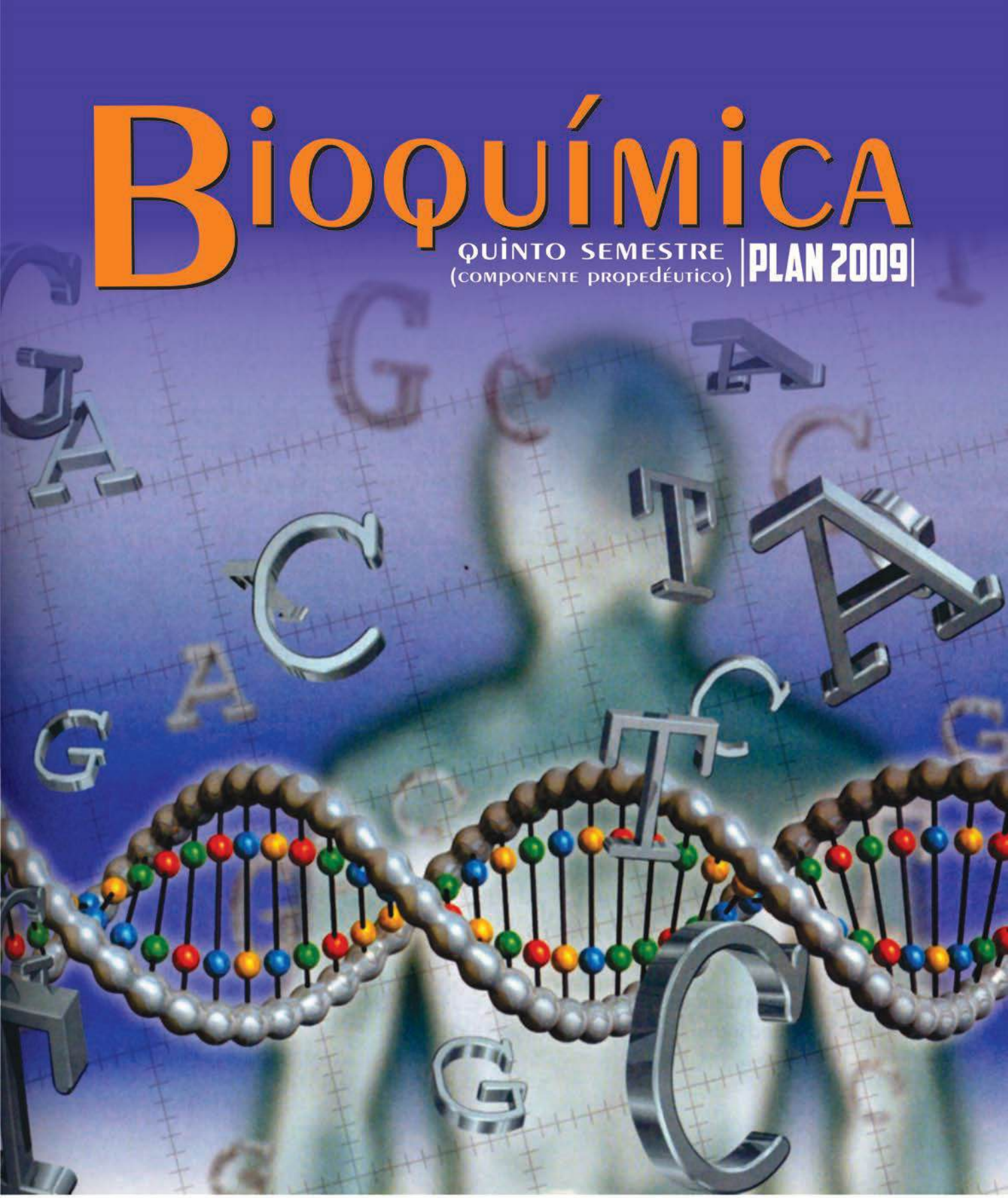
Bioquímica

QUINTO SEMESTRE
(COMPONENTE PROPEDÉUTICO) | PLAN 2009 |



Amada Aleyda Angulo Rodríguez
Alma Rebeca Galindo Uriarte
Roberto Conrado Avendaño Palazuelos
Carolina Pérez Angulo

DGEP
Dirección General de Escuelas Preparatorias

Bioquímica

UAS-DGEP

BIOQUÍMICA

Tercer año

1ª edición 2011.

© 2011. Universidad Autónoma de Sinaloa
Dirección General de Escuelas Preparatorias
Academia Estatal de Biología
Circuito interior oriente s.n.
Ciudad Universitaria,
Culiacán, Sinaloa, México.
Cp.80010
Tel. 667-712-16-56, fax 712-16-53; ext. 111.
http://dgep.uas.uasnet.mx

Portada:
Yeimy López Camacho

Formación:
Yeimy López Camacho
Irán U. Sepúlveda León

Cuidado de la edición:
Amada Aleyda Angulo Rodríguez
Alma Rebeca Galindo Uriarte
Carolina Pérez Angulo

Edición con fines académicos, no lucrativos

Presentación

La bioquímica es un campo de la ciencia que representa uno de los conjuntos de conocimiento que nacieron de la intersección de dos grandes ciencias: la química y la biología. Es notable el hecho de que los procesos vitales tienen su base de entendimiento ulterior en las leyes elementales de la química y de la física.

La naciente ciencia de la biología de los siglos XVIII y XIX, requería desarrollar el conocimiento acerca de la estructura y composición de los seres vivos para generar sus propias explicaciones para un mejor entendimiento de los procesos biológicos.

Los seres vivos forman una jerarquía de sistemas cada vez más complejos: especies, poblaciones, organismos completos, órganos, tejidos, células y moléculas. En cada nivel de organización surgen conocimientos que no se hubieran concretado estudiando solamente los otros niveles de organización, sean estos superiores o inferiores.

El conocimiento que se tenía de los seres vivos tendía a profundizarse; el estudio de lo biológico transitaba de un nivel de organización biológica como el anatómico a un nivel de organización inferior como es el de los tejidos. Posteriormente, las explicaciones se hicieron más precisas al bajar a los niveles de organización como el celular y el molecular que tuvieron sus inicios a principios del siglo XIX.

Después, empezaron a reconocerse funciones que desarrolla la célula como el metabolismo, la excreción, la respiración, el crecimiento, que tenían que explicarse a un nivel de composición interna y la biología requería de conocimientos acerca de los componentes celulares que sólo la química podía suministrarlos por medio de un arduo y paciente trabajo de investigación en los laboratorios.

Para identificar tales componentes que estructuran a los seres vivos se desarrolló un campo especial conocido como química orgánica que tenía que ver con las sustancias presentes en los seres vivos. Luego, ya sabiendo cuáles eran esas sustancias la tarea era saber qué papel desempeñaban en los seres vivos, generándose de esta manera otro campo biológico, la fisiología que en ese tiempo le llamaban fisiología química. Por eso se considera que los antecedentes directos de la bioquímica como conocimiento ramificado son la química orgánica y la fisiología.

Es indudable la aportación de otras ramas del conocimiento humano como la física, pues todos los seres vivos finalmente nos regimos por las leyes básicas de la física.

La bioquímica es considerada como una ciencia que dentro de la biología nos permite explicar los procesos biológicos en el nivel molecular, dicho de otra manera, la bioquímica se considera el estudio sistemático de los principios que rigen las interacciones entre los procesos vitales y las moléculas que intervienen en tales procesos.

En general, se puede decir que el diálogo de saberes entre la química y la biología se da en el campo neutral de la bioquímica.

Una de las cualidades sobresalientes de los organismos vivos es su complejidad y su alto nivel de organización. Poseen estructuras intrincadas que contienen muchas clases de moléculas inorgánicas y moléculas orgánicas complejas, cada una de las cuales presentan características especiales que les permiten participar en las funciones celulares.

Muchas de las diferencias que se presentan en la vasta diversidad de especies vivientes se encuentran, entre otros aspectos no menos importantes, en el tipo de moléculas que los estructuran y que los hacen funcionar de manera diferente. La bioquímica estudia los procesos biológicos que se dan en todas las formas de vida, sean éstas arqueobacterias, eubacterias, protistas, hongos, plantas o animales.

Los organismos vivos, a pesar de su complejidad son sistemas ordenados y se encuentran dotados de cualidades tales como la reproducción, el metabolismo, la replicación, la regulación, la adaptación, el crecimiento y la organización jerárquica.

Uno de los propósitos de este libro de texto de bioquímica, es apoyar a quienes lo lean a adquirir un mejor conocimiento acerca del tema y proporcionar una base de conceptos para lograr una mejor perspectiva de cómo son y cómo funcionan los seres vivos, vistos éstos desde el nivel molecular.

Los autores

Contenido

Presentación ● 7

UNIDAD 1. Introducción a la bioquímica

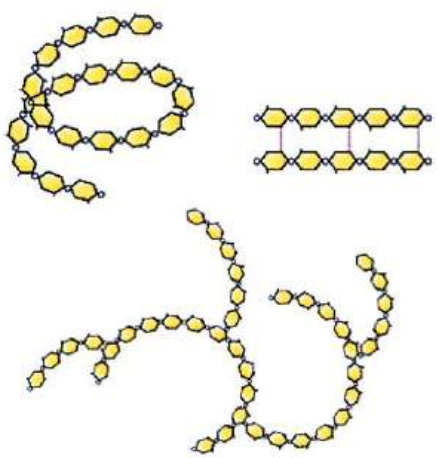
Concepto y propósito de la bioquímica ● 15
Desarrollo histórico de la bioquímica ● 15
Una mirada a la naturaleza y composición química de la célula ● 18
Autoevaluación ● 23

UNIDAD 2. Agua, pH y electrólitos

Introducción ● 29
Composición y estructura del agua ● 31
Propiedades fisicoquímicas del agua ● 34
Disociación del agua ● 40
Soluciones amortiguadoras ● 44
Electrólitos ● 45
Autoevaluación ● 47

UNIDAD 3. Carbohidratos

Introducción ● 53
Composición y fórmula de los carbohidratos ● 54
Clasificación de los carbohidratos ● 56
Monosacáridos ● 56
Oligosacáridos ● 65
Polisacáridos ● 67
Importancia de los carbohidratos ● 73
Autoevaluación ● 75

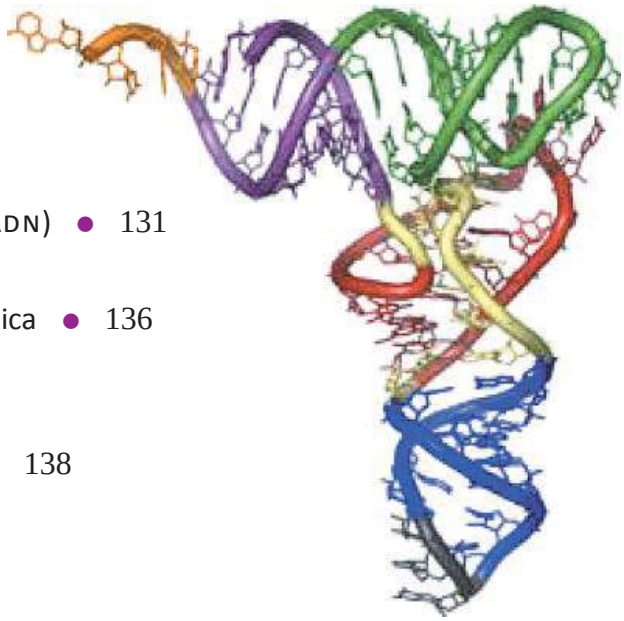


UNIDAD 4. Lípidos

Introducción ● 83
Clasificación de los lípidos ● 84
Lípidos simples ● 84
- Glicéridos ● 87
- Ceras ● 91
Lípidos complejos ● 93
- Fosfolípidos ● 93
- Esfingolípidos ● 94
- Esteroides ● 95
- Terpenos ● 99
- Prostaglandinas ● 100
Autoevaluación ● 101

UNIDAD 5. Proteínas

Introducción ● 109
Composición de las proteínas ● 109
Aminoácidos ● 109
Otros aminoácidos ● 112
Estructura de las proteínas ● 113
Primaria ● 113
Secundaria ● 115
Terciaria ● 115
Cuaternaria ● 115
Clasificación de las proteínas ● 115
Enzimas ● 117
Acción enzimática ● 117
Clasificación de las enzimas ● 119
Desnaturalización de las proteínas ● 119
Autoevaluación ● 121



UNIDAD 6. Ácidos nucleicos

Introducción ● 129
Cromatina y cromosomas ● 130
Estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN) ● 131
Función del ADN ● 135
Nucleótidos libres de importancia bioquímica ● 136
Replicación del ADN ● 136
Replicación semiconservativa ● 137
Estructura del ácido ribonucleico (ARN) ● 138
ARN mensajero (ARNm) ● 139
ARN ribosomal (ARNr) ● 139
ARN de transferencia (ARNt) ● 139
Síntesis de ARN (transcripción) ● 140
Autoevaluación ● 143

UNIDAD 7. Energía y metabolismo

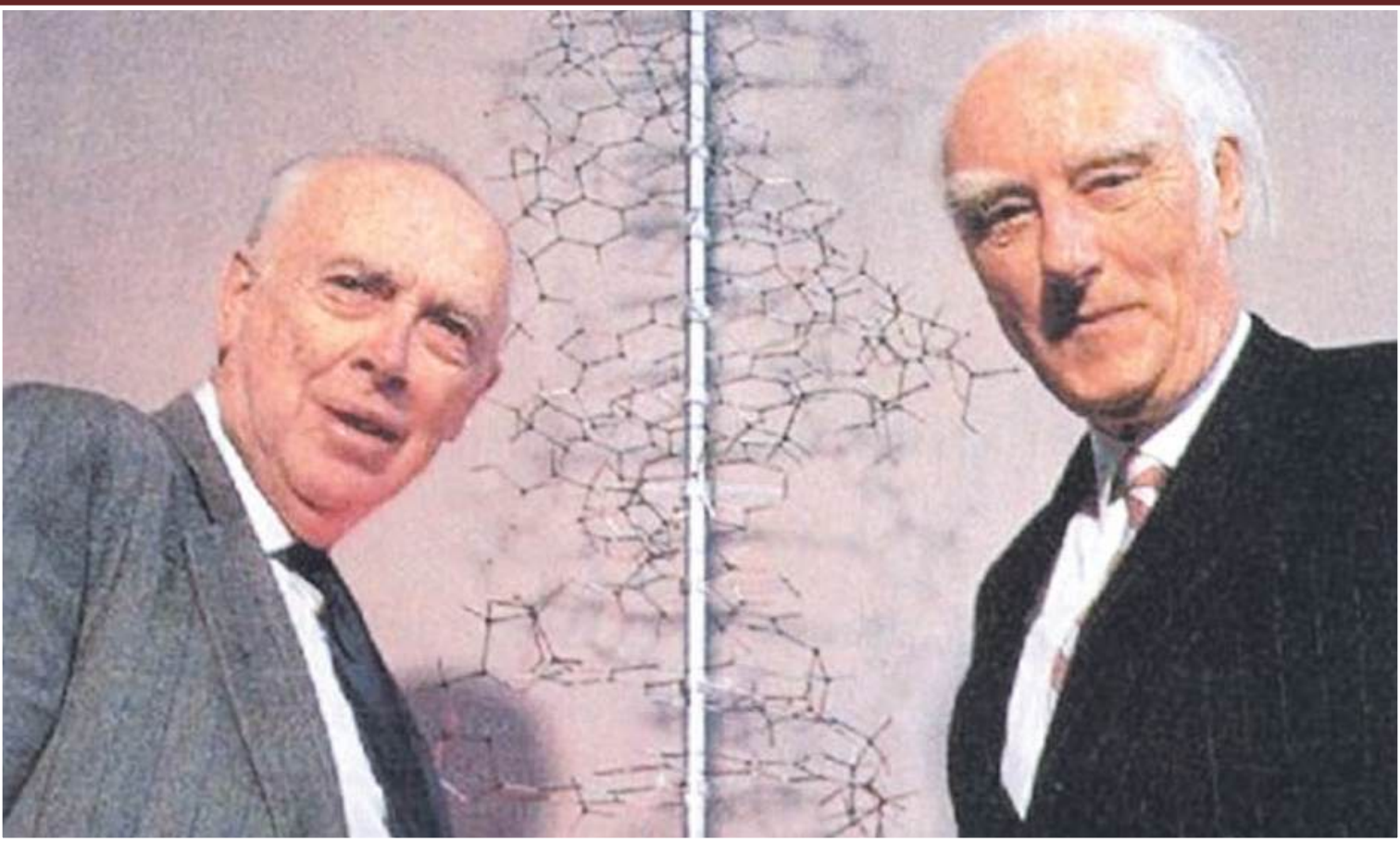
Introducción ● 151
Leyes de la termodinámica ● 152
Primera ley de la termodinámica ● 152
Segunda ley de la termodinámica ● 152

Reacciones exergónicas, endergónicas y acopladas • 153
Reacción exergónica • 153
Reacción endergónica • 154
Reacciones acopladas • 154
Estructura y función del ATP • 155
Almacenamiento y liberación de energía • 157
Anabolismo y catabolismo • 160
Anabolismo • 161
Catabolismo • 161
¿Cómo se metaboliza la glucosa? • 161
Glucólisis • 163
Fermentación láctica y alcohólica • 164
Autoevaluación • 168

Actividades de laboratorio • 175

Bibliografía • 200

Ilustraciones • 202



Introducción a la bioquímica

UNIDAD 1

Bioquímica

Concepto y propósito de la bioquímica

La **bioquímica** es el estudio de los procesos químicos que ocurren en los tejidos vivos. Concretamente, la bioquímica estudia a los seres vivos y describe como ocurren los procesos biológicos a nivel molecular, al utilizar conjuntamente los principios de la química orgánica y de la fisiología en la búsqueda de la comprensión cada vez más precisa de los procesos biológicos.

