo es la hidrólisis.
Transferencia de grupo funcional	Se transfiere un grupo funcional de una molécula a otra.
Transferencia de electrones	Se transfieren electrones de una molécula a otra.
Reordenamiento	El reacomodo de enlaces covalentes transforma un compuesto orgánico en otro.



**A** Condensación. Un grupo  $\text{—OH}$  de una molécula se combina con un átomo de H de otra. Se forma agua al unirse covalentemente las dos moléculas.

**B** Hidrólisis. Una molécula se divide y después un grupo  $\text{—OH}$  y un átomo de H de una molécula de agua se unen en los sitios expuestos en la reacción.

**Figura 3.6 Animada** Dos ejemplos de lo que ocurre con las moléculas orgánicas en las células. (a) En una condensación, dos moléculas se unen covalentemente para formar otra más grande. (b) En la hidrólisis, una reacción de descomposición que requiere agua, se divide una molécula de gran tamaño en dos más pequeñas.

de muchas proteínas. El calor y algunos tipos de productos químicos temporalmente rompen los enlaces sulfhidrido del cabello humano y por este motivo, el cabello lacio se puede rizar y el rizado se puede alaciar.

¿Qué tanto puede hacer un grupo funcional? Consideremos una diferencia aparentemente menor en grupos funcionales de dos hormonas sexuales estructuralmente semejantes (figura 3.5). En etapas tempranas el embrión de pato silvestre, humano o de cualquier otro vertebrado no es macho o hembra; cuando comienza a fabricar la hormona testosterona, un conjunto de túbulos y ductos se transforman en órganos sexuales y se desarrollan los caracteres masculinos. En ausencia de la testosterona, estos ductos y túbulos se transforman en órganos sexuales femeninos y las hormonas llamadas estrógenos dirigen el desarrollo de los caracteres femeninos.

### Qué hacen las células con los compuestos orgánicos

El **metabolismo** se refiere a las actividades que permiten a las células obtener energía para construir, reordenar y descomponer los compuestos orgánicos. Estas actividades ayudan a que cada célula siga viva, crezca y se reproduzca. Para ello requiere de enzimas que son proteínas que permiten que las reacciones se realicen más rápido que por sí solas. Algunas de las reacciones metabólicas más comunes están listadas en la tabla 3.1 Repasaremos esas reacciones en el capítulo 6. Por el momento describiremos dos de ellas.

En la **condensación**, dos moléculas se enlazan covalentemente formando otra más grande. El agua suele formarse como producto de la condensación cuando las enzimas retiran un grupo  $\text{—OH}$  de una de las moléculas y un átomo

de hidrógeno de la otra (figura 3.6a). Algunas moléculas de gran tamaño como el almidón se forman mediante reacciones de condensación repetida.

Las reacciones de descomposición dividen a las moléculas de gran tamaño en otras más pequeñas. Un tipo de reacción de descomposición, la **hidrólisis**, es el inverso de la condensación (figura 3.6b). Las enzimas rompen un enlace uniendo un grupo hidroxilo a un átomo y un hidrógeno al otro. El  $\text{—OH}$  y el  $\text{—H}$  se derivan de una molécula de agua.

Las células mantienen reservas de pequeñas moléculas orgánicas: azúcares simples, ácidos grasos, aminoácidos y nucleótidos. Algunas de estas moléculas son fuentes de energía y otras se emplean como subunidades o **monómeros** para sintetizar moléculas más grandes que son parte estructural y funcional de las células. Estas moléculas de mayor tamaño o **polímeros** son cadenas de monómeros. Cuando las células descomponen un polímero liberan monómeros que pueden emplearse para energía o pueden volver a entrar a las reservas celulares.

### Para repasar en casa

¿Cómo funcionan las moléculas orgánicas en los sistemas vivos?

- La estructura de la molécula orgánica dicta su función en los sistemas biológicos.
- Los grupos funcionales imparten ciertas características químicas a las moléculas orgánicas. Estos grupos contribuyen a la función de las moléculas biológicas.
- Mediante reacciones como la condensación, las células ensamblan grandes moléculas a partir de subunidades más pequeñas de azúcares simples, ácidos grasos, aminoácidos y nucleótidos.
- Mediante reacciones como la hidrólisis, las células dividen moléculas orgánicas de gran tamaño en otras más pequeñas y transforman un tipo de molécula en otro.

### 3.3

## Carbohidratos

- Los carbohidratos son las moléculas biológicas más abundantes en la biosfera.
- Las células usan algunos carbohidratos como material estructural y otros para energía almacenada e instantánea.
- Conexión con Puentes de hidrógeno 2.4.

Los hidrocarburos de cadena larga como la gasolina constituyen una excelente fuente de energía, pero las células (formadas principalmente por agua) no pueden usar moléculas hidrofóbicas. En vez de ello, usan moléculas orgánicas con grupos funcionales polares; moléculas que se ensamblan con facilidad y se dividen en el interior acuoso de la célula.

Los **carbohidratos** son compuestos orgánicos que constan de carbono, hidrógeno y oxígeno en proporción 1:2:1. Las células usan distintos tipos de materiales estructurales como fuentes de energía instantánea. Los tres principales tipos de carbohidratos en los sistemas vivos son monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos.

### Azúcares simples

La palabra “sacárido” proviene de la palabra en griego que significa azúcar. Los monosacáridos (una unidad de azúcar) son los carbohidratos más sencillos. Los monosacáridos comunes tienen una cadena principal de cinco o seis átomos de carbono, un grupo cetona o aldehído, y dos o más grupos hidroxilo. La mayoría de los monosacáridos son hidrosolubles, de modo que son transportados con facilidad por los entornos internos de todos los organismos.

Los azúcares que forman parte del ADN y el ARN son monosacáridos con cinco átomos de carbono. La glucosa (izquierda) tiene seis átomos de carbono. Las células emplean la glucosa como fuente de energía o material estructural. También es utilizada como un precursor o molécula original que



remodelan para formar otras moléculas. Por ejemplo, la vitamina C se deriva de la glucosa.

### Carbohidratos de cadena corta

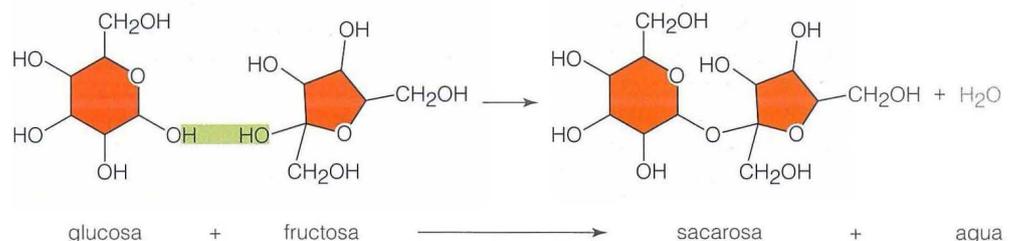
Un oligosacárido es una cadena corta de monosacáridos unidos covalentemente (*oligo-* significa unos cuantos). Por ejemplo, los disacáridos constan de dos monómeros de azúcar. La lactosa en la leche es un disacárido que tiene una unidad de glucosa y una unidad de galactosa. La sacarosa, el azúcar más abundante de la naturaleza, tiene una de glucosa y una de fructosa (figura 3.7). La sacarosa que se extrae del azúcar de caña o las remolachas es el azúcar de mesa. Los oligosacáridos con tres o más unidades de azúcar a menudo se encuentran unidos a lípidos o proteínas que tienen importantes funciones para la inmunidad.

### Carbohidratos complejos

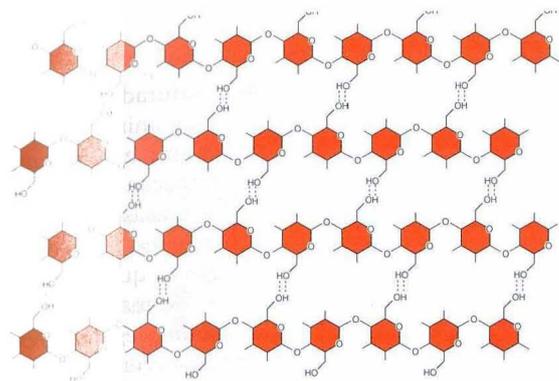
Los carbohidratos “complejos” o polisacáridos son cadenas rectas o ramificadas de muchos monómeros de azúcar, a menudo cientos o miles. Puede haber uno o varios tipos de monómeros en el polisacárido. Los polisacáridos más comunes son celulosa, glucógeno y almidón. Todos ellos constan de monómeros de glucosa, pero difieren en sus propiedades químicas. ¿Por qué? La respuesta comienza con diferencias en los patrones de enlaces covalentes que unen las unidades de glucosa (figura 3.8).

Por ejemplo, el patrón de enlace covalente del almidón hace que la molécula se enrolle como una escalera en espiral (figura 3.8b). El almidón no se disuelve fácilmente en agua, de modo que se resiste a la hidrólisis. Esta estabilidad es un motivo por el cual el almidón se emplea para almacenar energía química en el interior acuoso y lleno de enzimas de las células vegetales.