La bioquímica analiza los fenómenos biológicos a nivel más profundo que el de las modificaciones aparentes, y la información está más allá del campo de lo que se observa a simple vista o con cualquier microscopio. Las bases conceptuales de la bioquímica se encuentran en la **química orgánica**, la **fisicoquímica** y la **fisiología**.

El propósito de la bioquímica, como nos dice **Robert Murray**, consiste en describir y explicar, en términos moleculares, todos los procesos químicos de las células vivas.

Desarrollo histórico de la bioquímica

Figura 1.1 *Antoine Lavoisier.*

La iniciación de la investigación dentro de los límites de la moderna bioquímica se produjo hace unos 200 años. En la segunda mitad del siglo XVIII y durante todo el XIX se llevó a cabo un gran esfuerzo para entender tanto el aspecto estructural como el funcional de los procesos vitales.

De particular interés son los estudios realizados por el químico francés **Antoine Lavoisier** (1743-1794), alrededor de 1780, sobre la respiración; con los resultados de las determinaciones calorimétricas acerca del calor desprendido en la combustión por un lado, y la respiración en células vivas, por otro, Lavoisier concluyó que la respiración es similar a la combustión, sólo que más lenta.

Las primeras investigaciones del gran químico sueco **Karl Scheele** (1742-1786) sobre la composición química de los tejidos vegetales y animales constituyeron, sin duda alguna, el impulso necesario para el de la bioquímica. Scheele aisló una gran variedad de sustancias naturales tales como ácidos úrico, láctico, oxálico, cítrico, málico, así como también glicerina, caseína y diversos ésteres.

Al desarrollarse las técnicas de análisis cuantitativo elemental, el químico y médico sueco **Jöhns Berzelius** (1779-1848) y el químico alemán **Justus Von Liebig** (1803-1873) demostraron, a principios del siglo XIX, que las sustancias aisladas por Scheele contenían como elemento común al carbono.

Siguieron los intentos para sintetizar sustancias que contuviesen carbono, esto es, productos orgánicos. En esta época estaba muy extendida la **teoría del vitalismo**, la cual sostenía que los compuestos orgánicos solamente podían ser sintetizados mediante la acción de una fuerza vital, que se creía únicamente existía en los tejidos vivos.

El vitalismo se vino abajo cuando en 1828, el pedagogo y químico alemán **Friedrich Wohler** (1800-1882) sintetizó la urea a partir de cianatos metálicos y sales de amonio. A las investigaciones

de Wohler siguió la síntesis de ácido acético por parte de otro químico alemán **Adolf Kolbe** (1818-1884), en 1844, y la de varios compuestos orgánicos sintetizados en 1850 por el químico e historiador francés **Marcellin Berthelot** (1827-1907). Entonces el vitalismo quedó en el olvido, mientras que la síntesis orgánica estaba en pleno florecimiento.

La división de los alimentos en azúcares, grasas y proteínas, que dura hasta nuestros días, fue establecida por primera vez en 1827 por el médico inglés **William Prout**.

La química estructural de los lípidos fue objeto de atención en el mismo siglo XIX a través de los trabajos del francés **Michel Chevreul** (1786-1889) quién demostró, a través de estudios de saponificación, que las grasas se componían de ácidos grasos y glicerina. Uno de los trabajos significantes en la bioquímica estructural fueron los presentados por el eminente químico alemán **Emil Fischer** (1852-1919), revolucionando la investigación relativa a las estructuras de carbohidratos, grasas y proteínas. Fischer recibió el premio Nóbel de Química en 1902.

Químicos orgánicos de renombre como el holandés Gerardus J. Mulder (1802-1880), el alemán Justus Von Liebig, y el francés Paul Schutzenberger (1829-1897) y otros aislaron aminoácidos a partir de hidrolizados de proteínas, y de nuevo Emil Fischer vuelve a la escena de la historia cuando dedujo la forma en que se unen los aminoácidos en las proteínas.

En 1868, el biólogo suizo **Friedrich Miescher** (1844-1895) descubrió la presencia de ácido nucleico en los núcleos de las células del pus obtenido de vendajes quirúrgicos desechados.

Algunas facetas del metabolismo bioquímico aclaradas antes del siglo XX, usualmente centraban sus investigaciones en problemas agrícolas o médicos.

Por esta misma época el zoólogo alemán **Theodor Schwann** (1810-1882) reconoció que el proceso de la fermentación era de origen biológico; describió a la levadura como una planta capaz de convertir el azúcar en alcohol y bióxido de carbono. Estos trabajos fueron continuados, entre otros, por el químico francés **Louis Pasteur** (1822-1895) que identificó microorganismos fermentadores que no necesitan oxígeno, introduciendo así el concepto de organismos aerobios y anaerobios.

Figura 1.2 *Louis Pasteur.*

Otros avances importantes del siglo XIX fueron las investigaciones sobre la fotosíntesis y la fijación de CO_2 por los vegetales que corrieron a cargo del botánico suizo **Horace de Saussure**; se realizaron estudios sobre digestión, recuérdense los trabajos de Lázaro Spallanzani, René de Reamur, William Beaumont y Claude Barnard. Por esta época se desarrollan, además, técnicas quirúrgicas para estudiar la fisiología y la bioquímica animal.

Una de las conclusiones más importantes fue acerca de la unidad básica de la bioquímica en la naturaleza. Se demostró que aunque cada especie presenta individualidad bioquímica, existen grandes semejanzas en la manera en que formas vitales aún completamente distintas, llevan a cabo funciones íntimamente relacionadas entre sí. Esto simplifica el problema de la comprensión de los procesos vitales.

Ya a finales del siglo XIX y principios del XX la bioquímica florece en todo su esplendor. En 1903, el bioquímico judío alemán **Carl Neuberg** (1877-1956) da el nombre de bioquímica a esta nueva rama de la biología, motivo por el cual se le considera el **padre de la bioquímica**.

Figura 1.3 *Carl Neuberg considerado "padre de la bioquímica".*

Desde el punto de vista químico es de gran importancia que factores alimentarios desconocidos fueran puestos claramente de manifiesto por el bioquímico británico **Frederick Hopkins** (1861-1947) y sus colaboradores que señalaron la existencia de enfermedades causadas por deficiencias nutritivas.

La pelagra, el escorbuto, el raquitismo y el beriberi fueron gradualmente admitidas como enfermedades nutritivo-deficientes y sus agentes curativos, las vitaminas (término propuesto por el bioquímico polaco-americano **Casimir Funk**), fueron aisladas y caracterizadas. Son notables las investigaciones desarrolladas en este tema por los bioquímicos Elmer McCollum, Albert Szent-Gyorgyi, Harry Steenbock y Conrad Elvehjem.

Las investigaciones del químico alemán **Eduard Buchner** (1860-1917) con sistemas libres de células capaces de llevar a cabo fermentaciones, estimularon otras investigaciones como las de los bioquímicos ingleses Arthur Harden y Thomas Young; y también de los alemanes Gustav Embden y Otto Meyerhof, dando por resultado la determinación de la ruta bioquímica completa desde glucógeno hasta ácido láctico.

Los fructíferos trabajos del profesor de bioquímica **Adolf Krebs** sobre el metabolismo oxidativo de carbohidratos fueron continuados y desarrollados en otras áreas del metabolismo intermediario por Green, Feodor Lynen, Luis Leloir, Konrad Bloch, Kennedy, Davis y David Shemin.

La contribución del bioquímico estadunidense **James B. Sumner** radica en que descubrió, en 1926, que los biocatalizadores, o sea las enzimas, son proteínas, y este descubrimiento centra el interés por la investigación de la estructura y propiedades bioquímicas de las proteínas.

Ya para 1935, Sumner había descrito claramente el fenómeno catalítico, y señalado que la diastasa de la papa, enzima que cataliza la hidrólisis del almidón constituía un ejemplo de un biocatalizador e indicaba que todos los materiales de los tejidos vivos se formaban bajo la influencia de una acción catalítica. Las posteriores investigaciones sobre purificación de enzimas llevadas a cabo por los bioquímicos estadunidenses John Northrup y Moses Kunitz, confirmaron la naturaleza proteica de las enzimas, lo que convirtió a Sumner en el padre de la moderna enzimología, recibiendo compartido el premio nobel de química en 1946, por sus trabajos de cristalización de las enzimas. De fundamental importancia son los trabajos, sobre este mismo campo, los presentados por Vigneaud, Sanger, Stein, Moore, Perutz, Kendrew y Phillips.

Figura 1.4 *Fotografías de izquierda a derecha de Edwin Chargaff, James Watson, Francis Crick y Maurice Wilkins.*

Al mismo tiempo, los trabajos del austriaco **Edwin Chargaff**, el estadounidense **James Watson**, el británico **Francis Crick** y el neozelandés **Maurice Wilkins** determinaron la formulación de la estructura del ácido desoxirribonucleico, lo que marcó el comienzo de la biología molecular.

Una mirada a la naturaleza y composición química de la célula

La célula es la unidad estructural y funcional básica de la cual están constituidos los organismos vivos. El organismo vivo más complejo, el ser humano, puede contener un billón de ellas, mientras que muchos microorganismos sólo se componen de una sola célula. Los organismos unicelulares de muy diferentes clases y las células del tejido del cerebro o del músculo son tan diferentes en su morfología como lo son en su función. Pero a pesar de toda su variedad son células y por ello todas tienen una membrana celular, un citoplasma que contiene diversos organelos y un núcleo central. Además de tener una estructura definida, las células tienen en común un cierto número de funciones características.

En primer lugar son capaces de **proporcionarse** y **transformar la energía**. Se inicia con la absorción y transformación primaria de la energía de la luz solar en energía de enlace químico realizada por las plantas verdes.

El interior de la célula se distingue del mundo exterior por la presencia de moléculas complejas; **la capacidad de sintetizar grandes moléculas a partir de otras sustancias más sencillas** sigue siendo una de las características que distinguen a las células. Entre estas moléculas hay proteínas que además de constituir la parte principal de la sustancia "sólida" de las células, muchas otras proteínas son enzimas pues tienen propiedades catalíticas, es decir, que son capaces de acelerar grandemente la velocidad de las reacciones químicas que ocurren dentro de la célula, especialmente aquellas implicadas en las transformaciones energéticas. La síntesis de proteínas a partir de 20 aminoácidos diferentes, tiene lugar bajo la regulación del ácido desoxirribonucleico (ADN) y del ácido ribonucleico (ARN).

De un momento a otro la célula se divide: una célula madre ha crecido y da origen a dos células hijas, proceso reconocido hace muchos años al observar que los cromosomas se distribuían en partes iguales. Se había supuesto y así se ha demostrado que los **cromosomas** que contienen a los **genes** son los agentes de la herencia.

No existe una célula típica dada la gran diversidad de formas vivientes, así tenemos células diferentes en cada uno de los reinos de la naturaleza, sin embargo, para fines prácticos se pueden mostrar tres de ellas, de las cuales se hará una breve descripción de su organización subcelular, y posteriormente sus componentes moleculares.

Un primer ejemplo sería una **célula animal** que representaría una célula eucariota, como la siguiente:

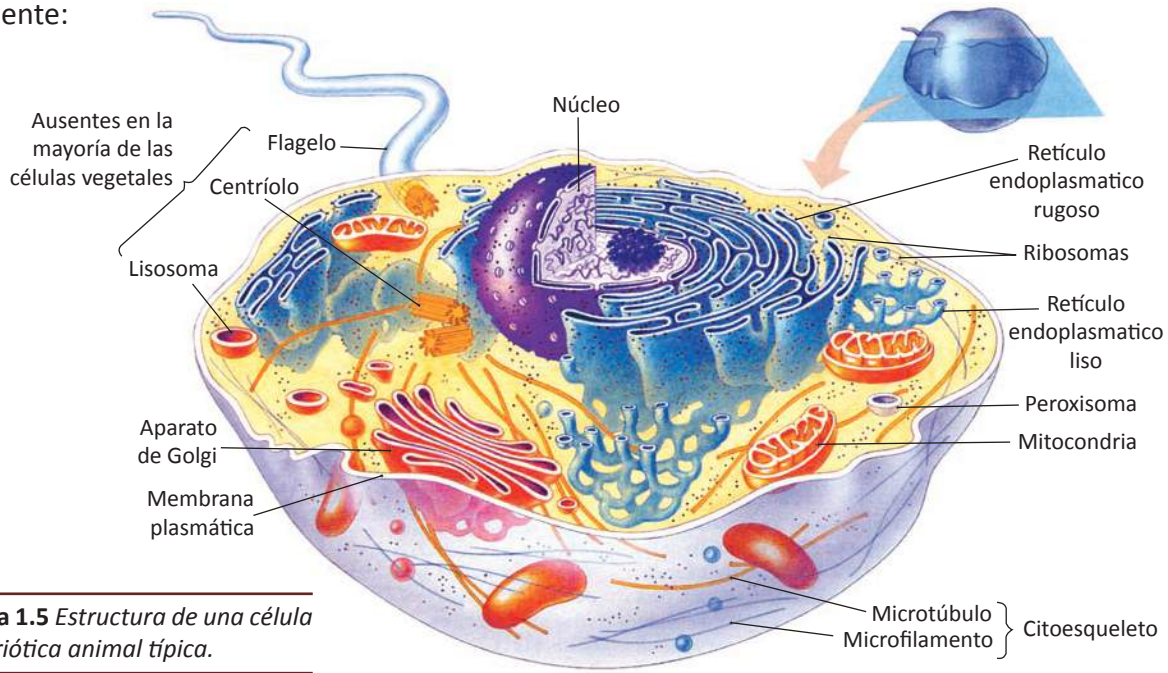


Figura 1.5 *Estructura de una célula eucariótica animal típica.*

Un segundo ejemplo de célula sería el de una **célula vegetal**, que también representaría a las células eucariotas:

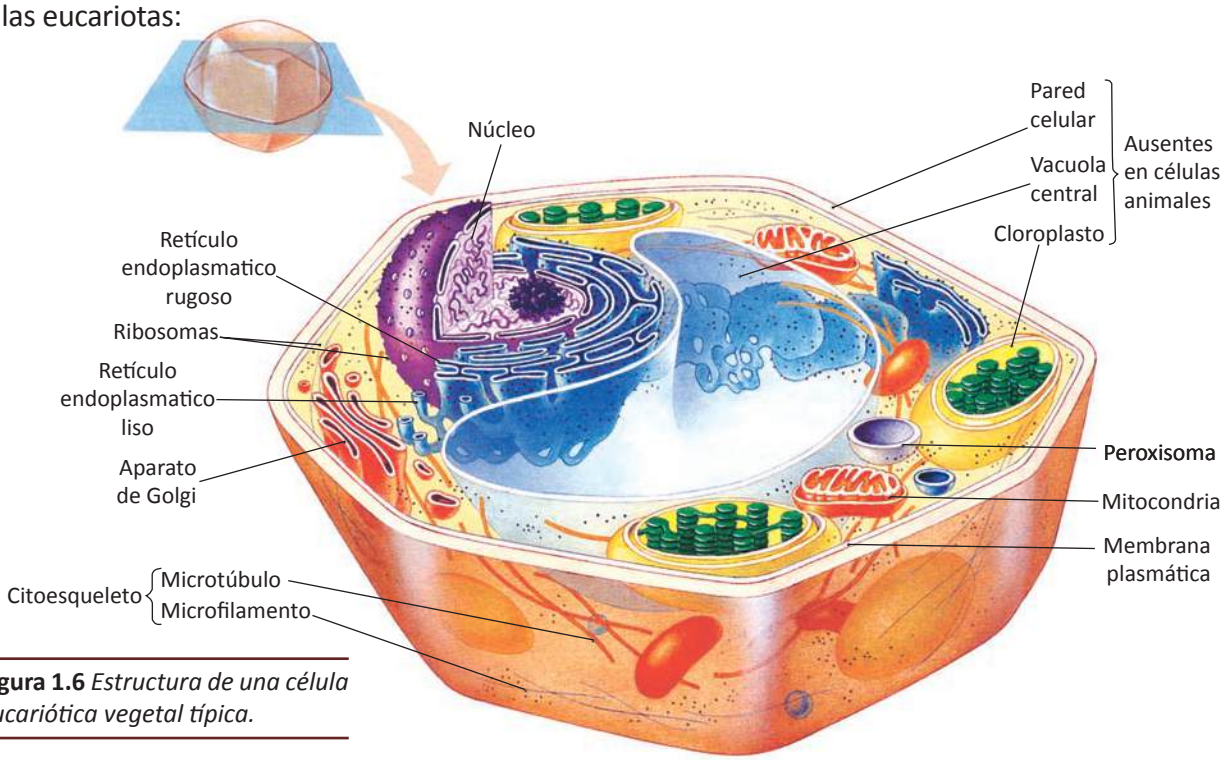


Figura 1.6 *Estructura de una célula eucariótica vegetal típica.*

Un tercer ejemplo es el de la **célula bacteriana** representante de las **células procariotas**:

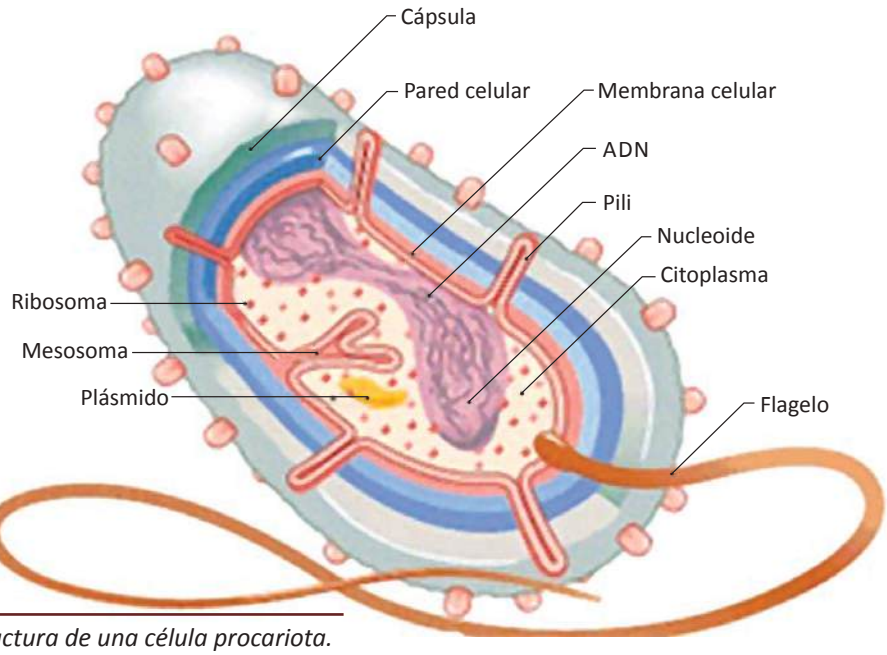


Figura 1.7 *Estructura de una célula procariota.*

Las células procariotas son las que no tienen núcleo definido, ya que no poseen membrana nuclear, es decir, tiene su ADN libre en el citoplasma. Ademas, estas células no presentan organelos membranosos tales como mitocondrias, aparato de Golgi, retículo endoplásmico, lisosomas, etc. Los organelos que sí se encuentan en estas células son los ribosomas, puesto que no poseen membranas.

Aunque no es el propósito principal de nuestro trabajo estudiar la estructura y la composición de la célula, hacemos un pequeño resumen de la **estructura celular eucariota**, fundamentalmente con la idea de ubicar las moléculas que intervienen en la estructura y función celular. A continuación, una breve descripción sobre los principales organelos celulares.

Núcleo celular

Es el organelo subcelular más grande. El material genético de la célula se encuentra dentro del núcleo en forma de cromatina. Es notable la presencia de una **envoltura nuclear**, la cual está formada por dos membranas concéntricas perforadas con poros nucleares (membrana nuclear) la que es diferenciable en virtud de aberturas que permiten transportar moléculas entre el núcleo y el citoplasma. El interior del núcleo, llamado en conjunto **nucleoplasma**, es el medio interno del núcleo donde se encuentra el resto de los componentes nucleares. En el núcleo se puede apreciar al **nucleolo** o nucleolos los cuales son masas densas y esféricas que contienen ADN, ARN y proteínas. Cercano a la membrana nuclear se observa a la cromatina, constituida por ADN y proteínas. Esta **cromatina** se observa cuando la célula está en **interfase**. Al momento en que la célula entra en división, la cromatina se reorganiza en estructuras individuales que son los **cromosomas**. Se puede decir que cromatina y cromosomas es lo mismo, solamente que el cromosoma sería una porción compactada de cromatina.

Mitocondrias

Al igual que en el núcleo, la **mitocondria** presenta una **doble membrana** separada por un espacio intermembranoso, con la diferencia de que no es porosa. La membrana externa es lisa y continua, la interna es plegada formándose algunas bolsas o sacos denominadas crestas.

Actúan como **centrales eléctricas**, pues las mitocondrias son responsables de suministrar la mayor parte de la energía necesaria para la actividad celular y sintetizan ATP a costa de los carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos que consumimos en la alimentación.

La **matriz mitocondrial** que es el líquido que llena el interior de la mitocondria también contiene unas moléculas de ADN circular y unos pequeños ribosomas que sintetizan algunas proteínas mitocondriales.

Retículo endoplásmico

Dos tipos son conocidos, el llamado rugoso, debido a la presencia de ribosomas unidos a la superficie de la vesícula membranosa. El segundo tipo es el liso donde están ausentes los ribosomas.

Sus funciones están relacionadas con la **biosíntesis de proteínas** (donde hay ribosomas) y con el **almacenamiento** y **transporte de proteínas** destinadas a ser secretadas. Después de su síntesis entran en la cavidad interior del retículo, llamado espacio cisternal. Por la acción de las enzimas localizadas en compartimiento espacial algunas de las proteínas internas son convertidas en glicoproteínas.

Aparato de Golgi

Forma parte del sistema de membranas intracelulares. La unidad básica del organelo es el sáculo, que consiste en una vesícula individual aplanada o, cisterna. Cuando se apila una serie de sáculos se forma un **dictiosoma**. El dictiosoma se encuentra estrechamente relacionado con el retículo endoplásmico. El sistema de membranas participa en la regulación del desplazamiento de macromoléculas.

Una de sus funciones es la de aceptar proteínas procedentes del retículo endoplásmico rugoso (RER) y del retículo endoplásmico liso (REL) para ser concentrado y empacado en gránulos densos, siendo entonces secretados de la célula. También participa en la incorporación de sustancias por endocitosis con ayuda de la membrana plasmática para después ser asimiladas.

El aparato de Golgi participa en los procesos de secreción, almacenamiento, transporte y transferencia de glucoproteínas, participan, además, en la formación de membranas y la pared celular vegetal.

Lisosomas

Se forman a partir del retículo endoplásmico rugoso y después de que los cuerpos Golgi empaquetan tales enzimas. Cubiertos por sólo una membrana, contienen **enzimas digestivas**

que desdoblan todas las moléculas inservibles para la célula. Consumen restos celulares viejos digiriéndolos.

Citosol y citoesqueleto

El **citosol** es la parte líquida del citoplasma, en el que se encuentran disueltos iones inorgánicos, aminoácidos, glucosa, enzimas, ARN, etc. El **citoesqueleto** es un sistema de fibras al interior de la célula que le dan la forma característica y conecta unas con otras a las distintas partes de la célula. Sin este sistema fibrilar, la célula fuera como una bolsa de plástico llena de algún líquido y donde estuvieran asentados todos sus componentes. Son tres los componentes que participan en este sistema: los **microtúbulos** que forman a los centríolos, los cilios y flagelos; los **microfilamentos** que participan en la contracción y los **filamentos intermedios** que le dan resistencia a la célula.

Membrana celular

Cada célula está rodeada por una delgada capa compuesta por lípidos y proteínas, también llamada **membrana plasmática**, que actúa como una **barrera** que separa dos medios, el interno del externo, donde vive la célula.

La membrana celular establece la individualidad de la célula al separarlas una de otra, proporciona protección y además, juega un papel importante en el **transporte de materiales** hacia adentro o hacia fuera de la célula. Se han encontrado funciones muy particulares que varían de una célula a otra.

Pared celular

Además de la protección que da la membrana, muchas células vegetales y bacterias son protegidas por una pared celular externa a la membrana. Esta pared es rígida, forma una malla covalente compuesta por material polisacárido. En plantas, el principal componente son las **fibras de celulosa** unidas por adhesivos o cementos. Las células animales generalmente no tienen pared celular.

Cloroplastos

Aunque los diferentes tipos de células animales y vegetales comparten la mayoría de la organización estructural, las células de plantas verdes, en su gran mayoría, contienen un organelo único, el **cloroplasto**, que contiene las moléculas de **clorofila** y son los cuerpos membranosos especializados que **capturan la energía solar** y la convierten en **energía metabólica**.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿A quién se le considera el “padre de la bioquímica”?

   _____

2. Menciona la importancia de la bioquímica.

   _____

   _____

   _____

3. Explica la diferencia entre el citosol y el citoesqueleto.

   _____

   _____

4. ¿Cuál es la función de los lisosomas?

   _____

   _____

5. Describe una mitocondria.

   _____

   _____

   _____

6. ¿Qué diferencias existen entre pared celular y membrana celular?

   _____

   _____

   _____

7. ¿Por qué son tan indispensables para la vida los cloroplastos?

   _____

   _____

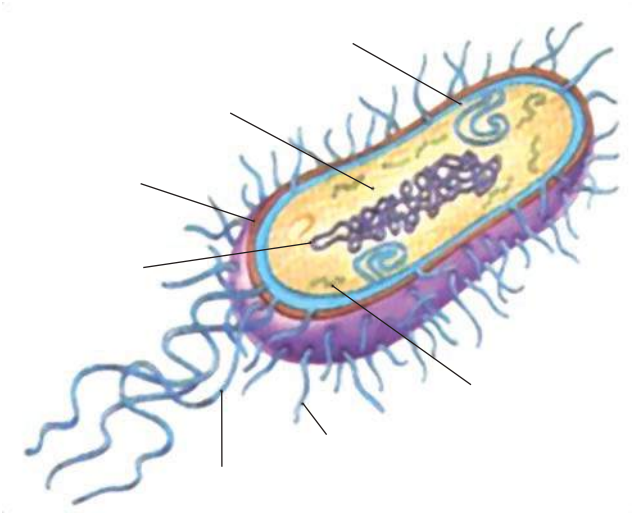
8. Menciona las diferencias entre células procariotas y células eucariotas?

   _____

   _____

   _____

9. En el siguiente dibujo, anota el nombre de las estructuras señaladas. ¿Qué tipo de célula es?



10. Contesta los incisos a, b y d de la pregunta 3 de opción múltiple, además el inciso c de la pregunta 6.

_____

_____

_____

_____

Indica cuál de las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

1. El propósito de la bioquímica consiste en describir y explicar en términos moleculares los procesos anabólicos de las células. ( )
2. Lavoisier concluyó que la respiración es similar a la combustión, sólo que más lenta. ( )
3. La teoría vitalista sostenía que los compuestos orgánicos solamente podían ser sintetizados en los seres vivos. ( )
4. Theodor Shwann describió a la levadura como una planta capaz de convertir el azúcar en alcohol y CO_2. ( )
5. Algunas células son capaces de proporcionarse y transformar energía. ( )
6. Las células bacterianas son representantes de las células eucariotas. ( )
7. El cromosoma es la cromatina compactada. ( )
8. Los cloroplastos son las “centrales eléctricas”. ( )
9. Friedrich Wohler terminó con la teoría del vitalismo. ( )
10. La envoltura nuclear está formada por tres membranas concéntricas. ( )

Selecciona la respuesta correcta.

1. Las bases conceptuales de la bioquímica se encuentran en:

   a) Química orgánica, fisicoquímica y fisiología
   b) Fisicoquímica, anatomía y fisiología
   c) Química orgánica, fisiología y anatomía
   d) Química inorgánica, química orgánica y fisiología
   e) Ninguna es correcta

2. Demostraron que las sustancias aisladas por Karl Sheele contenían como elemento común al carbono:

   a) Justus Von Liebig y Johns Berzelius
   b) Robert Murray y Antonie Lavoisier
   c) Friedrich Wohler y Adolf Kolbe
   d) William Prout y Michel Chevreul
   e) c y d son correctas

3. Friedrich Wohler:

   a) Dividió a los alimentos en azúcares, grasas y proteínas
   b) Sintetizó el ácido acético
   c) Sintetizó la urea
   d) Demostró que las grasas se componían de ácidos grasos y glicerina
   e) Sostuvo la teoría vitalista

4. Dedujo la forma en que se unen los aminoácidos en las proteínas:

   a) Gerardus J. Mulder b) Paul Shutenberger c) Emil Fisher
   d) Friedrich Miescher e) Claude Barnard

5. Introdujo el concepto de organismos aerobios y anaerobios:

   a) Lázaro Spallanzani b) Louis Pasteur c) Horace de Saussure
   d) René de Reamur e) William Beaumont

6. El bioquímico estadounidense James B. Summer:

   a) Descubrió los biocatalizadores
   b) Descubrió las enzimas
   c) Estudió el metabolismo oxidativo de carbohidratos
   d) Determinó la ruta bioquímica completa desde glucógeno hasta ácido láctico
   e) a y b son correctas

7. La mayoría de las células vegetales carecen de:

a) Flagelos, centríolos y lisosomas
b) Peroxisomas, mitocondrias y aparato de Golgi
c) Retículo endoplásmico rugoso, ribosomas y retículo endoplásmico liso
d) Citoesqueleto, aparato de Golgi y núcleo
e) c y d son correctas

8. Estructuras que se encuentran en las células vegetales pero no en las animales:

a) Membrana plasmática, retículo endoplásmico rugoso y aparato de Golgi
b) Pared celular, vacuola central y cloroplastos
c) Peroxisomas, ribosomas y mitocondrias
d) Citoesqueleto, retículo endoplásmico liso y envoltura nuclear
e) a y c son correctas

9. La cromatina está constituida de:

a) Lípidos y ARN b) Lípidos y proteínas c) ADN y proteínas
d) ARN y proteínas e) ADN y lípidos

10. Los filamentos intermedios, los microfilamentos y los microtúbulos, constituyen a:

a) Citoesqueleto b) Pared celular c) Membrana celular
d) Mitocondria e) Citosol

En la siguiente sopa de letras, localiza los nombres de cuatro investigadores y anótalos abajo, redactando sus aportaciones a la bioquímica:

C	M	S	D	A	R	W	I	N
H	E	F	E	P	U	N	N	E
A	N	L	W	A	T	S	O	N
R	D	T	A	S	L	D	T	C
G	E	O	A	T	S	O	G	Q
A	L	K	R	E	B	S	E	C
F	A	Y	Q	U	R	N	Y	V
F	B	O	C	R	I	C	K	M

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

Agua, pH y electrólitos

UNIDAD 2

Bioquímica

Introducción

El **agua** es la molécula más abundante en la superficie de la Tierra, donde cubre alrededor del 71%. Por este motivo, nuestro planeta fue nombrado "planeta azul" por uno de los primeros astronautas, que viajó a la Luna al referirse al color azul de los océanos.

La molécula de agua es la más abundante de todas las que integran a los seres vivos. La inmensa mayoría de las células están constituidas de 80% de agua y el resto de todas las demás moléculas. En consecuencia, los seres vivos intercambian con su medio externo, mayor número de moléculas de agua que de todas las demás moléculas juntas.

Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida, es decir, no puede haber vida sin ella, ni siquiera los microorganismos (que son las células más sencillas), podrían sobrevivir sin agua.

Las características de la molécula de agua ejercen gran influencia en la estructura, organización y funcionamiento de los seres vivos.

El término agua, generalmente, se refiere a la sustancia en su estado **líquido**, pero la misma puede hallarse en su forma **sólida**, llamada hielo, y en forma **gaseosa**, denominada vapor. Se localiza principalmente en los océanos, donde se concentra el 96.5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1.74%, los depósitos subterráneos (acuíferos), los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1.72% y, el restante 0.04% se reparte en orden decreciente entre lagos, humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.

El agua es un elemento común del sistema solar, hecho confirmado en descubrimientos recientes. Puede ser encontrada, principalmente, en forma de hielo; de hecho, es el material base de los cometas.