La mayoría de las plantas fabrica más glucosa de la que necesitan. Este exceso se almacena como almidón en las raíces, tallos y hojas. No obstante, por ser insoluble, el almidón no puede ser transportado fuera de las células y

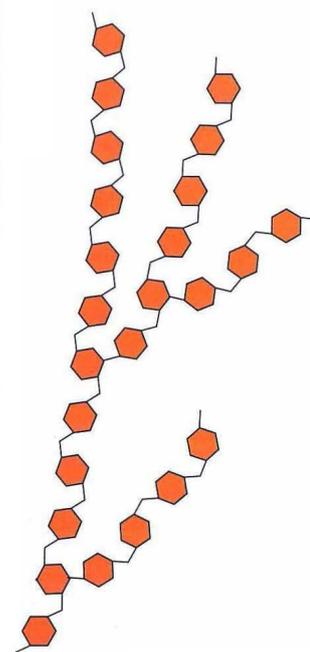
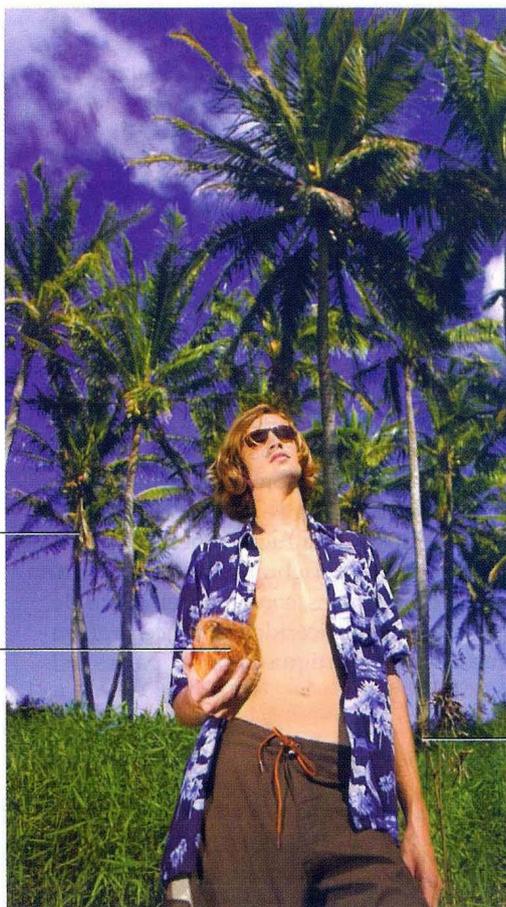
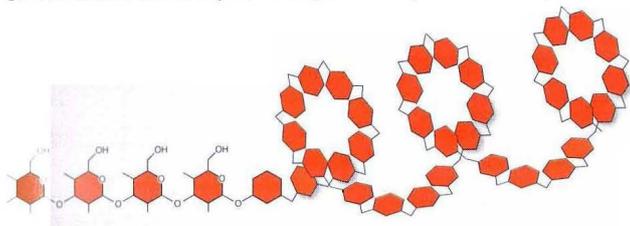


**Figura 3.7 Animada** La síntesis de una molécula de sacarosa es un ejemplo de reacción de condensación. El lector ya conoce la sacarosa: es el azúcar de mesa común.



**a** La celulosa es el componente estructural de las plantas. Hay cadenas de unidades de glucosa unidas entre sí por puentes de hidrógeno y muchos grupos —OH. Los puentes de hidrógeno estabilizan las cadenas en haces apretados que forman largas fibras. Muy pocos tipos de organismos pueden digerir este material resistente e insoluble.

**b** En la amilosa, un tipo de almidón, una serie de unidades de glucosa forman una cadena enrollada. El almidón es la principal reserva energética en las plantas que la almacenan en sus raíces, tallos, hojas, frutos y semillas (como el coco).



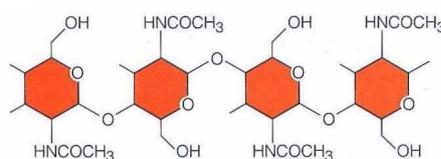
**c** El glucógeno. Este polisacárido, en los animales, tiene funciones de reservorio de energía. Es particularmente abundante en hígado y músculos de animales activos, incluyendo los seres humanos.

**Figura 3.8** Estructura de (a) celulosa, (b) almidón y (c) glucógeno, y su ubicación típica en algunos organismos. Estos tres carbohidratos constan únicamente de unidades de glucosa, pero los distintos patrones de enlace que unen a las subunidades dan lugar a sustancias con propiedades muy diferentes.

distribuido a otras partes de la planta. Cuando los azúcares escasean, las enzimas hidrolíticas rompen los enlaces entre los monómeros de azúcar del almidón. Las células sintetizan el disacárido sacarosa a partir de las moléculas de glucosa liberadas. La sacarosa es soluble y se transporta fácilmente.

La celulosa, principal material estructural de las plantas, quizá sea la molécula orgánica más abundante en la biosfera. Las cadenas de glucosa se encuentran una junto a la otra (figura 3.8a). Los puentes de hidrógeno, entre las cadenas, las estabilizan formando haces resistentes y apretados. Las paredes de las células vegetales contienen largas fibras de celulosa. Como varillas de acero dentro de pilares de concreto reforzado, estas resistentes fibras permiten que los tallos de gran altura resistan al viento y a otras formas de estrés mecánico.

En los animales, el glucógeno es el azúcar de reserva equivalente al almidón en las plantas (figura 3.8c). Las células musculares y hepáticas lo almacenan. Cuando el nivel de azúcar en sangre desciende, las células hepáticas descomponen glucógeno y las subunidades liberadas de glucosa entran al torrente sanguíneo.



**Figura 3.9** La quitina. Este polisacárido refuerza las partes duras de muchos animales pequeños, como los cangrejos.

La quitina es un polisacárido con grupos nitrogenados en sus diversos monómeros de glucosa (figura 3.9). La quitina refuerza las partes duras de muchos animales, incluyendo la cutícula externa de cangrejos, escarabajos y garrapatas. También refuerza la pared celular de muchos hongos.

#### Para repasar en casa

¿Qué son los carbohidratos?

- Las subunidades de carbohidratos simples (azúcares), ordenadas de distintos modos, forman varios tipos de carbohidratos complejos.
- Las células usan los carbohidratos como energía de almacenamiento o como materiales estructurales.

### 3.4

## Si son grasosos o aceitosos, sin duda son lípidos

■ Los lípidos funcionan como la principal reserva de energía en el cuerpo y forman parte natural de la membrana celular.

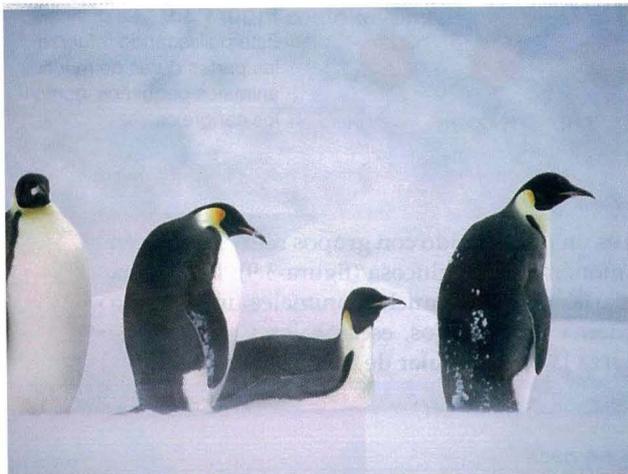
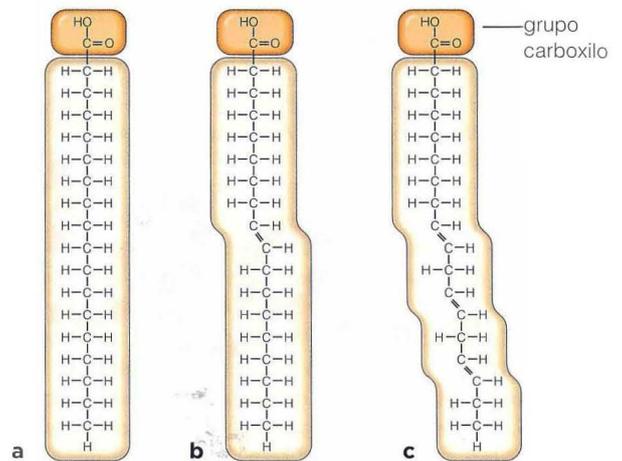
Los **lípidos** son compuestos orgánicos grasos, aceitosos o cerosos, insolubles en agua. Muchos lípidos incorporan **ácidos grasos**: compuestos orgánicos simples que tienen un grupo carboxilo unido a una cadena principal de cuatro a 36 átomos de carbono (figura 3.10).