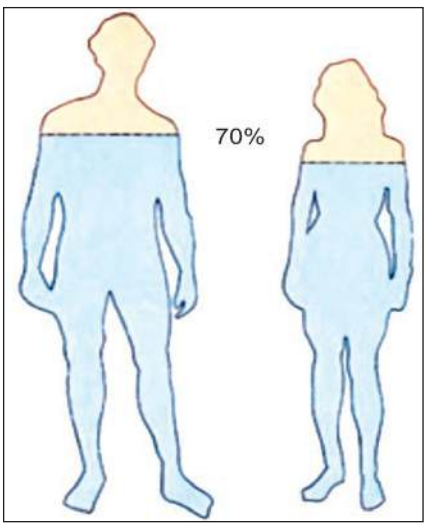


Figura 2.1 *La proporción de agua en el planeta Tierra y en los seres humanos es muy semejante.*

Figura 2.2 *Los tres estados del agua: sólida (hielo), líquida y gaseosa (vapor).*

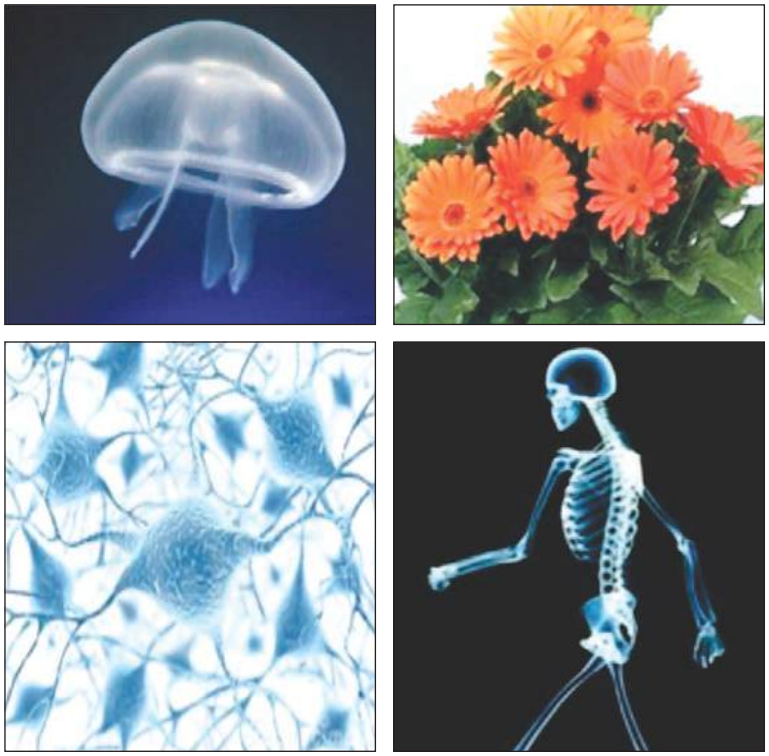


Figura 2.3 *El porcentaje de agua en las medusas y en algunas plantas es 80%, en las células cerebrales es de 85%, mientras que en los huesos solo es el 28%.*

El agua constituye un 70% de nuestro peso corporal, el 28% en los huesos, y un 85% en las células cerebrales. En algunos animales como los peces, constituye de un 65-80%; en las medusas un 80% y un 40% en algunos insectos. En plantas como la papa constituye un 80% y en una manzana el 85%.

Durante la fotosíntesis, el agua es la molécula que reacciona con el bióxido de carbono en las plantas verdes, algas y bacterias fotosintéticas, para formar alimentos y además el oxígeno, contenido en el aire que respiramos. Sus átomos de hidrógeno se incorporan a muchos compuestos orgánicos como por ejemplo a los carbohidratos.

El agua es líquida a la temperatura ambiente, con gran capacidad como disolvente del resto de los componentes celulares, como son las proteínas, los ácidos nucleicos, los carbohidratos, etc. Esta extraordinaria molécula es el disolvente de la mayoría de las reacciones biológicas. Además, es un producto o un reactivo de numerosas reacciones químicas.

El agua es importante dentro de los seres vivos, así como también es uno de los principales factores ambientales que influyen sobre ellos. Muchos organismos viven en el océano, en los ríos, lagos, charcos, pantanos o estanques de agua dulce. Todos los organismos requieren el agua para vivir, aunque algunos tengan la capacidad de convertirse en formas latentes para sobrevivir a sequías extremas. Tal es el caso de los artrópodos del gé-

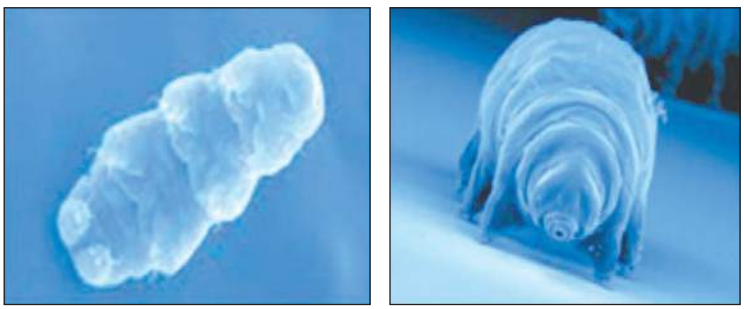


Figura 2.4 *Los tardígrados "osos de agua" son animales muy pequeños que miden menos de 1 mm de longitud, viven en hábitat húmedos. Cuando experimentan desecación, adoptan forma de barril y permanecen así, inmóviles pero vivos, hasta por 100 años. Cuando se rehidratan recuperan su aspecto y actividades normales.*

nero *Echiniscus* y *Macrobiotus*, conocidos como "osos de agua" o tardígrados, en los que se observa el efecto del agua cuando esta escasea para ellos y cuando se vuelven a hidratar.

A pesar de que el agua es un líquido que forma parte de nuestra vida cotidiana es, como observarás, un líquido indispensable para la vida, por eso se estudia de manera especial.

Composición y estructura del agua

El agua (H_2O) es una pequeña molécula constituida por un átomo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno, unidos por enlaces covalentes que se comportan como enlaces parcialmente iónicos, debido a que existe en esta molécula una polaridad electrónica. El agua es una molécula neutra, la carga positiva de sus 10 protones está compensada con la carga negativa de sus 10 electrones.

La geometría de la molécula del agua presenta una distribución desigual de sus cargas eléctricas. Dado que el oxígeno posee 8 protones en su núcleo, atrae más electrones que el átomo de hidrógeno que posee un solo protón en su núcleo. Es decir, el **oxígeno es muy electronegativo** porque atrae hacia él los electrones del enlace, por lo que queda cargado negativamente, en cambio, los hidrógenos son despojados de sus electrones, razón por la que tienen predominio de cargas positivas.

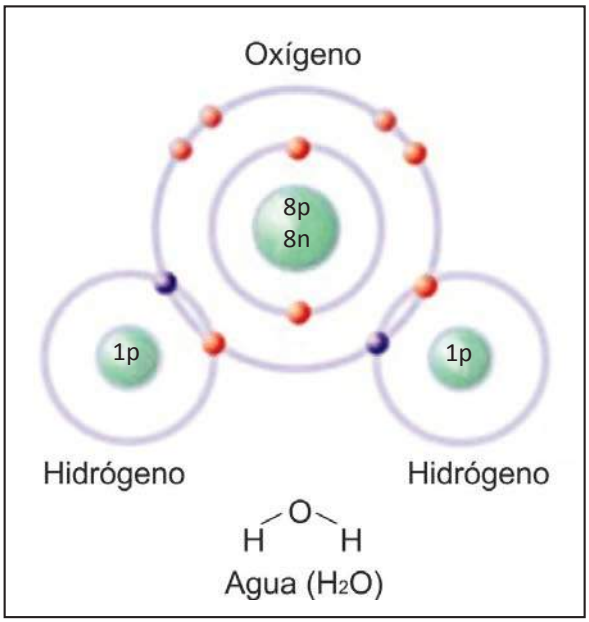


Figura 2.5 *Estructura de Lewis del agua, los electrones de color rojo pertenecen al oxígeno y los de color violeta a los hidrógenos.*

Una molécula cuyas cargas están distribuidas de manera desigual, es una molécula **polar**, debido a que la molécula es como un imán con polos.

Cada molécula de agua es **altamente polar** porque hay una distribución desigual de los electrones entre los átomos de hidrógeno y oxígeno. La molécula de agua es un pequeño **dipolo.** Esta característica produce numerosas consecuencias en las propiedades fisicoquímicas del agua y en la organización molecular de los seres vivos.

La molécula de agua es un **tetraedro irregular** ligeramente sesgado, con oxígeno en su centro. Los dos hidrógenos y los electrones no compartidos de los dos orbitales restantes con hibridación sp^3 ocupan las esquinas del tetraedro. El ángulo de 104.5 grados entre los

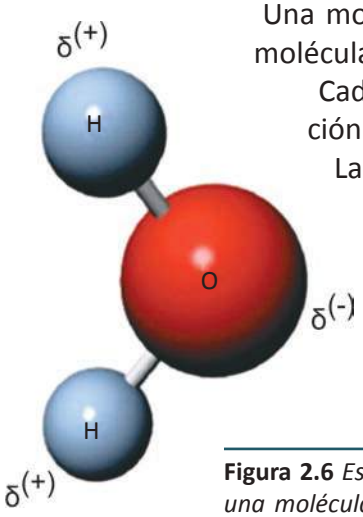


Figura 2.6 *Estructura de una molécula de agua. Las cargas de una molécula polar se escriben dentro de paréntesis (+) o (-) para demostrar que son más débiles que las cargas de los iones.*

hidrógenos difiere un poco del ángulo del tetraedro ideal que es de 109.5 grados. El amoniaco también es un tetraedro con un ángulo de 107 grados entre sus hidrógenos. Al atraer fuertemente el átomo de oxígeno a los electrones de valencia, estos quedan más cercanos al oxígeno que al hidrógeno. Existen dos pares de electrones del oxígeno que no se comparten. Los dos átomos de hidrógeno ceden su electrón al oxígeno, con lo cual se favorece la formación de una carga parcial negativa, que se expresa con la letra griega delta (δ) del lado del oxígeno y una carga parcial positiva (δ +) del lado de los hidrógenos, esta es la razón por lo que la molécula de agua se comporta como un **dipolo eléctrico**.

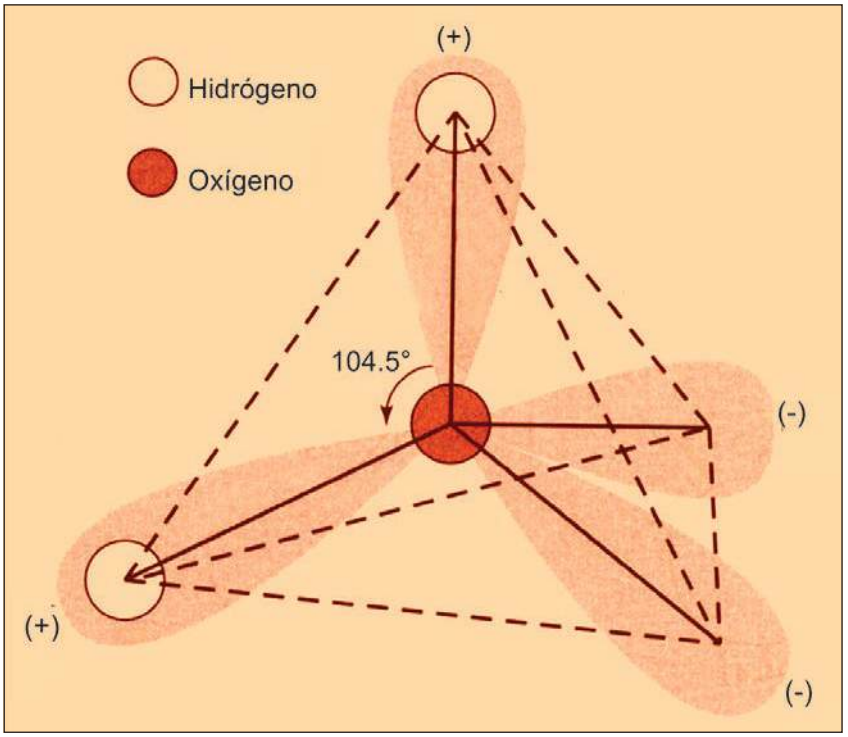


Figura 2.7 *Representación de la estructura de la molécula de agua, colocada en un tetraedro.*

Cada molécula de agua se orienta en el espacio acomodando su carga negativa en interacción con una carga positiva de otra molécula de agua, es decir quedan unidos el oxígeno y el hidrógeno (dado que el oxígeno es electronegativo y el hidrógeno es electropositivo) mediante un enlace conocido como **puente de hidrógeno** o **enlace hidrogenado**.

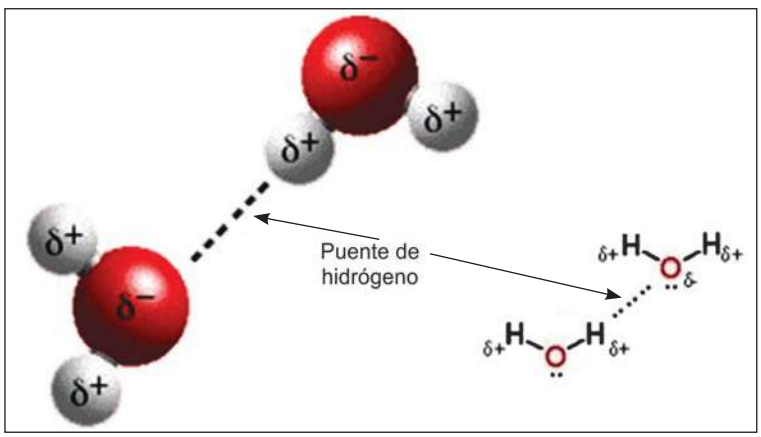


Figura 2.8 *Puente de hidrógeno entre dos moléculas de agua representado por la línea punteada. Este enlace une un átomo de oxígeno que es electronegativo a uno de hidrógeno que es electropositivo. La letra delta (δ) es utilizada para especificar que se trata de cargas parciales.*

Cada molécula de agua establece cuatro **puentes de hidrógeno**. El oxígeno de cada molécula de agua acepta dos puentes de hidrógeno. A su vez, cada uno de los dos hidrógenos de una molécula de agua, forma un puente de hidrógeno con el oxígeno de otra molécula.

La mayoría de las moléculas del agua líquida forman puentes de hidrógeno entre sí y presentan elevada atracción entre ellas. Tal vez, la mejor representación escrita del agua líquida no sea H_2O sino $(H_2O)_n$, en donde n sería el número de moléculas que tienen puentes de hidrógeno con sus moléculas vecinas. Los estudios con rayos X le dan un valor de 3.4, lo que implica un predominante carácter tetraédrico de su estructura.

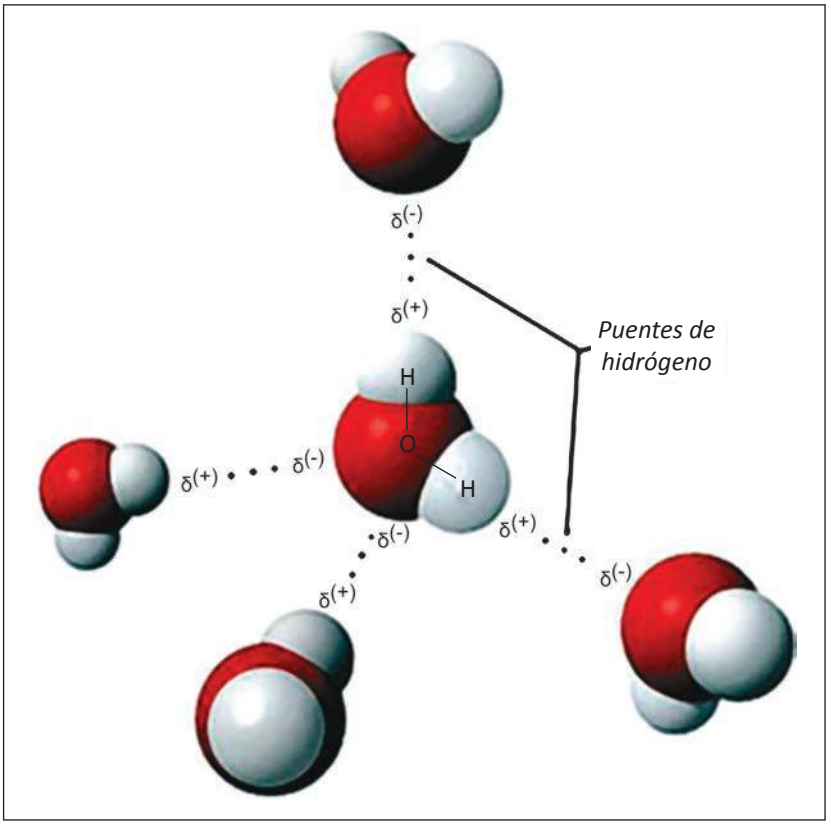


Figura 2.9 *Cada molécula de agua participa en 4 puentes de hidrógeno con moléculas adyacentes.*

Debido a la alta polaridad que presenta la molécula de agua, es la que mayor capacidad tiene para formar los puentes de hidrógeno. Se sabe que el agua líquida a 0 °C tiene 15% menos puentes de hidrógeno que el hielo y también se sabe que los puentes de hidrógeno en el agua líquida están continuamente formándose, rompiéndose y volviéndose a formar, es un sistema dinámico.

En la estructura del hielo se observa el arreglo tetraédrico de las moléculas del agua, debido a la existencia de los puentes de hidrógeno entre las propias moléculas. Es aparente la carencia de una estricta rigidez en el arreglo tetraédrico permitiendo lo que se ha llamado una estructura "abierta" del agua en el hielo, que explica **la menor densidad que presenta el hielo comparada con la del agua líquida**. La densidad del hielo es de 0.92 g/ml y la del

Figura 2.10 *El hecho de que el hielo flote en los océanos, lagos y ríos, es debido a su menor densidad y favorece el calentamiento de enormes masas de agua por el Sol, con lo que la temperatura de la Tierra se preserva más elevada y con menores fluctuaciones.*

agua líquida es de 1.00 g/ml, esto significa que el hielo tiene menos moléculas que las que contiene un volumen igual de agua. Por consiguiente el hielo flota en vez de hundirse en el fondo de un cuerpo de agua. El hecho de que el agua sea menos densa en el estado sólido que en el estado líquido es una de las propiedades extraordinarias que permite el desarrollo de la vida tal y como la conocemos. Si el hielo se hundiera, raramente tendría la oportunidad de derretirse, y eventualmente todas las lagunas, lagos y océanos estarían congelados.

Si el hielo se hundiera (si fuera más denso que el agua líquida), se provocaría un desastre para los peces y las plantas que crecen en regiones de inviernos helados.

Las propiedades del agua están estrechamente relacionadas y determinadas por sus puentes de hidrógeno intermoleculares. A continuación, se analizan brevemente algunas propiedades fisicoquímicas del agua y la influencia que tienen en los seres vivos.

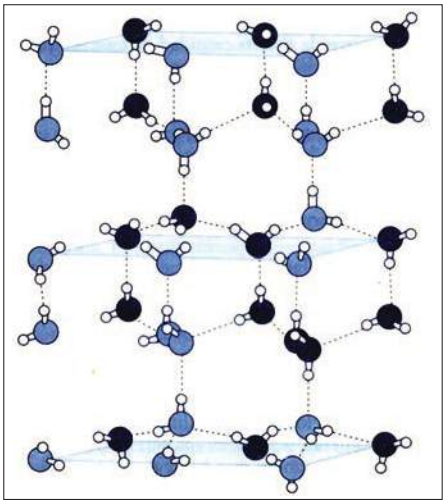


Figura 2.11 *Estructura molecular del hielo. En el hielo, cada molécula de agua participa en 4 enlaces hidrógenos con las moléculas adyacentes, lo que produce una estructura de malla cristalina uniformemente espaciada.*

Propiedades fisicoquímicas del agua

1. **Calor específico**. Se define como la cantidad de energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de una sustancia en 1°C. Esto se puede explicar de la siguiente manera:
   a) El agua absorbe gramo por gramo más energía calorífica para elevarla un grado de temperatura, que la mayoría de las sustancias.
   b) Se puede apreciar esta propiedad, midiendo la enorme cantidad de calor que se requiere para modificar la temperatura del agua.

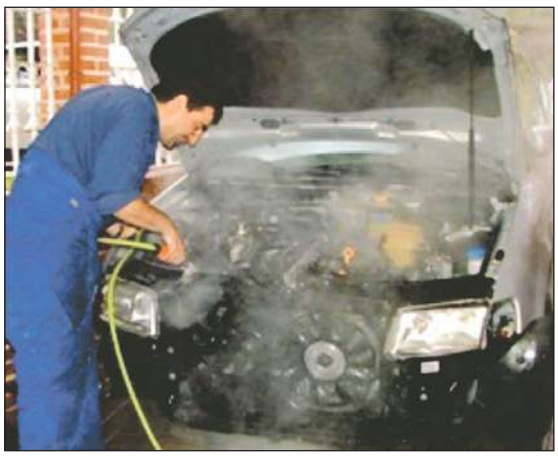


Figura 2.12 *Debido al elevado calor específico del agua, ésta es utilizada para enfriar los motores de los automóviles y en los sistemas de calefacción de edificios.*

Esta energía es alta para el agua (1 cal/g), comparándola con otros líquidos. Se aprovecha esta propiedad del agua usándola como enfriador en los motores de automóviles y en los sistemas de calefacción de los edificios.

La humedad de los bosques es importantísima para mantener con menores cambios de temperatura a dicho ecosistema, en comparación con lo que se observa en los desiertos.

Figura 2.13 *La humedad que observas en este bosque evita cambios bruscos de temperatura.*

En los mamíferos ayuda a mantener la temperatura homogénea en el cuerpo mediante el bombeo constante de sangre mediante el músculo cardiaco hacia los tejidos, debido a que el plasma (componente líquido de la sangre) contiene **90%** de agua, es decir, el componente más abundante de la sangre es el agua.

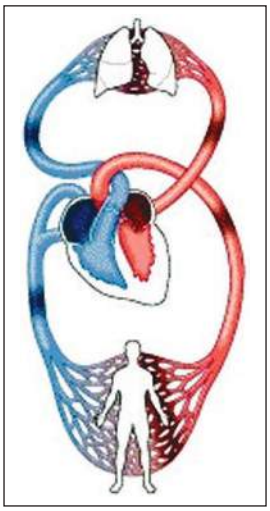


Figura 2.14 *El plasma contiene en su gran mayoría moléculas de agua y ésta al estar circulando en los tejidos, mantiene la temperatura homogénea en el organismo.*

2. **Calor de fusión**. Se le conoce también como **calor molar de fusión**. Es la energía que se gasta en la fusión de un mol de un sólido. Recuerda que un mol es el peso molecular de una sustancia expresado en gramos. Un mol de agua equivale a 18 gramos, entonces, para

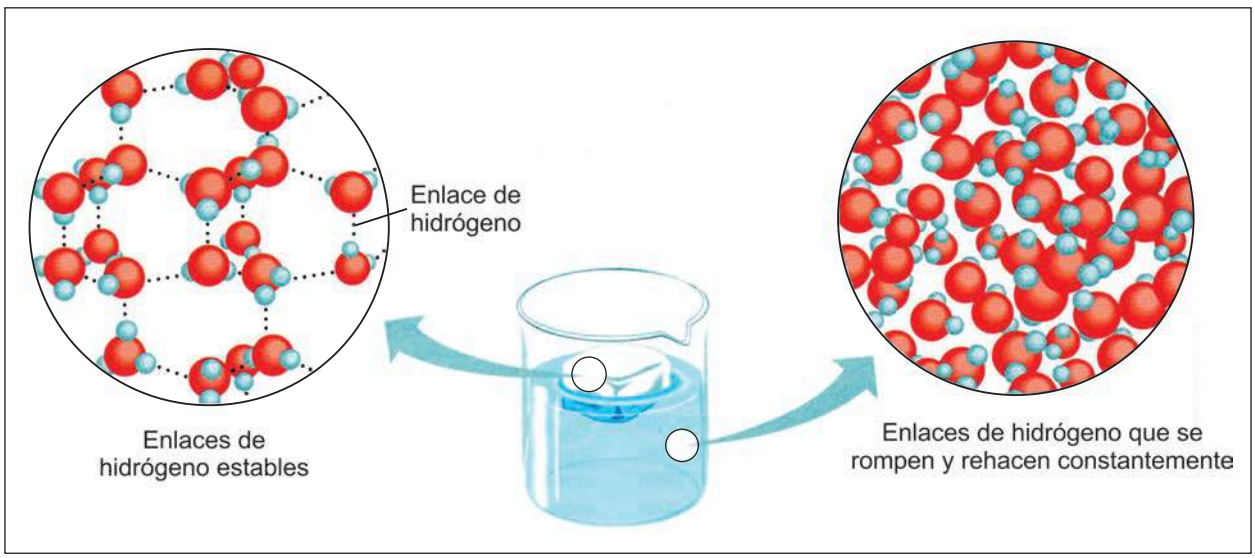


Figura 2.15 *El arreglo molecular del agua en el estado sólido (hielo) y en el estado líquido. En el estado líquido las moleculas de agua se encuentran en constante movimiento.*

poder fundir (pasar de hielo a líquido) 18 gramos de agua se necesitan 80 cal/g. Este es un valor elevado comparado con otras sustancias. Este calor de fusión es el necesario para que las moléculas del sólido (hielo) que presentan un orden continuo debido a las fuerzas de atracción, adquieran energía cinética para que pasen a un orden discontinuo característico del líquido.

En los seres vivos, el alto calor de fusión del agua proporciona un sistema eficiente de protección contra el congelamiento. Para congelar un mol de agua (18g) se necesita remover la misma cantidad de energía que se absorbe al descongelarlo; por esta razón, y aunque parezca contradictorio, cuando en los invernaderos ha bajado la temperatura de una manera considerable y los vegetales pueden dañarse por el frío extremoso, si no se dispone de otra fuente de calor, se introduce hielo en ellos para que al ocurrir el descongelamiento se libere calor y, de esta manera, subir la temperatura.

Figura 2.16 *La introducción de hielo al invernadero eleva la temperatura, porque al fundirse el hielo se libera calor.*

3. **Calor de evaporación**. Es la energía empleada en la evaporación de un mol de un líquido en su punto de evaporación. También es conocido como **calor molar de evaporación**. Representa la cantidad de energía cinética que requieren las moléculas en el estado líquido y poder vencer su mutua atracción para alejarse unas de otras, como se presentan en los gases. El calor de evaporación del agua es también alto, al igual que el calor de fusión y calor específico.

Cuando el agua hierve, **se rompen muchos enlaces hidrógeno**, por lo que se forma una nube de vapor compuesta de pequeñísimas gotas de agua. Si se rompen la mayor parte de los enlaces hidrógenos restantes, las moléculas comienzan a moverse libremente como vapor de agua (un gas).

Figura 2.17 *Evaporación del agua.*

Este alto calor de evaporación del agua es benéfico para los seres vivos, debido a que se minimizan las pérdidas de agua que pudieran ocurrir en la evaporación, de manera que protege contra la deshidratación.

Además, si ocurre la evaporación, provee de un eficiente sistema de enfriamiento, debido a que la energía indispensable para la evaporación "la toma" el agua de la superficie del ser vivo, con lo que se siente una sensación de frescura (enfriamiento). Esta situación se presenta en un clima cálido en el que ocurre la evaporación del agua presente en el sudor.

La sudoración forma parte del proceso normal de la piel porque su función consiste en liberar la temperatura y de esta forma proporcionar un enfriamiento.

Figura 2.18 *En el clima cálido hay una sudoración y después una evaporación del agua, con lo que se pierde calor (que refresca).*

4. **Tensión superficial y adhesión**. Es una fuerza de atracción que se manifiesta en la superficie de un líquido, debido a la atracción que sufren las moléculas de la superficie hacia el seno (interior del líquido).

Las fuerzas de atracción se presentan entre todas las moléculas, así, las moléculas ubicadas en el seno del líquido, son atraídas mutuamente en todas direcciones, mientras que las moléculas de la superficie, al no existir moléculas de líquido que las atraigan (en la parte superior) hacia "afuera", no tienen esa atracción de compensación. Por tanto predomina, con mucho, la atracción hacia el seno del líquido.

Entonces, cuando la parte externa del agua está en contacto con el aire, se comporta como si su superficie fuera una membrana delgada y elástica que la cubre, sobre la que se pueden desplazar algunos insectos y arácnidos.

La tensión superficial relativamente alta del agua se encuentra influida por su capacidad para "mojar superficies", por su adhesividad y por su viscosidad. **Mojar superficies** es la capacidad del agua para unirse a ellas. La **adhesividad** es la fuerza de unión con la superficie, es decir, es la capacidad para adherirse a muchos otros tipos de sustancias. Las fuerzas adhesivas del agua son las que provocan que el agua humedezca las cosas. La **viscosidad** es el inverso de

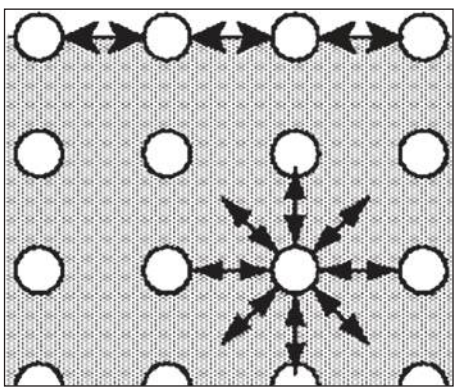


Figura 2.19 *En este dibujo se representa a las moléculas de la superficie y las moléculas que están más internas (seno del líquido). La tensión superficial es una propiedad del agua que permite a algunos insectos, como el zapatero (Gerris lacustris), desplazarse por la superficie del agua sin hundirse, a pesar de ser más denso que el agua.*

la velocidad a la cual fluye a través de un tubo capilar. Un líquido es menos viscoso mientras más rápido fluya. La viscosidad del agua es alta en relación con su peso molecular, pero es compensada por la adhesividad y capacidad de mojar superficies.

En un capilar, la capacidad de mojarlo y su fuerza adhesiva hacen que el agua suba por el capilar y debido a la tensión superficial y viscosidad de la misma agua, las moléculas del seno del líquido "siguen" a las de la superficie en su ascenso por el capilar. El proceso no depende de una fuente externa de energía y su límite depende del diámetro del capilar y la fuerza de gravedad.

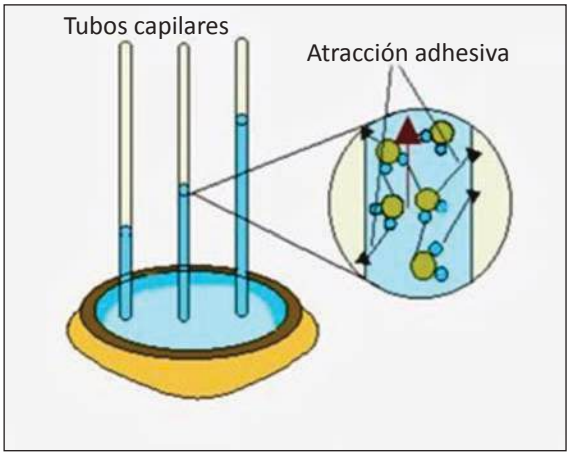


Figura 2.20 *Observa como el agua asciende a través del tubo capilar y esta está determinada por la adhesividad que se muestra amplificada a la derecha.*

Figura 2.21 *El nivel del agua (la altura) dentro del capilar de la izquierda es mayor, el del capilar del centro es menor y el de la derecha es todavía menor. ¿Es directamente o inversamente proporcional el nivel del agua al diámetro del capilar?*

La **capilaridad** explica la tendencia del agua a avanzar por tubos estrechos, incluso en contra de la fuerza de la gravedad. Esta acción es la que hace que el agua avance en los espacios microscópicos que hay entre las partículas del suelo hasta las raíces de las plantas. En un tubo de mayor diámetro, el porcentaje de moléculas de agua que tienen contacto con la pared de vidrio es menor por lo que la adhesión no es suficientemente fuerte como para superar la cohesión de las moléculas de agua, en consecuencia el agua asciende sólo un poco.

La capilaridad la encontramos ampliamente difundida en la naturaleza: en las raíces de las plantas, en los tallos, en la circulación de los líquidos de los animales, etc. Es impresionante como el agua puede ascender más de 100 metros de altura en los árboles, desde los pelos absorbentes de las raíces, hasta la copa del árbol, sin necesitar de un sistema de bombeo.

Figura 2.22 *La acción capilar es una de las fuerzas que sube el agua de la raíz de las plantas y la transporta hacia tallos y hojas. El agua asciende hasta 100 metros de altura en estos árboles gigantes.*

5. **Constante dieléctrica**. Es la propiedad que tiene el agua de separar iones de cargas opuestas. La constante dieléctrica del agua es 78.5 y es una de las más altas de un líquido puro. Esta gran capacidad para reducir las fuerzas de atracción entre partículas con cargas opuestas le ha valido el título de **disolvente universal**. Por el contrario, la de solventes no polares, como la de los hidrocarburos, son bajas.

A continuación se citan algunos líquidos con su constante dieléctrica correspondiente a 20°C, para que los compares con la del agua.

Metanol---------- 33
Etanol---------- 24
Benceno ----------2.3
Hexano ----------1.9

6. **Hidratación**. Es la capacidad que tienen las moléculas de agua para rodear a los iones. Las moléculas de agua se orientan de acuerdo con la carga de los iones y se acomodan en capas concéntricas alrededor del ión. Cabe aclarar que cuando el solvente no es el agua, recibe el nombre de solvatación.

7. **Hidrólisis**. Es la reacción química en la que interviene una molécula de agua que reacciona con otra molécula diferente. En esta reacción se fragmentan ambas moléculas, la molécula de agua se fragmenta en un **protón** (H^+) y un hidroxilo (OH^-), cada uno de los cuales se une a uno de los fragmentos de la otra molécula. Por ejemplo, el disacárido sacarosa (azúcar de caña) reacciona con el agua y por hidrólisis se fragmenta en dos moléculas más pequeñas que son la glucosa y la fructosa, en donde el H^+ y el OH^- provenientes del agua quedan incorporados a las moléculas resultantes.

$$\text{Sacarosa} + H_2O \xrightarrow{\text{Hidrólisis}} \text{glucosa} + \text{fructosa}$$

El agua es la molécula a la que se le identifica como el solvente universal, debido a su capacidad de disolver mayor cantidad de sustancias, que cualquier otro solvente. El comportamiento del agua como solvente universal es explicado por la constante dieléctrica que presenta, por su capacidad de hidratación y la posibilidad de romper los puentes de hidrógeno de las moléculas que disuelve.

La atracción electrostática de iones con cargas opuestas disminuye 80 veces (constante dieléctrica del agua) al ser colocados en el agua. Un ión positivo en el seno del agua atrae las cargas negativas de las moléculas de agua, las cuales llegan a acomodar-

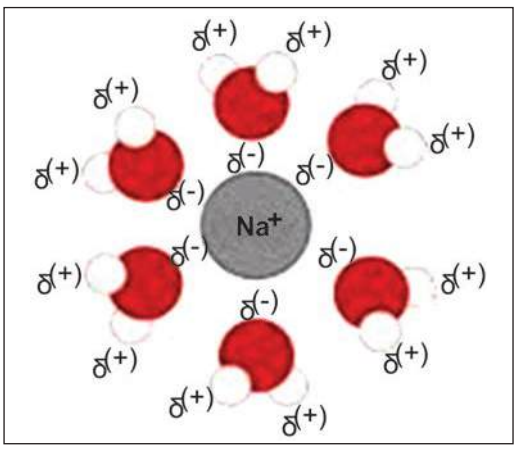


Figura 2.23 *El ión positivo, en este caso el ión sodio (Na+) atrae las cargas negativas de las moléculas de agua.*

se en capas alrededor del ión. Si la carga del ión inmerso es negativa, atraerá las cargas positivas de las moléculas de agua, mismas que, con orientación adecuada, se acomodarán en capas alrededor del ión.