### Grasas

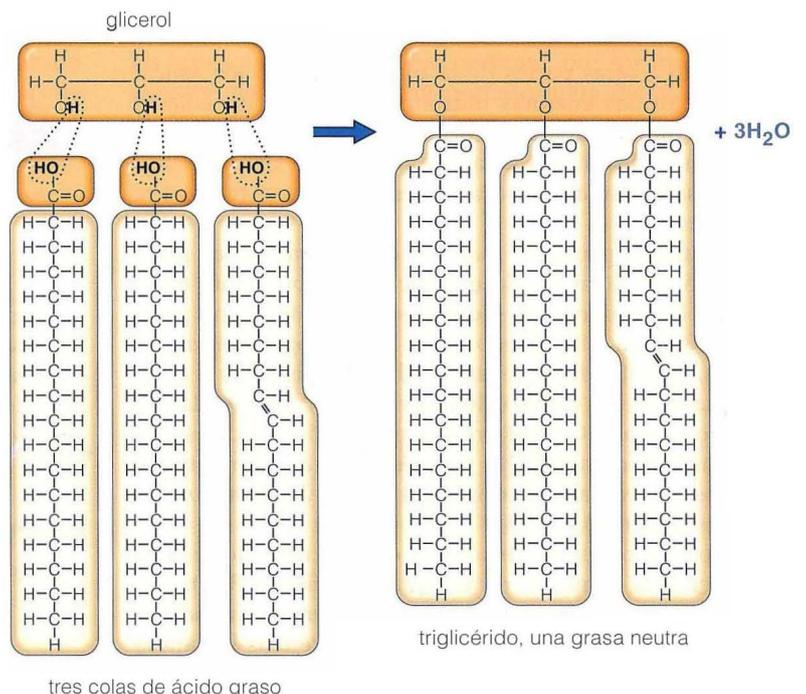
Las **grasas** son lípidos que tienen uno, dos o tres ácidos grasos que cuelgan como colas de un pequeño alcohol llamado glicerol. La mayoría de las grasas neutras, como la mantequilla y los aceites vegetales, son **triglicéridos**, grasas que tienen tres colas de ácido graso unidas al glicerol (figura 3.11). Los triglicéridos son la fuente energética más abundante en el cuerpo de los vertebrados y la más rica. Gramo por gramo, los triglicéridos contienen el doble de energía que el glucógeno. Los triglicéridos se concentran en el tejido adiposo que aísla y amortigua diversas partes del cuerpo.

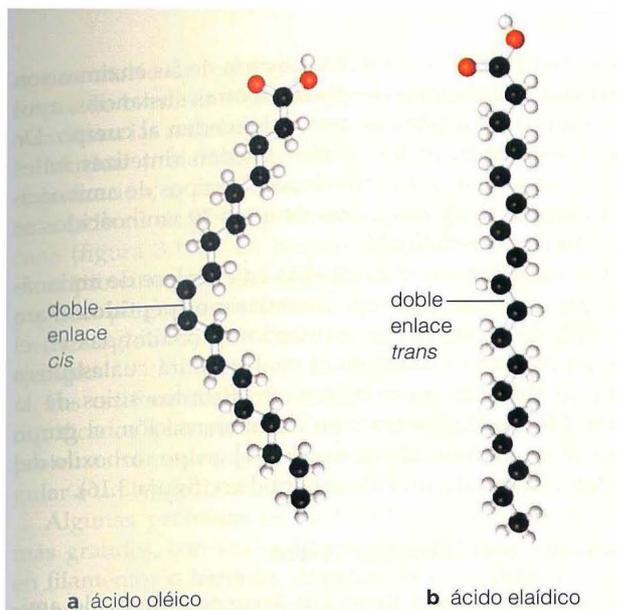
Las colas de ácido graso de las grasas saturadas sólo tienen enlaces covalentes simples. Las grasas animales tienden a permanecer sólidas a temperatura ambiente porque sus colas de ácidos grasos saturados se empaquetan de manera cercana. Las colas de ácidos grasos en las grasas no saturadas tienen uno o más enlaces dobles covalentes. Estos enlaces, tan rígidos en general, forman dobleces que impiden que las grasas insaturadas se empaquen de manera apretada (figura 3.12a). La mayoría de los aceites vegetales son insaturados, de modo que tienden a permanecer líquidos a temperatura ambiente. Los aceites vegetales parcialmente hidrogenados son una excepción. El doble enlace de estos ácidos grasos *trans* los mantiene rectos. Las grasas *trans* tienen empaquetamiento apretado, de modo que son sólidos a temperatura ambiente (figura 3.12b).

**Figura 3.10** Ejemplo de ácidos grasos (a) La cadena principal de ácido esteárico está totalmente saturada de átomos de hidrógeno. (b) El ácido oléico, con un doble enlace en su cadena principal, es insaturado. (c) El ácido linoléico también es insaturado y tiene tres dobles enlaces. El primer doble enlace está en el tercer carbono del extremo de la cola, de modo que el ácido oléico se llama ácido graso omega-3. Los ácidos grasos omega-3 y omega-6 son "ácidos grasos esenciales". El cuerpo no los fabrica, de modo que deben obtenerse de los alimentos.

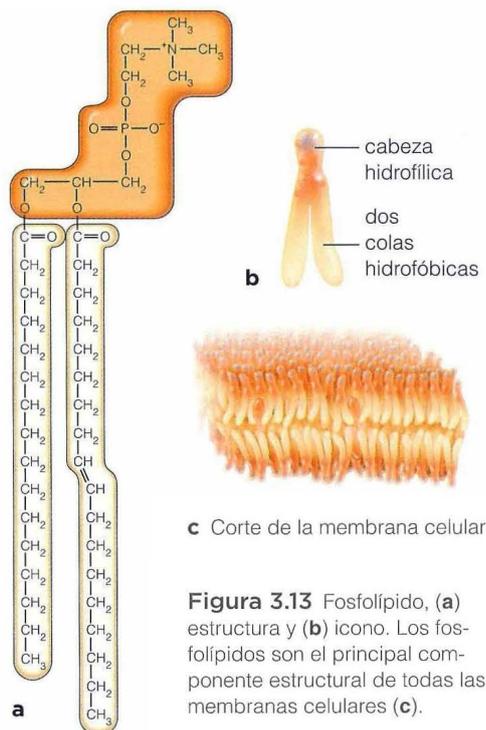


**Figura 3.11 Animada** Formación de triglicérido por condensación de tres ácidos grasos con una molécula de glicerol. En la fotografía se muestran pingüinos emperador aislados por triglicéridos durante una tormenta en la Antártida.





**Figura 3.12** La única diferencia entre (a) el ácido oléico (un ácido graso *cis*) y (b) el ácido eláidico (un ácido graso *trans*) es el ordenamiento de hidrógenos en torno a un doble enlace. Los ácidos grasos *trans* se forman durante los procesos de hidrogenación química.



**c** Corte de la membrana celular

**Figura 3.13** Fosfolípido, (a) estructura y (b) icono. Los fosfolípidos son el principal componente estructural de todas las membranas celulares (c).

## Fosfolípidos

Los **fosfolípidos** tienen una cabeza polar con un grupo fosfato y dos colas de ácido graso no polares. Son los lípidos más abundantes en las membranas celulares formadas de dos capas de fosfolípidos (figura 3.13a-c). Las cabezas de una capa están disueltas en el interior acuoso de la célula y las colas de la otra capa están disueltas en los alrededores líquidos de la célula. Todas las colas hidrofílicas forman un emparedado entre las cabezas. Describiremos la estructura de la membrana y su funcionamiento en los capítulos 4 y 5.

## Ceras

Las **ceras** son mezclas complejas y variables de lípidos con colas largas de ácidos grasos enlazadas a alcoholes de cadena larga o anillos de carbono. Las moléculas tienen empaquetamiento muy cercano, de modo que la sustancia resultante es firme y repelente al agua. Las ceras de la cutícula que recubre las superficies expuestas de las plantas ayudan a restringir las pérdidas de agua y mantienen alejados a los parásitos y otras plagas. Otros tipos de ceras protegen, lubrican y suavizan la piel y el pelo. Las ceras, junto con las grasas y los ácidos grasos, hacen que las plumas sean impermeables. Las abejas almacenan miel y crían a sus nuevas generaciones en un panal formado de cera de abeja.



**Figura 3.14** A la derecha, colesterol. Observa la cadena rígida de carbonos que contiene cuatro anillos de carbono.

## El colesterol y otros esteroides

Los **esteroides** son lípidos con una cadena principal rígida de cuatro anillos de carbono y sin colas de ácidos grasos. Difieren en el tipo, número y posición de los grupos funcionales que contienen. Todas las membranas de células eucariontes contienen esteroides. En los tejidos animales, el colesterol es el esteroide más común (figura 3.14). El colesterol se remodela para dar muchas moléculas, como las sales biliares (que ayudan a digerir las grasas) y la vitamina D (necesaria para mantener fuertes los huesos y dientes). Las hormonas esteroides se derivan del colesterol. Los estrógenos y la testosterona, hormonas que rigen la reproducción y los caracteres sexuales secundarios son algunos ejemplos (figura 3.5).

### Para repasar en casa

#### ¿Qué son los lípidos?

- Los lípidos son compuestos orgánicos aceitosos, cerosos o grasos. Se resisten a disolverse en agua. Las principales clases de lípidos son los triglicéridos, los fosfolípidos, las ceras y los esteroides.
- Los triglicéridos funcionan como reservorios de energía en los vertebrados.
- Los fosfolípidos son el principal componente de las membranas celulares.
- Las ceras son componentes de secreciones impermeabilizantes y lubricantes.
- Los esteroides son componentes de las membranas celulares y precursores de muchas otras moléculas.

## 3.5

# Proteínas: diversidad de estructura y función

- Las proteínas son las moléculas biológicas más diversas.
- Las células sintetizan miles de distintas proteínas uniendo aminoácidos en diferente orden.
- Conexión con El enlace covalente 2.4.