El resultado es que los iones se separan entre sí, quedando disueltos.

Cuando las moléculas que se colocan en el agua contienen puentes de hidrógeno entre ellas, las moléculas de agua tienden a debilitar tales puentes y sustituirlos por nuevos puentes de hidrógeno, en los que intervengan moléculas de agua, con ello se separan entre sí las moléculas del compuesto que se colocó en el agua.

En la descomposición del agua (H_2O) en H^+ y OH^-, se presentan dos reacciones, una de ellas es la ruptura del H_2O para formar $H^+ + OH^-$ y la otra de reconversión, $H^+ + OH^-$, para obtener H_2O:

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

Disociación del agua

La capacidad del agua para ionizarse es ligera pero fundamental para la vida. El agua puede actuar como **ácido** y como **base**, su ionización se puede representar como una transferencia intermolecular de protones que forma un ión hidronio (H_3O^+) y un ión hidroxilo (OH^-):

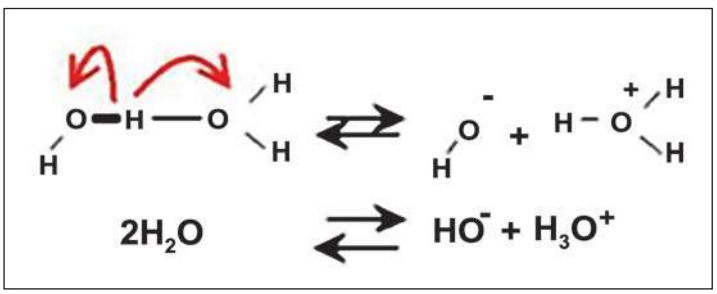


Figura 2.24 *Al reaccionar dos moléculas de agua, se presenta la ionización, lo que produce la formación del ión hidronio y el ión hidroxilo.*

Las moléculas de agua tienen una leve tendencia a ionizarse (disociarse) en iones hidrógeno (H^+) e iones hidroxilo (OH^-). El H^+ se combina inmediatamente con una región cargada negativamente de otra molécula de agua para formar un ion hidronio (H_3O^+). Sin embargo, se utiliza por comodidad H^+ en lugar de la expresión más exacta H_3O^+. En el agua pura, el número de moléculas que se ionizan es muy pequeño. Esta ligera tendencia del agua a disociarse es contrarrestada por la de los iones hidrógeno e hidroxilo a unirse y formar nuevamente agua.

El protón transferido en realidad se integra con un grupo de moléculas de agua. Los protones existen en solución no solo como H_3O^+, sino también como multímeros del tipo $H_5O_2^+$ (el ión hidronio unido a una molécula de agua), $H_7O_3^+$ (el ión hidronio unido a dos moléculas de agua), pero lo que se acostumbra es representar al protón como H^+, aún cuando de hecho esté altamente hidratado.

Puesto que los iones hidronio e hidroxilo se recombinan de manera continua para formar moléculas de agua, no se puede decir que un hidrógeno u oxígeno individual esté presente como

ión o como parte de una molécula de agua. Por cada ión de hidrógeno e hidroxilo en el agua pura hay 1.8 miles de millones de moléculas de agua.

Cada molécula de agua se disocia en un ión hidrógeno y otro hidroxilo, por lo que las concentraciones en el agua pura son exactamente iguales (0.0000001 que también se expresa 1 x 10^{-7} moles por litro de cada ión). Cuando son las mismas concentraciones de los dos iones, esta es una solución **neutra**, es decir no es ácida ni básica (alcalina).

Para calcular esta concentración, se hizo de la siguiente manera:

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

Los corchetes representan las **concentraciones molares** y k es la **constante de disociación**. Debido a que un mol de agua pesa 18 gramos, por lo tanto un litro que es equivalente a 1000 gramos, contiene 1000/18 = 55.56 mol. Así que el agua pura es 55.56 molar. Puesto que la probabilidad de que un hidrógeno en agua pura exista como un ión hidrógeno es de 1.8 x 10^{-9}, la concentración molar de los iones H^+ (o de iones OH^-) en agua pura, es el producto de la probabilidad que es 1.8 x 10^{-9} por la concentración molar del agua que es 55.56 mol/L. El resultado es 1.0 x 10^{-7} mol/L.

Un **ácido** es una sustancia que al estar en solución se disocia para producir iones hidrógeno. Al disociarse una molécula de agua produce un ion hidrógeno.

Una **base** se define como un aceptor de protones. El ion hidroxilo puede actuar como base al aceptar un protón (H^+) para formar agua. También son consideradas bases aquellas sustancias que liberan grupos OH^-. Por cada molécula de agua, se libera un grupo OH^-. Por lo tanto, el agua actúa tanto como ácido y como base.

El grado de acidez de una molécula se acostumbra expresarlo en términos de **pH**. Este se define como el logaritmo negativo (en base 10) de la concentración de iones de hidrógeno, expresada en moles por litro. Esta definición la introdujo Sorensen en 1909.

$pH = -\log [H^+]$

Para el agua pura a 25 °C,

$pH = -\log 10^{-7} = -(-7) = 7.0$

pH= 7

Este valor (7) es considerado neutro dado que la concentración de iones H+ es semejante a la concentración de iones OH-.

[H+] = [OH-]

La escala de **pH** permite medir la concentración de iones hidrógeno de 10^{-14} M (molar) hasta 1.0M (molar) y se basa en la disociación del agua. El pH del plasma sanguíneo tiene un valor de 7.35-7.45 y es muy importante conservar este valor dentro de límites muy estrechos.

Las **soluciones neutras** (pH = 7) son las que tienen la misma concentración de H^+ y OH^-. Las **soluciones ácidas** (tienen valores de pH inferiores a 7) son las que tienen mayor concentración de H^+ que de OH^-, en cambio, las **soluciones básicas** (tienen valores de pH superiores a 7) son las que tienen mayor concentración de iones OH^- que de H^+. Dicho de otra manera, los valores menores de pH (menores de 7 hasta 0) corresponden a concentraciones altas de H^+ y el pH es ácido. Los valores altos de pH, mayores de 7 hasta 14 corresponden a concentraciones bajas de H^+ y es un pH alcalino o básico.

$[H^+]$ (M)	pH	$[OH^-]$ (M)	pOH
10^0 (1)	0	10^{-14}	14
10^{-1}	1	10^{-13}	13
10^{-2}	2	10^{-12}	12
10^{-3}	3	10^{-11}	11
10^{-4}	4	10^{-10}	10
10^{-5}	5	10^{-9}	9
10^{-6}	6	10^{-8}	8
10^{-7}	7	10^{-7}	7
10^{-8}	8	10^{-6}	6
10^{-9}	9	10^{-5}	5
10^{-10}	10	10^{-4}	4
10^{-11}	11	10^{-3}	3
10^{-12}	12	10^{-2}	2
10^{-13}	13	10^{-1}	1
10^{-14}	14	10^0	0

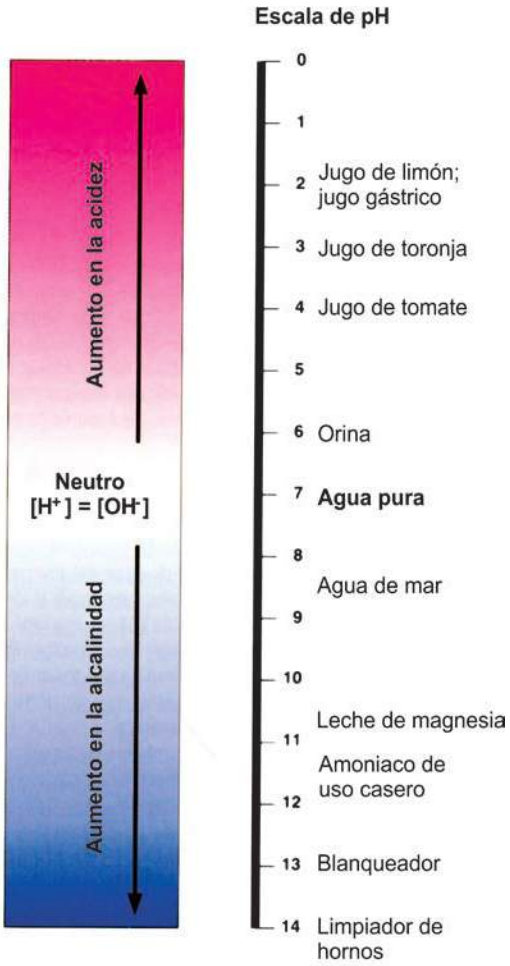


Figura 2.25 *La escala de pH es de 0 a 14. A la derecha se muestran los valores de pH de algunas sustancias comunes.*

Al aumentar la concentración de H^+, el pH es más ácido. Al disminuir la concentración de H^+, disminuye la acidez. El pH de una orina normal es ligeramente ácido (6), en cambio el pH del jugo gástrico es muy ácido (2). El jugo pancreático tiene un pH de 8, es decir, es ligeramente alcalino.

Figura 2.26 *El hidróxido de magnesio y el hidróxido de aluminio son sustancias básicas que disminuyen la acidez estomacal.*

Cuando has padecido acidez estomacal (causada por los grupos H^+), seguramente alguna vez te habrán recetado un antiácido, medicamento que contiene el hidróxido de aluminio $Al(OH)_3$ e hidróxido de magnesio $Mg(OH)_2$. El hidróxido de aluminio es una base debido a que por cada átomo de aluminio, libera 3 grupos OH^-. El hidróxido de magnesio libera 2 grupos OH por cada átomo de magnesio,

por lo tanto es una base. Estos dos hidróxidos que constituyen al antiácido provocan que el pH aumente, para que sea menos ácido y disminuye las molestias de acidez estomacal.

Así como existe la escala de pH, también existe la escala de pOH.

$$[H^+]\,[OH^-] = 10^{-14}$$

$$pOH = -\log [OH]^-$$

El pOH es igual al logaritmo negativo (en base 10) de la concentración de los iones OH^-. La suma de pH y pOH siempre da un valor de 14.

$$pH + pOH = 14$$

La valoración o medición del pH se efectúa mediante indicadores que son ácidos o bases débiles, los cuales cambian de color o dan un cierto color cuando cambia el pH de las soluciones en que se encuentran. Algunos ejemplos de indicadores son el **rojo de fenol**, el **tornasol** y la **fenolftaleína**.

Figura 2.27 *Tiras reactivas para medir el pH. Los cuatro colores de la tira que se parezcan más a los cuatro colores de la cajita indica el pH de la sustancia.*

El pH se mide mediante tiras reactivas que están impregnadas de **sustancias indicadoras** que al reaccionar con la sustancia a la que se le quiere medir, cambian de color. Este color se compara con los colores que vienen por fuera de la cajita que contiene las tiras para medir el pH, el color más semejante indica el pH.

Otro procedimiento es utilizar un **potenciómetro** el cual posee un electrodo para medir iones H^+. Este instrumento permite la valoración rápida y sencilla del pH en una solución. En la medicina clínica es muy importante la medición del pH del plasma, suero sanguíneo, orina, etc., porque proporciona información muy valiosa acerca del estado que guarda el metabolismo del agua y los electrólitos en los diversos compartimientos del organismo humano.

Figura 2.28 *El potenciómetro, instrumento para medir el pH.*

En el caso del ser humano, el agua es el compuesto más abundante y está distribuida en dos grandes compartimientos: el **intracelular** (dentro de las células) y el **extracelular** (fuera de las células). Este último se localiza rodeando a las células (intersticial o tisular) y dentro de los vasos sanguíneos y linfáticos (intravascular).

El porcentaje de agua en el ser humano depende de la edad, el sexo (10% mayor en los hombres que en las mujeres) y el contenido de tejido adiposo.

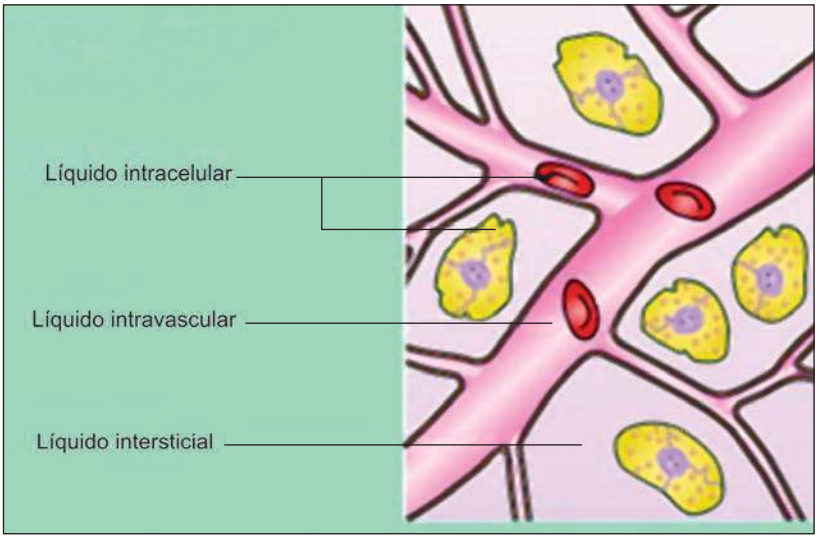


Figura 2.29 *En este dibujo puedes observar agua tanto dentro de las células como fuera de ellas. En el líquido intracelular: dentro de glóbulos rojos y otras células (de amarillo). Además, en el líquido extracelular: dentro del capilar sanguíneo (líquido intravascular) y rodeando a las célula (líquido intersticial o tisular).*

En un adulto normal de 70 kg de peso corporal y 1.70 m de altura, un 70% corresponde a agua (49 kg). De esta cantidad, 35 kg de agua está distribuida intracelularmente y 14 kg extracelularmente. El compartimiento extracelular comprende el líquido contenido en el tejido conectivo duro y cartílago, tejido óseo y el agua transcelular que la encontramos en las secreciones glandulares, en los líquidos gastrointestinales, cefalorraquídeo, sinovial, humor vítreo y acuoso.

El agua contiene solutos, como iones y moléculas. Más del 95% corresponden al ión sodio (Na^+) que es extracelular y se relaciona con los aniones cloruro (Cl^-) y bicarbonato (HCO_3^-). El sodio es entonces el principal soluto del líquido extracelular. En cambio casi el 98 % del potasio corporal es intracelular, por lo que es el soluto principal del líquido intracelular.

Soluciones amortiguadoras

Las soluciones **amortiguadoras** o **buffers** son las que resisten un cambio de pH en el momento que se producen o se consumen protones.

La mayoría de las reacciones metabólicas van acompañadas de liberación o aceptación de protones, la mayor parte de las reacciones intracelulares son amortiguadas. El bicarbonato, el fosfato y las proteínas son los amortiguadores que normalmente mantienen el pH del líquido extracelular entre 7.35 y 7.45. Esto lo logran **aceptando** o **liberando protones** para que no se presente un cambio brusco de pH.

Las perturbaciones del equilibrio ácido-base se comprueban al determinar el pH de la sangre arterial y el contenido de CO_2 (producido por el metabolismo oxidativo) de la sangre venosa.

Se considera que una persona presenta **acidosis** cuando el pH de la sangre es menor a 7.35. Sus causas son la cetoacidosis diabética y la acidosis láctica. Asimismo, el individuo presenta **alcalosis** cuando el pH sanguíneo es mayor a 7.45, por lo general se presenta después del vómito de contenidos gástricos ácidos.

Electrólitos

Los **electrólitos** son los iones (cationes y aniones) que se encuentran en el líquido intracelular y extracelular.

El líquido extracelular es el más estudiado por la facilidad para obtener sus muestras a partir del suero de la sangre.

En la composición de electrólitos del suero sanguíneo se encuentran los **cationes** Na^+ (sodio), K^+ (potasio), Ca^{++} (calcio), Mg^{++} (magnesio) y los **aniones** Cl^- (cloruro), HCO_3^-(bicarbonato), PO_4^{+++} (fosfato), SO_4^{++}(sulfato), aniones orgánicos y proteínas. Los líquidos extracelulares tienen concentracion idénticas de aniones y de cationes.

El **anión extracelular** más importante y abundante es el Cl^-, que está prácticamente ausente en el interior de las células. El catión extracelular más abundante es el Na^+.

Los **iones intracelulares** más importantes son los cationes K^+, Mg^{++} y los fosfatos como aniones. El catión intracelular más abundante es el potasio.

El anión común a ambos compartimientos, aunque es más abundante en el líquido extracelular, es el HCO_3^-.

El conocimiento del metabolismo del agua y los electrólitos es de gran interés médico, como por ejemplo, los casos de pérdida de líquidos y sales por vómitos y diarreas, traumatismos y quemaduras o los de retención de agua y sales en la insuficiencia renal.

La alteración más frecuente de la concentración de los líquidos y de los electrólitos es la **deshidratación**.