### Proteínas y aminoácidos

Una **proteína** es un compuesto orgánico formado de una o más cadenas de aminoácidos. Un **aminoácido** es un pequeño compuesto orgánico que tiene un grupo amino, un grupo carboxilo (el ácido), y uno o más átomos llamados en conjunto "grupo R". De manera típica, estos grupos están unidos con un mismo átomo de carbono (figura 3.15). En agua, los grupos funcionales se ionizan: el grupo amino queda como  $\text{—NH}_3^+$  y el grupo carboxilo como  $\text{—COO}^-$ .

De todas las moléculas biológicas, las proteínas son las más diversas. Las proteínas estructurales son parte de las telarañas, las plumas, las pezuñas, el cabello y muchas otras partes del cuerpo. Las de tipo nutritivo abundan en alimen-

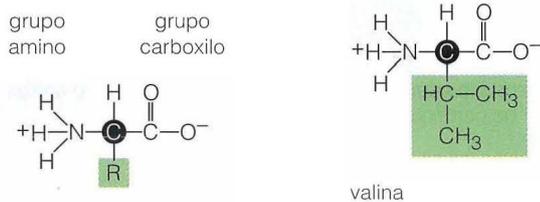
tos como semillas y huevos. La mayoría de las enzimas son proteínas. Las proteínas desplazan a otras sustancias, ayudan a las células a comunicarse y defienden al cuerpo. De manera sorprendente, las células pueden sintetizar miles de diversas proteínas a partir de sólo 20 tipos de aminoácidos. Las estructuras completas de estos 20 aminoácidos se muestran en el apéndice V.

La síntesis de proteínas consiste en el enlace de aminoácidos para formar cadenas llamadas **polipéptidos**. Para cada tipo de proteína, las instrucciones codificadas en el ADN especifican el orden en el cual se unirá cualesquiera de los 20 tipos de aminoácidos en distintos sitios de la cadena. Mediante una reacción de condensación, el grupo amino de un aminoácido se une con el grupo carboxilo del siguiente, formando un enlace peptídico (figura 3.16).

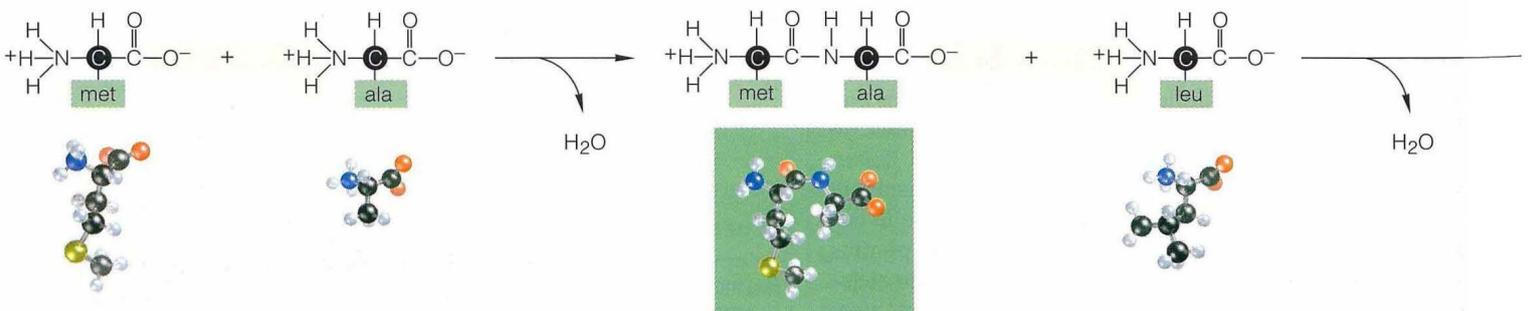
### Niveles de estructura protéica

Cada tipo de proteína tiene una secuencia única de aminoácidos, la cual se conoce como estructura primaria de la proteína (figura 3.17a). La estructura secundaria surge a medida que la cadena se enrolla, se dobla, forma asas o pliegues. Los puentes de hidrógeno entre aminoácidos hacen que tramos de la cadena de polipéptido formen una placa o se enrollen formando una hélice similar a una escalera en espiral (figura 3.17b). La estructura primaria de cada tipo de proteína es distintiva, pero se observan patrones similares de asas y placas en la mayoría de las proteínas.

Del mismo modo que una liga muy enrollada recupera su forma original, las asas, placas y giros de la proteína se pliegan aún más, formando dominios compactos. Un "dominio" es una parte de la proteína organizada como unidad estructuralmente estable. Dichas unidades constituyen la estructura terciaria de la proteína, su tercer nivel de organización. Gracias a la estructura terciaria, la proteína



**Figura 3.15** Estructura general de los aminoácidos y un ejemplo. Los recuadros verdes ilustran los grupos R. En el apéndice V se incluyen modelos de los 20 aminoácidos más comunes.



**A** El ADN codifica el orden de los aminoácidos en una nueva cadena de polipéptido. La metionina (met) es de manera típica el primer aminoácido.

**B** Por una reacción de condensación, se forma un enlace peptídico entre la metionina y el siguiente aminoácido, alanina (ala) en este ejemplo. La leucina (leu) es la que sigue. Hay que tener en cuenta la polaridad, la carga y otras propiedades de los grupos funcionales que quedan como vecinos en la cadena en crecimiento.

**Figura 3.16 Animada** Ejemplos de formación de enlace peptídico. En el capítulo 14 estudiaremos más ampliamente la síntesis protéica.

es una molécula funcional. Por ejemplo, los dominios con forma de barril de algunas proteínas, forman túneles que atraviesan las membranas (figura 3.17c).

Muchas proteínas también tienen un cuarto nivel de organización, o estructura cuaternaria. Constan de dos o más cadenas de polipéptido enlazadas o en asociación cercana (figura 3.17d). La mayoría de las enzimas y muchas otras proteínas son globulares, con varias cadenas de polipéptido plegadas en formas aproximadamente esféricas. La hemoglobina, que describiremos más adelante, es un ejemplo.

Las enzimas a menudo unen oligosacáridos lineales o ramificados a las cadenas de polipéptido, formando glucoproteínas como las que imparten identidad molecular singular a un tejido, o al cuerpo.

Algunas proteínas se incorporan a estructuras mucho más grandes, con sus cadenas polipeptídicas organizadas en filamentos o láminas. Algunas de estas proteínas fibrosas contribuyen a la estructura y organización de células y tejidos. Un ejemplo es la queratina de las uñas. Otras proteínas fibrosas, como la actina y los filamentos de miosina de las células musculares, forman parte de los mecanismos que ayudan a las células y a las partes de la célula a moverse.

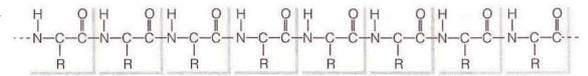
### Para repasar en casa

#### ¿Qué son las proteínas?

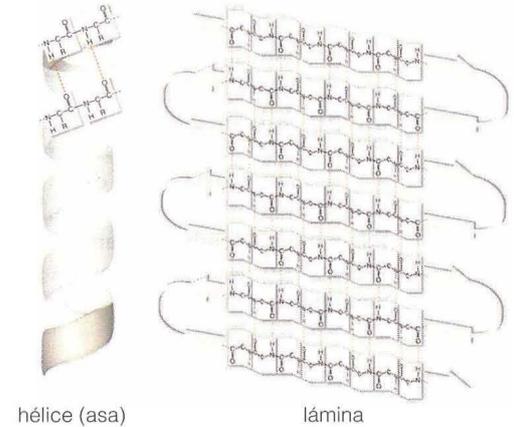
- Las proteínas constan de cadenas de aminoácidos. El orden de los aminoácidos en la cadena polipeptídica dicta el tipo de proteína.
- Las cadenas de polipéptido se enrollan y pliegan formando asas, láminas y hélices que se pliegan y empaquetan formando dominios funcionales.

a Estructura primaria de la proteína.

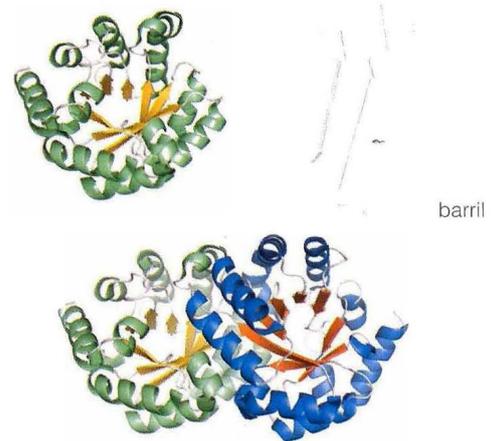
Aminoácidos enlazados formando una cadena polipeptídica.



b Estructura secundaria de la proteína. Un arreglo enrollado (helicoidal) o similar a una lámina se mantiene en su sitio gracias a los puentes de hidrógeno (líneas punteadas) entre diferentes partes de la cadena de polipéptido.

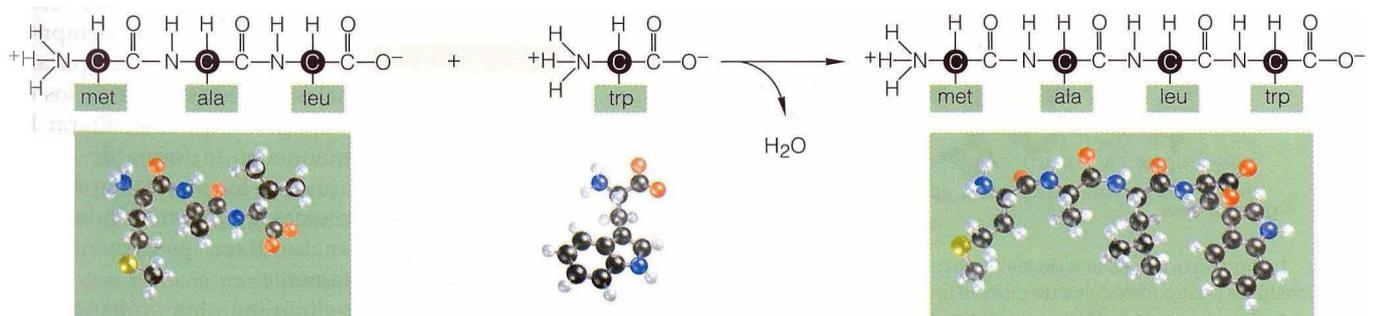


c Estructura terciaria de las proteínas. Las asas, las láminas, o ambas, se pliegan y giran dando lugar a dominios funcionales estables con forma de barriles o bolsillos.



d Estructura cuaternaria de las proteínas: dos o más cadenas polipeptídicas se asocian para formar una molécula.

Figura 3.17 Cuatro niveles de la organización estructural de una proteína.



C Se forma un enlace peptídico entre alanina y leucina. A continuación se une el triptófano (trp). La cadena comienza a enrollarse y pliegarse, a medida que los átomos giran en torno a algunos enlaces y atraen o repelen a sus vecinos.

D La secuencia de subunidades de aminoácido en esta cadena de péptido recién formada es ahora met-ala-leu-trp. El proceso puede continuar hasta que haya cientos o miles de aminoácidos en la cadena.

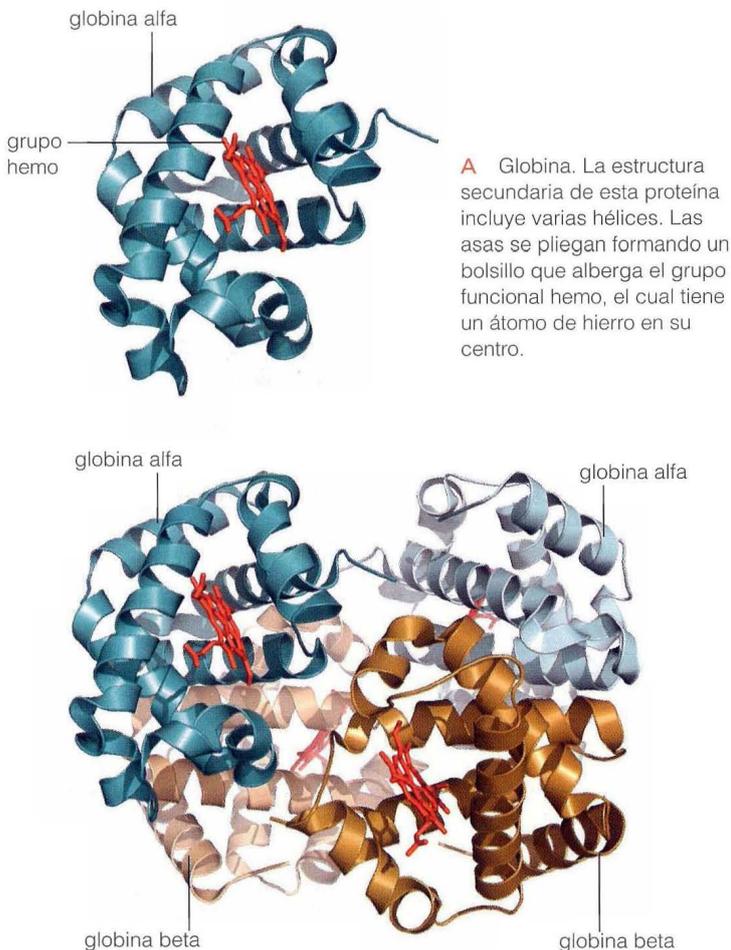
## 3.6

# ¿Por qué es tan importante la estructura de las proteínas?

- Cuando la estructura de una proteína es incorrecta, también su funcionamiento se altera.
- Conexiones con Herencia 1.2. Ácidos y bases 2.6.

### Basta un aminoácido incorrecto...

En ocasiones la secuencia de aminoácidos de una proteína se modifica con consecuencias drásticas. Emplearemos como ejemplo la hemoglobina. A medida que la sangre se desplaza por los pulmones, la hemoglobina de los eritrocitos se une con el oxígeno y después lo cede en regiones del cuerpo donde los niveles de oxígeno son bajos. Tras ceder oxígeno a los tejidos, la sangre circula de regreso a los pulmones, donde la hemoglobina de los eritrocitos se enlaza con más oxígeno.



Las propiedades de enlace de oxígeno de la hemoglobina dependen de su estructura. Cada una de las cuatro cadenas de globina de la proteína forma un bolsillo que alberga un grupo hemo, el cual contiene hierro (figuras 3.3 y 3.18). Una molécula de oxígeno puede enlazarse con cada grupo hemo en una proteína de hemoglobina.

La globina existe en dos formas ligeramente distintas, la globina alfa y la globina beta. En los humanos adultos, dos moléculas de cada forma se pliegan para dar lugar a una molécula de hemoglobina. El ácido glutámico con carga negativa normalmente es el sexto aminoácido en la cadena de globina beta, pero una mutación del ADN en ocasiones coloca un aminoácido distinto, la valina, en sexta posición (figura 3.19a,b). La valina carece de carga.

Como resultado de esa sustitución, una pequeña región de la proteína cambia de polar a no polar, lo cual a su vez ocasiona que el comportamiento de la proteína cambie levemente. La hemoglobina alterada de este modo se llama HbS. En algunas condiciones, las moléculas de HbS forman haces grandes estables con forma de bastón. Los eritrocitos que contienen estos haces se distorsionan en forma de foles (figura 3.19c). Las células falciformes tienden a taponear los vasos sanguíneos pequeños alterando la circulación sanguínea.

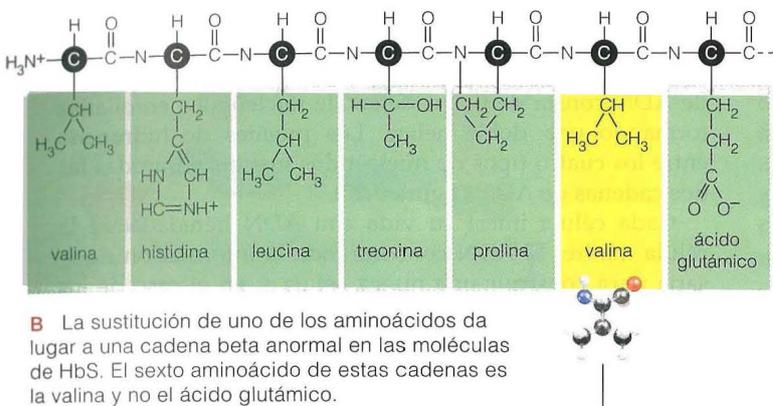
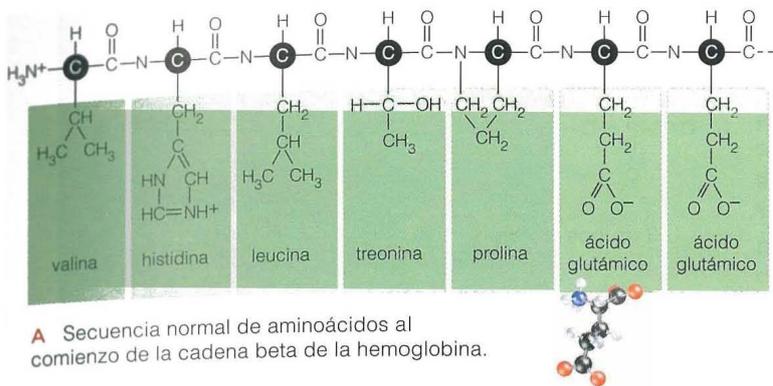
Los humanos tienen dos genes para globina beta, uno heredado de cada uno de los padres. (Los genes son unidades del ADN que codifican proteínas). Las células emplean ambos genes para fabricar globina beta. Cuando uno de los genes de la persona es normal y el otro tiene la mutación de valina, fabricará suficiente hemoglobina normal para sobrevivir, pero no la suficiente para estar totalmente saludable. Algunas personas con dos genes de globina mutado, sólo pueden fabricar hemoglobina HbS y el resultado es la anemia falciforme, un trastorno genético severo (figura 3.19d).

### Proteínas desintegradas: desnaturalización

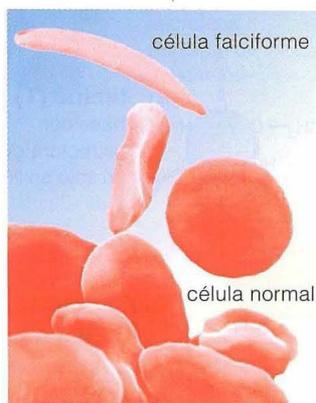
La forma de una proteína define su actividad biológica: la globina alberga al grupo hemo, una enzima acelera una reacción, y un receptor responde a alguna señal. Estas (y todas las demás) proteínas funcionan siempre y cuando permanezcan enroscadas, plegadas y empaçadas en sus formas tridimensionales correctas. El calor, los cambios de pH, las sales y los detergentes pueden alterar los puentes de hidrógeno que mantienen la forma de la proteína. En ausencia de los enlaces que los mantienen en su forma tridimensional, las proteínas y otras moléculas biológicas de gran tamaño, se **desnaturalizan**: pierden su forma y dejan de funcionar correctamente.