Los líquidos corporales muestran una gran constancia en la concentración de sus componentes iónicos (electrólitos), su pH y su temperatura; además de que tienen mecanismos muy efectivos para su regulación y cuentan con sistemas protectores contra la pérdida de agua, como la piel y el riñon, cuyo fin es el de conservar, al grado máximo posible, la concentración de los distintos componentes del medio interno.

El balance de agua es condicionado en gran parte por la sed. En condiciones normales, debemos ingerir de 2 a 2.5 litros diarios provenientes de tres fuentes principales:

- Ingerirla como tal o en bebidas (1,200 ml). Los humanos necesitan beber por lo menos un litro de agua al día. Si no se ingiere suficiente agua para sustituir el líquido perdido, puede sufrirse deshidratación. Esto causa problemas en los sistemas circula-

Figura 2.30 *Todas las células del cuerpo necesitan agua porque en ella se llevan a cabo las reacciones químicas. En días calurosos o cuando realizas ejercicio, necesitas beber mayor cantidad de agua para sustituir el líquido que se pierde al sudar.*

torio, respiratorio y nervioso. El consumo de abundante agua potable es de lo mejor que podemos hacer para tener un cuerpo sano.

- El agua que forma parte de los alimentos (1,000 ml), los que, por sólidos que parezcan, proporcionan agua. Por ejemplo el pan tiene un 31%, el jamón 58% y el pepino 98%.
- El agua metabólica (300 ml), procedente de la oxidación de los alimentos, cuyo volumen depende del metabolismo de cada individuo.

Figura 2.31 *El agua es un líquido vital que merece y necesita de nuestro cuidado. ¡No la desperdicies!*

En relación con el adulto, el requerimiento de agua y su intercambio es mayor en los niños, estos retienen con menor facilidad el agua y si no ingieren o pierden líquidos, están en peligro de deshidratarse rápidamente.

El organismo retiene el agua en una cantidad constante, pero hay un intercambio dinámico de un compartimiento a otro. En un niño se recambia todos los días el equivalente en agua de hasta la décima parte del peso corporal y en el adulto, este recambio es de alrededor de 3% de su peso corporal. Por lo regular, el organismo humano controla su equilibrio de líquidos a través de la ingestión y la excreción de agua.

La regulación del equilibrio del agua depende del mecanismo del hipotálamo que controla la sed, de la hormona antidiurética (ADH), de la retención o excresión de agua por los riñones (orina). Además se elimina agua por medio de las heces, la transpiración y el vapor de agua en cada exhalación.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué importancia tiene el elevado calor específico del agua?

   _____

   _____

   _____

2. ¿Qué propiedad del agua permite que este insecto pueda desplazarse sobre ella sin hundirse? Explica.

   _____

   _____

   _____

   _____

   _____

   _____

3. Explica que sucedería si el hielo presentara mayor densidad que el agua líquida.

   _____

   _____

   _____

4. ¿A qué se debe que el calor específico, el calor de fusión y el calor de evaporación del agua presenten valores elevados comparados con otras sustancias?

   _____

   _____

5. El agua actúa como base y como ácido. Explica.

   _____

   _____

   _____

6. ¿Qué importancia tienen las soluciones amortiguadoras (buffers)?

   _____

   _____

   _____

7. ¿Cuál es la composición química de “vida suero oral”? ¿Por qué es importante tomarlo?

_____
_____
_____
_____
_____

8. ¿Qué es el pH, cómo se mide y qué importancia tiene?

_____
_____
_____

9. ¿Cómo actúa un antiácido en nuestro organismo?

_____
_____

10. A la siguiente molécula de agua, dibújale los cuatro puentes de hidrógeno con moléculas de agua adyacentes.

Indica cuál de las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

1. Las moléculas del hielo presentan un orden discontinuo, mientras que las del agua líquida presentan un orden continuo. ( )
2. Cada molécula de agua es altamente polar debido a la distribución desigual de los electrones entre los átomos de hidrógeno y de oxígeno. ( )
3. El K^+ es el electrólito intracelular más importante y abundante. ( )
4. El agua absorbe más energía calorífica para poder elevarla un grado de temperatura que la mayoría de las sustancias. ( )
5. El agua líquida tiene más puentes de hidrógeno que el hielo. ( )
6. Cuando el agua hierve se rompen muchos enlaces hidrógeno. ( )
7. La constante dieléctrica es la capacidad que tiene el agua de separar iones de cargas opuestas. ( )
8. La molécula de agua tiene una alta tendencia a ionizarse. ( )
9. Cuando la concentración de H^+ es mayor que la concentración de iones OH^-, el pH es alcalino. ( )
10. El % de agua en el ser humano depende de la edad, el sexo y del contenido de tejido adiposo. ( )

Selecciona la respuesta correcta:

1. El puente de hidrógeno se forma:

   a) Entre la carga negativa de una molécula de agua y la carga positiva de otra molécula de agua
   b) Entre la carga negativa de una molécula de agua y la carga negativa de otra molécula de agua
   c) Entre la carga positiva de una molécula de agua y la carga positiva de otra molécula de agua
   d) Entre un átomo de hidrógeno de una molécula de agua y un átomo de hidrógeno de otra molécula de agua
   e) Entre un átomo de oxígeno de una molécula de agua y un átomo de oxígeno de otra molécula de agua

2. Es la cantidad de energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de una sustancia en 1°C.

   a) Calor específico b) Densidad c) Capilaridad
   d) Calor de fusión e) Calor de evaporación

3. El pH de la orina normal es 6, esto significa que la orina es:

   a) Muy ácida b) Neutra
   c) Ligeramente alcalina d) Ligeramente ácida e) Muy alcalina

4. Cada molécula de agua establece _____ con otras moléculas de agua.

   a) Dos puentes de hidrógeno
   b) Ocho puentes de hidrógeno
   c) Cuatro puentes de hidrógeno
   d) Un puente de hidrógeno
   e) Tres puentes de hidrógeno

5. Es el principal soluto del líquido extracelular:

   a) Sodio b) Potasio c) Magnesio
   d) Zinc e) Cloruro

6. Cuando el agua reacciona con el disacárido sacarosa, la fragmenta en dos moléculas más pequeñas que son la glucosa y fructosa. Esta reacción es una:

   a) Deshidratación b) Hidrólisis c) Solvatación
   d) Ionización e) Ninguna es correcta

7. Es la capacidad de energía cinética que requieren las moléculas de agua en estado líquido para vencer su mutua atracción:

a) Viscosidad b) Adhesión c) Calor específico
d) Calor de fusión e) Calor de evaporación

8. Es una sustancias que tiene pH básico:

a) HCl b) H_2SO_4 c) H_3PO_4
d) $Mg(OH)_2$ e) H_2O

9. En el ser humano, el líquido extracelular se localiza dentro de los vasos sanguíneos y linfáticos, pero además:

a) Rodeando a las células b) En el líquido intersticial c) En el líquido tisular
d) Líquido cefalorraquídeo e) Todas las anteriores son correctas.

10. El anión extracelular más importante es:

a) Cloruro b) Potasio c) Magnesio
d) Calcio e) Fosfato

En la siguiente sopa de letras, localiza los nombres de cuatro características del agua y anótalas abajo, explicando en que consiste cada una de ellas:

A	S	N	H	Q	A	Q	A	R	T	Y
A	V	S	D	G	D	H	J	I	Q	E
G	I	B	G	J	H	D	S	I	A	O
A	S	O	L	V	E	N	T	E	M	F
O	C	A	C	I	S	V	O	S	A	M
A	O	E	T	Y	I	P	F	J	S	B
O	S	L	I	A	V	S	O	L	Y	T
A	I	S	E	S	I	P	R	O	K	D
H	D	D	V	B	D	K	S	A	I	Q
C	A	P	I	L	A	R	I	D	A	D
A	D	I	F	A	D	N	Y	E	V	O

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

Carbohidratos

UNIDAD 3

Bioquímica

Introducción

En biología existen grandes moléculas constituidas por la unión de muchas unidades más pequeñas. El elemento carbono es un constituyente de casi todas las moléculas biológicas. Por esta razón se considera al carbono un elemento esencial para la vida en la Tierra. Los científicos dedicaron una rama de la química, denominada química orgánica, al estudio de los compuestos orgánicos; es decir, a los compuestos que contienen carbono.

El átomo de carbono tiene cuatro electrones de valencia (los que se encuentran en su última capa energética), lo que le permite formar cuatro enlaces covalentes con otros átomos. Estos enlaces covalentes permiten que los átomos de carbono se unan entre sí y con otros muchos elementos tales como el hidrógeno, oxígeno, fósforo, azufre y nitrógeno para formar las moléculas de la vida, las biomoléculas.

Las biomoléculas pueden tener forma de cadenas lineales, cadenas ramificadas o de anillos. El carbono tiene la capacidad de formar millones de diferentes moléculas grandes y complejas.

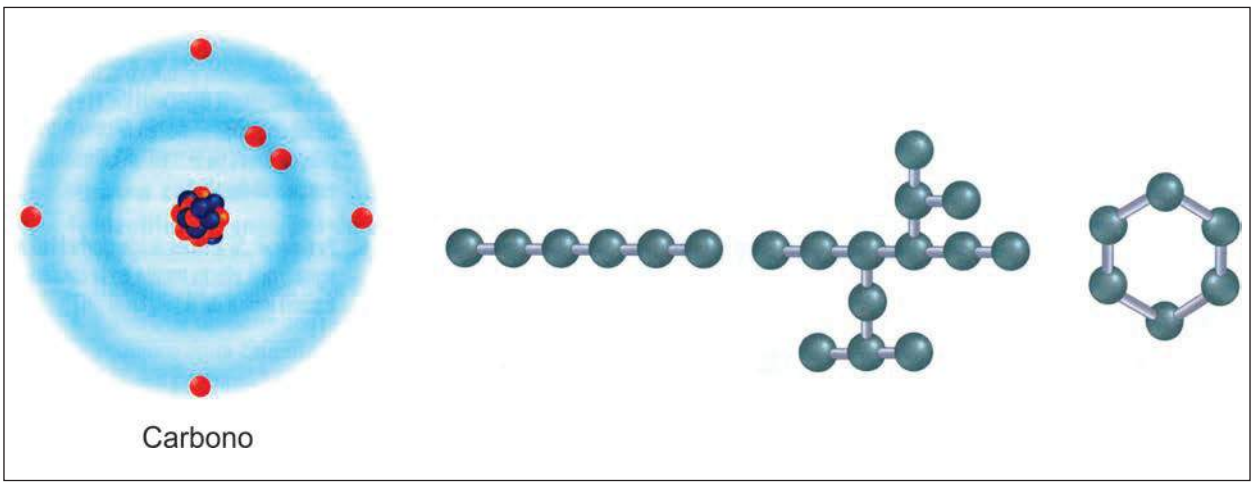


Figura 3.1 *La capa energética externa del átomo de carbono con cuatro electrones, permite la formación de moléculas en forma de cadena lineal, ramificada y anillo.*

La mayoría de las células almacenan pequeñas moléculas de carbono que sirven para construir las moléculas grandes, las llamadas **macromoléculas**. Las macromoléculas también son conocidas como **polímeros** (proviene de dos vocablos griegos: ***poli*** que significa muchos y ***meros*** que significa parte) porque están formadas de la unión de moléculas orgánicas pequeñas denominados monómeros, unidas por medio de enlaces covalentes.

Las macromoléculas están constituidas por miles o incluso cientos de miles de monómeros.

Los bioquímicos clasifican a las macromoléculas biológicas (biomoléculas más grandes) en cuatro grupos basados en su composición química: carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

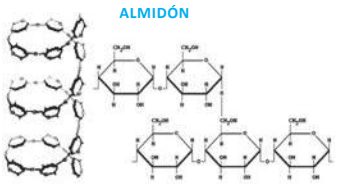
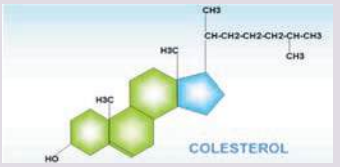
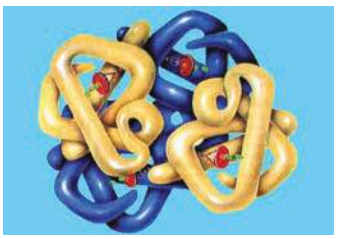
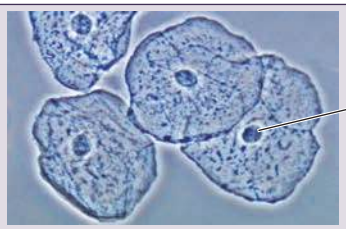
Grupo	Ejemplo	Molécula	Función
Carbohidratos			• Almacenan energía • Proveen soporte estructural
Lípidos			• Almacenan energía • Proveen barreras y soporte estructural
Proteínas			• Transportan sustancias • Agilizan las reacciones • Proveen soporte estructural • Actúan como hormonas
Ácidos **nucleicos**			• Almacenan y comunican información genética

Figura 3.2 *Las cuatro macromoléculas biológicas, un ejemplo de cada una de ellas, sus estructuras y sus principales funciones.*

Composición y fórmula de los carbohidratos

El término **carbohidrato** (del francés *hydrate de carbone*) se aplicó inicialmente a los monosacáridos, reconociendo el hecho de que su composición podría expresarse como $Cn(H_20)n$. En la actualidad, el término se utiliza en un sentido amplio, ya que comprende no solo a los monosacáridos, sino tam-

Figura 3.3 *Los azúcares son carbohidratos (monosacáridos y disacáridos) de sabor dulce. Los encontramos en frutas, leche, remolacha azucarera, caña azucarera, etcétera.*

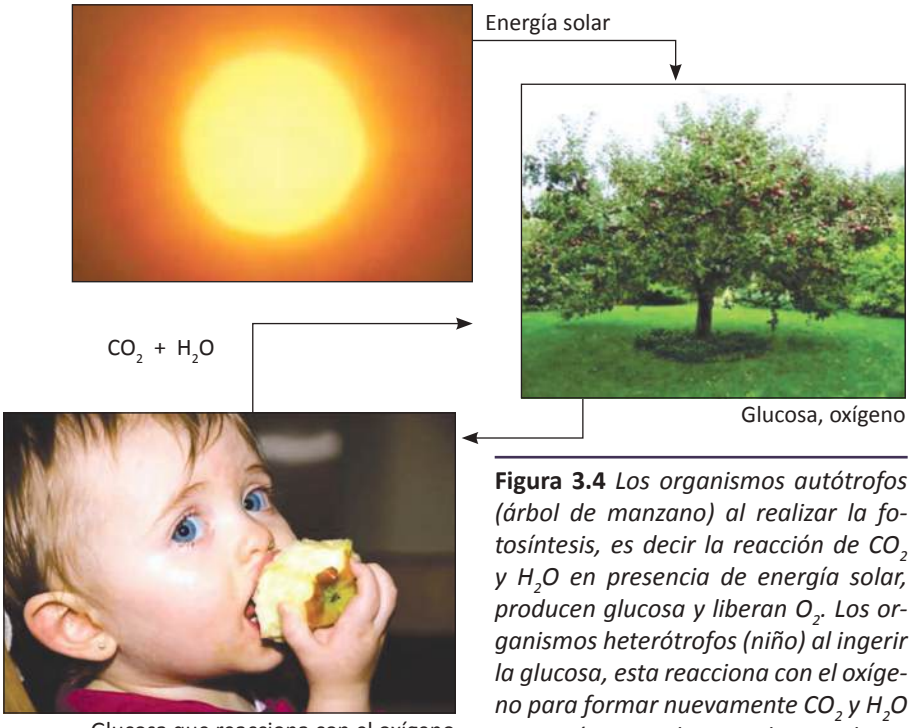


Figura 3.4 *Los organismos autótrofos (árbol de manzano) al realizar la fotosíntesis, es decir la reacción de CO_2 y H_2O en presencia de energía solar, producen glucosa y liberan O_2. Los organismos heterótrofos (niño) al ingerir la glucosa, esta reacciona con el oxígeno para formar nuevamente CO_2 y H_2O que serán captados por el vegetal.*

bién a los oligosacáridos y polisacáridos. La palabra **azúcar** es utilizada para referirse a los monosacáridos y algunos oligosacáridos que son dulces.

Los azúcares son el producto inmediato de la **fotosíntesis** que se realiza principalmente en las hojas de las plantas verdes; a partir de la reacción del CO_2 y el H_2O, en presencia de la energía solar, se sintetiza la glucosa y en los enlaces de esta molécula queda almacenada la energía. Además se libera O_2. Luego, los animales ingieren la glucosa, esta reacciona con el oxígeno y la convierten nuevamente en CO_2 y H_2O y transforman la energía (que estaba almacenada en la glucosa) en enlaces químicos de numerosos compuestos, convertibles a su vez, en energía eléctrica, mecánica, etcétera.

El catabolismo del carbohidrato glucosa, proporciona energía inmediata para todas las actividades celulares de los organismos.

Para que en un vegetal se sinteticen lípidos y proteínas, primero es necesario que se sintetice la glucosa, ya que a partir de esta se sintetizan los lípidos y las proteínas.

Los carbohidratos son las biomoléculas más abundantes de la alimentación; son también la principal fuente de energía de los seres vivos. Las plantas y algunos animales también usan carbohidratos para formar parte de su estructura.