Consideremos la albúmina, una proteína de la clara de huevo. Al cocer los huevos, el calor no altera los enlaces covalentes de la estructura primaria de la albúmina, pero destruye los puentes de hidrógeno más débiles de la albúmina, y por lo tanto la proteína se despliega. Cuando la clara de huevo traslúcida se torna opaca, sabemos que la albúmina se ha alterado. En algunas proteínas la desnaturalización puede invertirse cuando las condiciones normales

**Figura 3.18 Animada.** Globina y hemoglobina (a) La globina, una cadena polipeptídica retorcida que alberga el grupo funcional hemo, el cual tiene un átomo de hierro. (b) La hemoglobina, una proteína para transporte de oxígeno en los eritrocitos.



**C** El ácido glutámico tiene una carga negativa, mientras que la valina no tiene carga. Esta diferencia de cargas en la proteína provoca un comportamiento distinto. A niveles bajos de oxígeno, las moléculas de HbS se pegan entre sí formando haces con forma de bastón que distorsionan los eritrocitos que normalmente son redondos, dándoles forma de false. (Un false es una herramienta agrícola que tiene forma de luna creciente.)



Agrupamiento de células en la sangre

Problemas circulatorios, daño cerebral, pulmonar, cardíaco, al músculo esquelético, al intestino y a los riñones

Insuficiencia cardíaca, parálisis, neumonía, reumatismo, dolor intestinal, insuficiencia renal

El bazo concentra las células falciformes

Aumento de tamaño del bazo

Sistema inmune comprometido

Destrucción rápida de células falciformes

Anemia, que provoca debilidad, fatiga, alteraciones del desarrollo, dilatación de las cámaras cardíacas

Alteración del funcionamiento cerebral, insuficiencia cardíaca

**D** Melba Moore es una celebridad que trabaja a favor de organizaciones para anemia falciforme. A la *derecha*. Gama de síntomas de una persona que presenta dos genes mutados de la cadena beta de la hemoglobina.

**Figura 3.19 Animada.** Base molecular de la anemia falciforme y síntomas de la misma. En la sección 18.6 se exploran las presiones evolutivas y ecológicas que preservan este trastorno genético en las poblaciones humanas.

regresan, pero la albúmina no es una de ellas pues no hay manera de que un huevo cocido vuelva a estar crudo.

La estructura de la proteína dicta sus funciones. Las enzimas, hormonas, transportadores, la hemoglobina; todas estas proteínas son críticas para la supervivencia del ser. Sus cadenas de polipéptido enrolladas, torcidas y plegadas, forman anclas, barriles que abarcan la membrana o quijadas, que atacan a proteínas extrañas al cuerpo. Las mutaciones pueden alterar las cadenas lo suficiente para bloquear o aumentar sus funciones de anclaje, transporte o defensa, y en ocasiones las consecuencias son terribles. Sin embargo, estos cambios también dan lugar a variación en los caracteres que constituyen la materia prima de la evo-

lución. Aprende acerca de la estructura de las proteínas y lograrás comprender mejor las ricas expresiones normales y anormales de los seres vivos.

#### Para repasar en casa

¿Por qué es importante la estructura de las proteínas?

- Las funciones de una proteína dependen de su estructura.
- Las mutaciones que alteran la estructura de una proteína, también pueden alterar sus funciones.
- La forma de la proteína se altera cuando los puentes de hidrógeno se destruyen.

## 3.7 Ácidos nucleicos

- Los nucleótidos son subunidades de ADN y ARN. Algunos desempeñan papeles en el metabolismo.
- Enlaces con Herencia 1.2, Diversidad 1.4, Puentes de hidrógeno 2.4.

Los **nucleótidos** son pequeñas moléculas orgánicas, y diversos tipos de ellas tienen funciones de portadores de energía, ayudantes enzimáticos, mensajeros químicos y subunidades del ADN y el ARN. Cada nucleótido consta de un azúcar con un anillo de cinco carbonos, enlazado a una base nitrogenada y uno o más grupos fosfato.

El nucleótido **ATP** (adenosin trifosfato) tiene una fila de tres grupos fosfato unidos al azúcar (figura 3.20). El ATP transfiere su grupo fosfato más externo a otras moléculas, y así las prepara a reaccionar. Explicaremos dichas transferencias de grupo fosfato y su importante papel metabólico en el capítulo 5.

Los **ácidos nucleicos** son polímeros: cadenas de nucleótidos en los cuales el azúcar de un nucleótido está unido con el grupo fosfato del siguiente. Un ejemplo es el **ARN**, o ácido ribonucleico, nombrado por el azúcar ribosa de sus nucleótidos componentes. El ARN consta de cuatro tipos de monómeros de nucleótidos, uno de ellos es el ATP. Las moléculas de ARN son importantes en la síntesis proteica, que discutiremos más ampliamente en el capítulo 14.

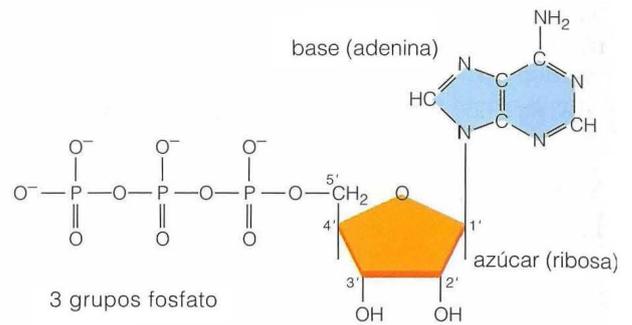


Figura 3.20 Estructura del ATP.

El **ADN**, o ácido desoxirribonucleico, es otro tipo de ácido nucleico nombrado por el azúcar desoxirribosa de los nucleótidos que lo componen (figura 3.21). Una molécula de ADN consta de dos cadenas de nucleótidos enrolladas formando una doble hélice. Los puentes de hidrógeno entre los cuatro tipos de nucleótidos mantienen unidas las dos cadenas de ADN (figura 3.22).

Cada célula inicia su vida con ADN heredado de la célula madre. El ADN contiene toda la información necesaria para construir una nueva célula y, en el caso de los

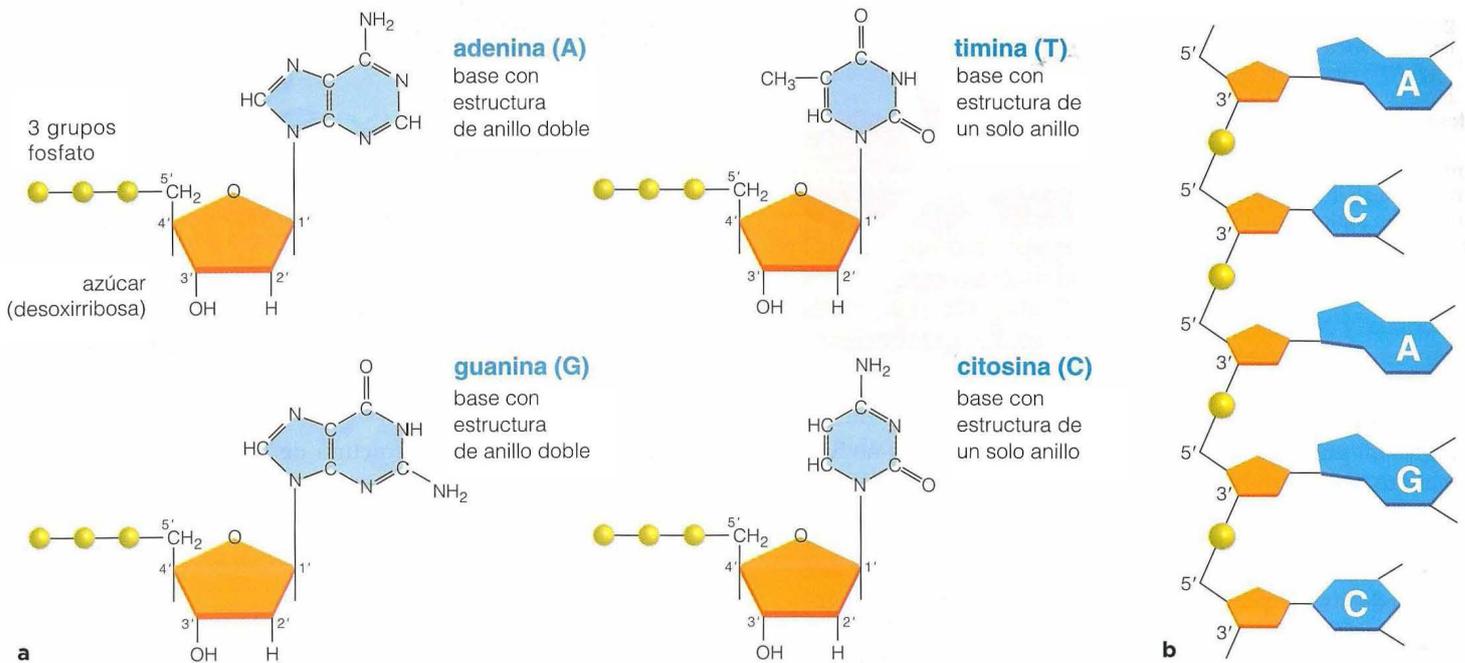


Figura 3.21 **Animada** (a) Nucleótidos del ADN. Los cuatro tipos de nucleótidos del ADN difieren sólo en la base componente de la cual derivan su nombre. Los átomos de carbono de los anillos de azúcar de los nucleótidos se numeran como se muestra. Esta convención numérica nos permite determinar la orientación de una cadena de nucleótidos como se indica en (b).

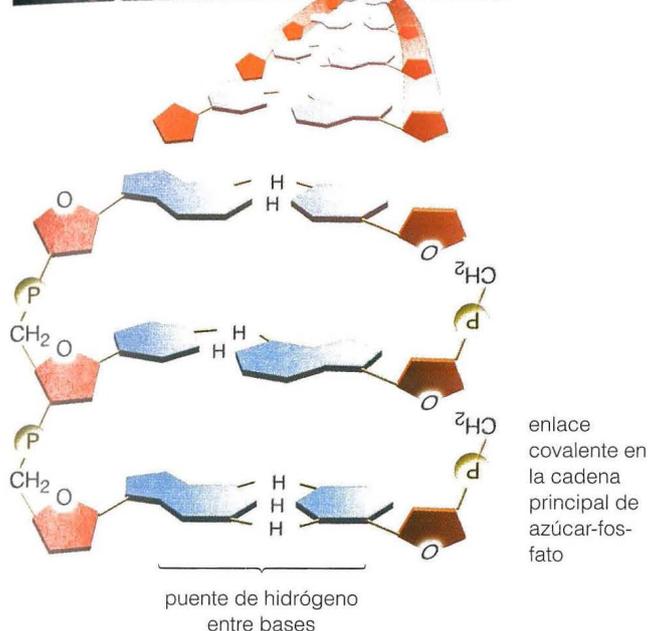
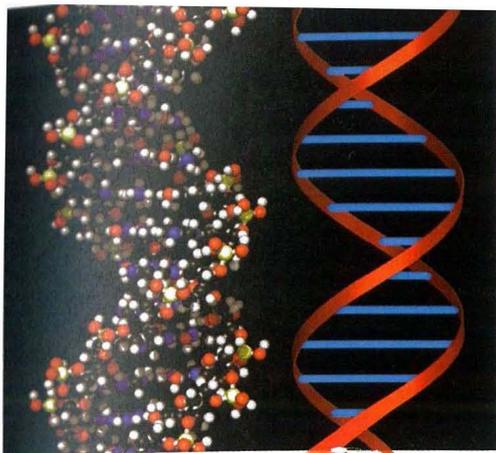


Figura 3.22 Modelos de la molécula de ADN.

organismos multicelulares, todo un individuo. La célula usa el orden de bases nucleótidos en su ADN (la secuencia del ADN) para construir ARN y proteínas. Partes de las secuencias son idénticas o casi idénticas en todos los organismos. Otras partes son características de la especie o inclusive del individuo. En el capítulo 13 estudiaremos más ampliamente la estructura y funcionamiento del ADN.

### Para repasar en casa

#### ¿Qué son los nucleótidos y los ácidos nucleicos?

- Diversos nucleótidos son monómeros de los ácidos nucleicos ADN y ARN, coenzimas, transportadores de energía y mensajeros.
- La secuencia de nucleótidos del ADN codifica la información hereditaria.
- Diferentes tipos de ARN desempeñan papeles en los procesos por los cuales la célula emplea la información hereditaria de su ADN.

## Resumen

**Sección 3.1** En las condiciones actuales en la naturaleza, sólo las células vivas sintetizan las moléculas de la vida: carbohidratos complejos y lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Las moléculas de la vida difieren, pero todas ellas son compuestos **orgánicos**, formadas principalmente por átomos de carbono e hidrógeno. Los átomos de carbono pueden enlazarse covalentemente hasta con otros cuatro átomos. Las moléculas de la vida contienen largas cadenas de carbono o anillos como cadenas principales.

**Sección 3.2** Los **grupos funcionales** unidos a la cadena principal de carbono influyen en las funciones de los compuestos orgánicos. En la tabla 3.2 (página siguiente) se resumen las moléculas de la vida y sus funciones. Por el proceso del **metabolismo**, las células adquieren y emplean energía para sintetizar, reordenar y descomponer compuestos orgánicos.

Las reacciones enzimáticas comunes en el metabolismo incluyen la **condensación**, por la cual se fabrican **polímeros** a partir de pequeños **monómeros**, y la **hidrólisis**, en la cual se descomponen moléculas para dar lugar a otras más pequeñas.

- Usa la interacción de CengageNOW para explorar los grupos funcionales, la condensación y la hidrólisis.

**Sección 3.3** Las células usan **carbohidratos** como fuente de energía, formas de energía transportable o almacenable, y material estructural. Los oligosacáridos y polisacáridos son polímeros de monómeros de monosacárido.

- Usa la interacción de CengageNOW para ver cómo se forma la sacarosa por condensación de glucosa y fructosa.

**Sección 3.4** Los **lípidos** son moléculas no polares grasosas y aceitosas, a menudo con una o más colas de **ácido graso** e incluyen los **triglicéridos** y otras **grasas**. Los **fosfolípidos** son el principal componente estructural de las membranas celulares. Las **ceras** son parte de secreciones, impermeabilizantes y lubricantes; los **esteroides** son precursores de otras moléculas.

- Usa la interacción de CengageNOW para ver cómo se forma un triglicérido por condensación.

**Sección 3.5** Las **proteínas** son las moléculas más diversas de los seres vivos. La estructura protéica se inicia como una secuencia lineal de **aminoácidos** llamados cadena **polipeptídica** (estructura primaria). Esta cadena forma láminas y hélices (estructura secundaria) que pueden empacarse para formar dominios funcionales (estructura terciaria). Muchas proteínas, incluyendo la mayoría de las enzimas, constan de dos o más cadenas (estructura cuaternaria). Las proteínas fibrosas se agregan aún más formando largos filamentos o láminas.

- Usa la interacción de CengageNOW para explorar la estructura de los aminoácidos y aprender cómo se forma un enlace peptídico.
- Lee el artículo InfoTrac "Plegamiento Correcto e Incorrecto de las Proteínas" de David Gossard, American Scientist, septiembre 2002.

**Sección 3.6** La estructura de una proteína dicta su función. En ocasiones, una mutación del ADN da lugar a sustituciones de aminoácidos que alteran la estructura de la proteína lo suficiente como para comprometer su función. Las enfermedades genéticas como la anemia falciforme se producen así.

Los cambios de pH o la temperatura y la exposición al detergente o a las sales pueden alterar los abundantes puentes

Varios países están más adelantados en la restricción del uso de grasas *trans* en los alimentos que Estados Unidos. En 2004, Dinamarca aprobó una ley que prohíbe la importación de alimentos que contengan aceites vegetales parcialmente hidrogenados. Las papas fritas y los nuggets de pollo que importan los daneses de Estados Unidos, casi no contienen grasas *trans*; sin embargo, este mismo tipo de alimentos para consumidores estadounidenses contiene de 5 a 10 g de grasas *trans* por porción.

**¿Por qué opción votarías?**

Nueva York fue la primera ciudad estadounidense que prohibió las grasas *trans* en los alimentos de los restaurantes. ¿Se debería prohibir en su totalidad el uso de grasas *trans* en los alimentos? Ve más detalles en CengageNOW y vota en línea.



de hidrógeno y otras interacciones moleculares que mantienen unida la proteína en su forma tridimensional. Cuando la proteína se despliega y pierde esta forma tridimensional (se **desnaturaliza**), también pierde su función.

■ Usa la interacción de CengageNOW para aprender más sobre la estructura de la hemoglobina y la mutación de las células falciformes.

**Sección 3.7** Los nucleótidos son pequeñas moléculas orgánicas que constan de un azúcar enlazado con tres grupos fos-

fato y una base nitrogenada. El ATP transfiere grupos fosfatos a muchos tipos de moléculas. Otros nucleótidos son las coenzimas y los mensajeros químicos. El ADN y el ARN son **ácidos nucleicos**, cada uno de ellos compuesto de cuatro tipos de nucleótidos. El ADN codifica la información hereditaria de las proteínas celulares y sus ARN. Los diferentes ARN interactúan con el ADN y entre sí para llevar a cabo la síntesis protéica.

■ Usa la interacción de CengageNOW para explorar el ADN.

**Tabla 3.2** Resumen de las principales moléculas orgánicas en los seres vivos

Categoría	Principales subcategorías	Algunos ejemplos y sus funciones	
<b>CARBOHIDRATOS</b> ... contienen un grupo aldehído o cetona y uno o más grupos hidroxilo.	<b>Monosacáridos</b> Azúcares simples.	Glucosa	Fuente de energía.
	<b>Oligosacáridos</b> Carbohidratos de cadena corta.	Sacarosa	La forma más común de azúcar.
	<b>Polisacáridos</b> Carbohidratos complejos.	Almidón, glucógeno	Almacenamiento de energía.
<b>LÍPIDOS</b> ... son principalmente hidrocarburos, generalmente no se disuelven en agua pero sí se disuelven en sustancias no polares, como alcoholes u otros lípidos.	<b>Glicéridos</b> Cadena principal de glicerol con una, dos o tres colas de ácido graso (p.ej., los triglicéridos).	Celulosa	Papel estructural.
	<b>Fosfolípidos</b> Cadena principal de glicerol, grupo fosfato y otro grupo polar; a menudo dos ácidos grasos.	Grasas (p. ej., la mantequilla), aceites (p. ej., aceite de maíz).	Almacenamiento de energía.
	<b>Ceras</b> Alcohol con colas de ácido graso de cadena larga.	Lecitina	Componente clave de las membranas celulares.
	<b>Esteroides</b> Anillos de cuatro carbonos, el número, la posición y el tipo de grupos funcionales difiere.	Ceras de la cutina	Conservación de agua en las plantas.
	<b>Proteínas principalmente fibrosas</b> Largos filamentos o láminas de cadenas polipeptídicas, a menudo son resistentes e impermeables.	Colesterol	Componente de las membranas de células animales, precursor de muchos esteroides, vitamina D.
	<b>Proteínas principalmente globulares</b> Una o más cadenas polipeptídicas dobladas en forma globular. Desempeñan muchos papeles en la actividad de la célula.	Queratina	Componente estructural de pelo y uñas.
<b>PROTEÍNAS</b> ... están formadas por una o más cadenas polipeptídicas, cada una hasta con varios miles de aminoácidos enlazados covalentemente.	<b>Fosfatos de adenosina</b>	Colágeno	Componente del tejido conectivo.
	<b>Coenzimas nucleótidos</b>	Miosina, actina	Componentes funcionales de los músculos.
	<b>Ácidos nucleicos</b> Cadenas de nucleótidos.	Enzimas	Incrementan considerablemente la velocidad de las reacciones.
<b>ÁCIDOS NUCLEICOS Y NUCLEÓTIDOS</b> ... son cadenas de unidades (o unidades individuales) cada una de las cuales consta de un azúcar de cinco carbonos, un grupo fosfato y una base nitrogenada.		Hemoglobina	Transporte de oxígeno.
		Insulina	Controla el metabolismo de la glucosa
		Anticuerpos	Defensas inmunes.
		ATP	Transportador de energía.
		cAMP	Mensajero de regulación hormonal.
		NAD <sup>+</sup> , NADP <sup>+</sup> , FAD	Transferencia de electrones, protones (H <sup>+</sup> ) de un sitio de reacción a otro.
		ADN, ARN	Almacenamiento, transmisión, traducción de información genética.

## Ejercicio de análisis de datos

El colesterol no se disuelve en sangre, de modo que es transportado en el torrente sanguíneo por agregados de lípidos y proteínas llamados lipoproteínas. Las lipoproteínas tienen estructura variable. Las lipoproteínas de baja densidad (LDL) transportan el colesterol a tejidos corporales como las paredes arteriales, donde forma depósitos que ponen en peligro la salud. El LDL a menudo se llama colesterol "malo". Las lipoproteínas de alta densidad (HDL) llevan al colesterol de los tejidos al hígado para que sea desechado. A menudo se llaman colesterol "bueno".

En 1990, R. P. Mensink y M. B. Katan publicaron un estudio donde probaron los efectos de diferentes grasas de la dieta sobre los niveles de lipoproteína en sangre. Sus resultados se muestran en la figura 3.23.

1. ¿En qué grupo fue más alto el nivel de colesterol LDL (colesterol "malo")?
2. ¿En qué grupo fue más bajo el nivel de colesterol HDL (colesterol "bueno")?
3. El aumento de riesgo de enfermedades cardíacas se ha correlacionado con el incremento de las proporciones de colesterol LDL respecto a colesterol HDL, ¿en qué grupo fue más alta la proporción? Clasifica las tres dietas según su efecto potencial sobre la salud cardiovascular.

	Principales grasas de las dietas			nivel óptimo
	ácidos grasos <i>cis</i>	ácidos grasos <i>trans</i>	grasas saturadas	
LDL	103	117	121	<100
HDL	55	48	55	>40
proporción	1.87	2.43	2.2	<2

**Figura 3.23** Efecto de la dieta sobre los niveles de lipoproteínas. Los investigadores proporcionaron a 59 varones y mujeres una dieta en la cual 10% de su ingesta energética diaria consistía de ácidos grasos *cis*, ácidos grasos *trans* o grasas saturadas. Midieron los niveles sanguíneos de LDL y HDL después de tres semanas. Se muestra un promedio de los resultados en mg/dL (miligramos por decilitros). Todos los sujetos fueron sometidos a períodos con cada una de las dietas. También se muestra la proporción de LDL respecto a HDL.

## Autoevaluación *Respuestas en el apéndice III*

1. Cada átomo de carbono puede compartir pares de electrones hasta con \_\_\_\_\_ átomos adicionales.
2. Los azúcares son un tipo de \_\_\_\_\_.
3. \_\_\_\_\_ es un azúcar simple (un monosacárido).  
a. La glucosa            c. La ribosa            e. tanto a como b  
b. La sacarosa          d. La quitina          f. tanto a como c
4. A diferencia de las grasas saturadas, las colas de ácido graso de las grasas no saturadas incorporan uno o más \_\_\_\_\_.
5. Di si la siguiente información es cierta o falsa: A diferencia de las grasas saturadas, todas las grasas insaturadas son benéficas para la salud porque las colas de sus ácidos grasos se doblan impidiendo el empaquetamiento cercano.
6. Los esteroides se encuentran entre los lípidos que no tienen \_\_\_\_\_.
7. ¿Cuál de los siguientes es un tipo de moléculas que abarca todas las demás moléculas que se mencionan?  
a. triglicéridos            c. ceras            e. lípidos  
b. ácidos grasos          d. esteroides      f. fosfolípidos
8. \_\_\_\_\_ son para las proteínas como \_\_\_\_\_ son para los ácidos nucleicos.  
a. Los azúcares; los lípidos  
b. Los azúcares; las proteínas  
c. Los aminoácidos; los puentes de hidrógeno  
d. Los aminoácidos; los nucleótidos
9. Una proteína desnaturizada pierde sus \_\_\_\_\_.  
a. puentes de hidrógeno            c. función  
b. forma                                  d. todos los anteriores
10. \_\_\_\_\_ consta(n) de nucleótidos.  
a. los azúcares                          c. el ARN  
b. el ADN                                  d. b y c
11. \_\_\_\_\_ son la mayor fuente de energía en el cuerpo humano.  
a. Los azúcares                          c. Las grasas  
b. Las proteínas                          d. Los ácidos nucleicos
12. Relacione cada molécula con su descripción más adecuada.  
\_\_\_\_ cadena de aminoácidos            a. carbohidrato  
\_\_\_\_ transportador de energía en las células    b. fosfolípido  
\_\_\_\_ glicerol, ácidos grasos, fosfato            c. polipéptido  
\_\_\_\_ dos cadenas de nucleótidos                  d. ADN  
\_\_\_\_ uno o más monómeros de azúcar            e. ATP  
\_\_\_\_ mayor fuente de energía                      f. triglicéridos

Visite [www.ck12.org](http://www.ck12.org) para encontrar preguntas adicionales.

## Pensamiento crítico

1. En la siguiente lista, identifica el carbohidrato, el ácido graso, el aminoácido y el polipéptido:  
a.  $+NH_3-CHR-COO^-$                           c. (glicina)<sub>20</sub>  
b.  $C_6H_{12}O_6$     d.  $CH_3(CH_2)_{16}COOH$

2. Las lipoproteínas son haces esféricos relativamente grandes de moléculas de proteína y lípido que circulan en la sangre de los mamíferos. Son como maletas que desplazan colesterol, residuos de ácidos grasos, triglicéridos y fosfolípidos de un sitio a otro del organismo. Dados tus conocimientos sobre insolubilidad de los lípidos en agua, ¿cuál de los cuatro tipos de lípidos predecirías que se encontrara fuera del haz de lipoproteína en la porción líquida de la sangre?

3. En 1976, ciertos investigadores desarrollaron nuevos insecticidas modificando azúcares con cloro ( $Cl_2$ ) y otros gases tóxicos. Un miembro joven del equipo malentendió las instrucciones de "probar" una nueva molécula y creyó que debía "probarla" con la lengua. Afortunadamente la molécula no era tóxica, aunque era dulce y llegó a ser el aditivo alimenticio llamado sucralosa.

La sucralosa tiene tres átomos de cloro sustituidos en vez de tres grupos hidroxilo en la sacarosa. Los átomos de cloro altamente electronegativos hacen que la sucralosa sea muy electronegativa (sección 2.3). La sucralosa se enlaza tan fuertemente con los receptores de sabor dulce de la lengua, que el cerebro la percibe como unas 600 veces más dulce que la sacarosa. El cuerpo no reconoce la sucralosa como carbohidrato. Se alimentó a voluntarios con sucralosa marcada con  $^{14}C$ , y el análisis de moléculas radiactivas en orina y heces demostró que 92.8% de la sucralosa pasaba sin alteraciones por el cuerpo. Sin embargo, muchos se preocupan de que los átomos de cloro impartan toxicidad a la sucralosa, ¿Cómo responderías a esta preocupación?