Los carbohidratos son los compuestos orgánicos más abundantes

Figura 3.5 *Los carbohidratos son las biomoléculas más abundantes en la alimentación. Los dos niveles inferiores (panes, cereales, papas, frutas y verduras) y los dos niveles superiores izquierdos (leche, dulces) son alimentos ricos en carbohidratos.*

en los vegetales. Los animales sintetizan carbohidratos a partir de aminoácidos, pero la mayor parte de los carbohidratos de su dieta alimenticia deriva de los vegetales.

Los carbohidratos están constituidos esencialmente de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Son **polihidroxialdehídos** (poseen muchos grupos –OH y el grupo funcional aldehído) o **polihidroxicetonas** (poseen muchos grupos –OH y el grupo funcional cetona) o sustancias que por hidrólisis producen cualesquiera de las dos anteriores.

Además, en la mayoría de ellos, a cada átomo de carbono se encuentra unida una molécula de agua (un atómo de oxígeno y dos átomos de hidrógeno), esta fue la suposición de la cual se partió para llamar a estos compuestos como hidratos de carbono o carbohidratos, porque se pensaba que cada átomo de carbono estaba combinado con una molécula de agua (carbono hidratado).

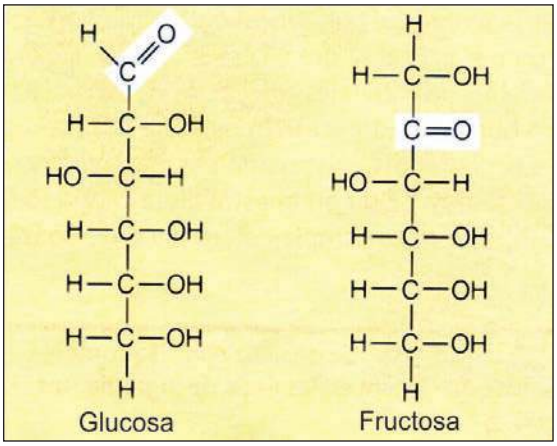


Figura 3.6 *A la izquierda, la estructura de un carbohidrato que es polihidroxialdehido el cual posee 5 grupos –OH y el grupo aldehído (carbono 1). A la derecha, un carbohidrato que es una polihidroxicetona que también posee cinco grupos –OH y el grupo funcional cetona (carbono 2).*

La fórmula general para los carbohidratos se escribe $(CH_2O)n$, el subíndice n indica el número de subunidades CH_2O en una cadena.

Estudios posteriores, realizados desde el siglo pasado, permitieron observar que no en todos los casos era esta la situación, pero el nombre persistió y en la actualidad todavía se les denomina carbohidratos.

Clasificación de los carbohidratos

Los carbohidratos se clasifican de la siguiente manera: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos.

Monosacáridos

Los **monosacáridos** son carbohidratos que no pueden ser hidrolizados a carbohidratos más pequeños. Son sólidos, cristalinos, incoloros, solubles en agua y de sabor dulce. Hace algunos años se acordó que los azúcares deben nombrarse con la terminación **osa**.

Fischer y otros investigadores establecieron los fundamentos de la terminología que se utiliza hasta ahora, basada en los nombres de triosa, tetrosa, pentosa, hexosa, etc. También apoyó la propuesta de Armstrong de clasificar los azúcares en aldosas y cetosas. Además Fisher introdujo la ahora clásica proyección que lleva su nombre, que consiste en cadenas de carbono verticales y el grupo carbonilo en la parte superior.

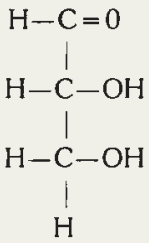
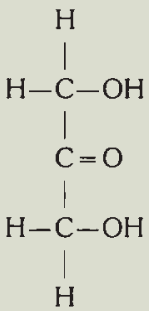
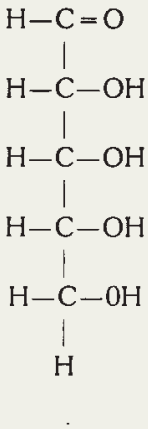
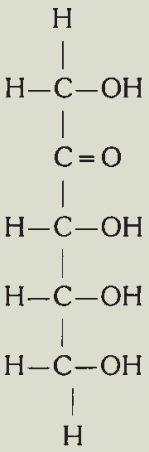
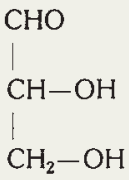
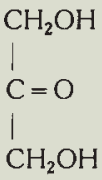
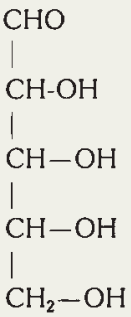
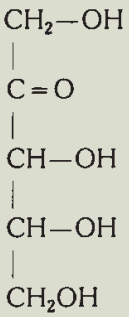
Aldotriosa	*Cetotriosa*	*Aldopentosa*	*Cetopentosa*
			
			
$C_3H_6O_3$	$C_3H_6O_3$	$C_5H_{10}O_5$	$C_5H_{10}O_5$

Figura 3.7 *Tres diferentes formas de representación de algunos monosacáridos. Las de la parte superior están desarrolladas, las del centro están simplificadas y en la parte inferior está su fórmula molecular.*

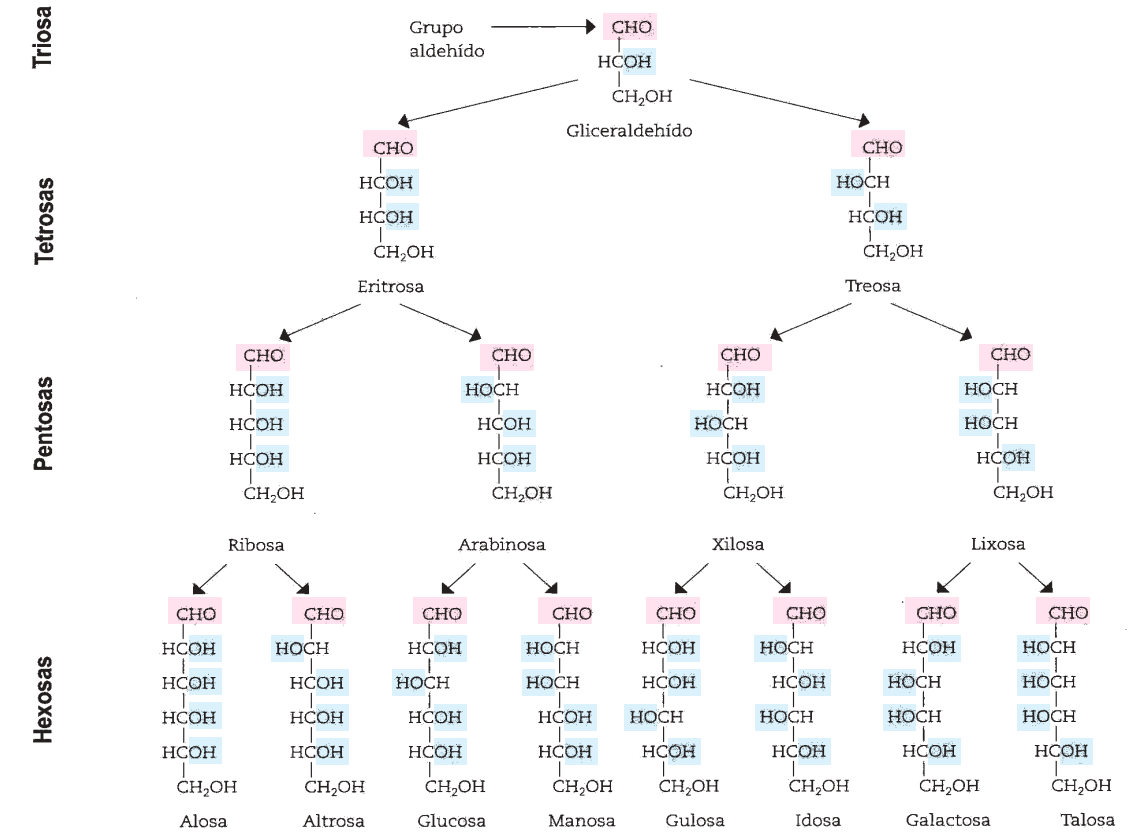
Dependiendo del número de átomos de carbono se subdividen en: **triosas** (3C), **tetrosas** (4C), **pentosas** (5C), **hexosas** (6C) y **heptosas** (7C). Los átomos de carbono se numeran de arriba hacia abajo.

Además, poseen un grupo carbonilo, si este grupo es el grupo aldehído (-CH=O) se llaman **aldosas** y si el grupo carbonilo es una cetona (-C=O), reciben el nombre de **cetosas**.

Ejemplos: Si un monosacárido posee el grupo aldehído y 5 átomos de carbono se trata de una **aldopentosa**. En cambio, si el grupo funcional es de una cetona y tiene 6 átomos de carbono, se trata de una **cetohexosa**.

Los monosacáridos más pequeños son de 3 átomos de carbono. Los dos más importantes para los seres vivos son la **glicerosa** (comúnmente más conocida como gliceraldehído) y la **dihidroxiacetona**.

Dentro de los monosacáridos de 4 átomos de carbono más importantes se encuentra la eritrosa. Los de importancia fisiológica de 5 átomos de carbono son la lixosa, xilosa, xilulosa, ribulosa, arabinosa, ribosa y desoxirribosa. La glucosa, la manosa, la fructosa y la galactosa son las hexosas de mayor importancia fisiológica. La sedoheptulosa es el monosacárido de 7 átomos de carbono más importante.



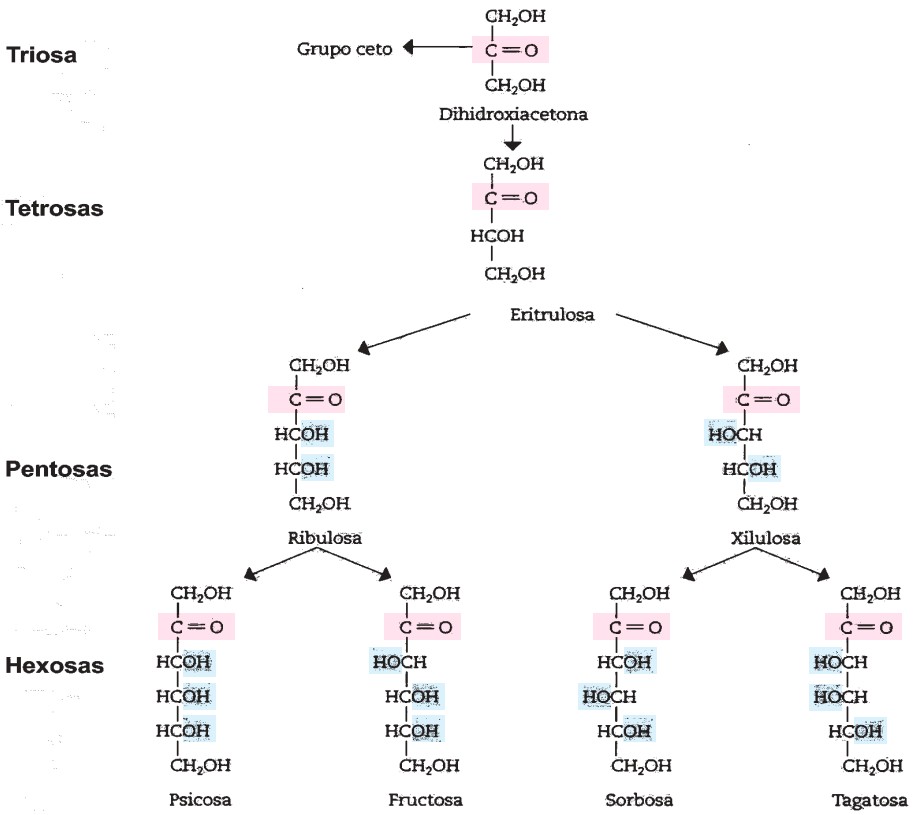


Figura 3.8 *Estructuras de 15 aldosas y 8 cetosas de importancia biológica.*

- La **ribosa** forma parte de la estructura del ácido ribonucleico.
- La **desoxirribosa** se encuentra en el ácido desoxirribonucleico.
- La **arabinosa** es uno de los constituyentes de la pectina y de la hemicelulosa, principalmente se encuentra en la goma arábiga, es fuente de carbono en cultivos bacterianos.
- La **xilosa** es conocida como azúcar de madera.
- La **lixosa** se encuentra formando parte de los glucolípidos de las paredes bacterianas de algunas especies, así como del músculo cardiaco.
- La **xilulosa** se acumula en la orina en pacientes con pentosuria.
- La **manosa** se encuentra formando parte de algunos polisacáridos de las plantas y en algunas glucoproteínas animales.
- La **sedoheptulosa** es una de las pocas heptosas existentes en la naturaleza, es un intermediario en el ciclo de las pentosas.

La **glucosa** es el carbohidrato más importante, la mayor parte de los carbohidratos que ingerimos en la dieta diaria se absorbe al torrente sanguíneo como glucosa; otros azúcares son convertidos a glucosa en el hígado.

La glucosa es el **combustible metabólico** más importante de los mamíferos. Es el precursor en la síntesis de todos los demás carbohidratos en el cuerpo.

Las enfermedades que se relacionan con el metabolismo de los carbohidratos son la diabetes mellitus, galactosemia, enfermedades del almacenamiento del glucógeno e intolerancia a la lactosa.

La fórmula desarrollada más simple de la glucosa (formada por 6 carbonos, 12 oxígenos y 6 hidrógenos), muestra una molécula de cadena recta con cinco carbonos que tienen unidos funciones alcohólicas y uno con una función aldehído. Recuerda que el grupo aldehído se encuentra en el carbono de un extremo de la molécula.

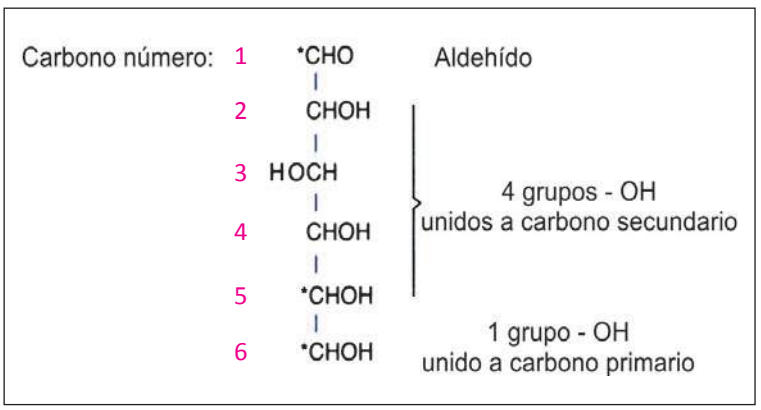


Figura 3.9 *Fórmula desarrollada por Fisher de la glucosa ($C_6H_{12}O_6$). Los carbonos marcados con un asterisco (*) corresponden a los tres carbonos del gliceraldehído. Observa los cuatro grupos –OH unidos a carbonos secundarios y un grupo –OH unido a carbono primario.*

A la forma de representar un monosacárido en forma lineal, se le conoce como **estructura de Fisher**, en honor de su inventor. Para escribirla, primero se escribe la cadena o esqueleto de átomos de carbono, el grupo funcional aldehído o el grupo carbonilo y en seguida se acomodan los –H y los –OH.

Existen monosacáridos que tienen la misma fórmula molecular que la glucosa ($C_6H_{12}O_6$), pero diferente su arreglo espacial, es decir son **isómeros**.

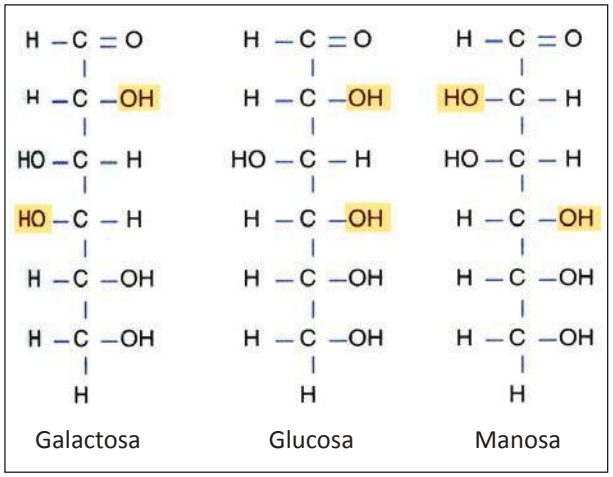


Figura 3.10 *La galactosa y la manosa son epímeros de la glucosa. ¿Cuál es la diferencia que observas en estas tres estructuras?*

A los isómeros que difieren como resultado de la diferente posición del -OH y del -H en los átomos de carbono 2, 3 y 4 de la glucosa se les conoce con el nombre de **epímeros**. Desde el punto biológico, los epímeros más importantes de la glucosa son la manosa y la galactosa. La única diferencia que existe entre la **manosa** y la **glucosa** es la posición del grupo –OH del carbono número 2, mientras que entre glucosa y galactosa, la diferencia está en el carbono número 4. Los tres monosacáridos tienen la misma fórmula molecular ($C_6H_{12}O_6$).

Existe otra hexosa que también es isómero de la glucosa, pero con el carbonilo con estructura **cetónica**, por lo que es una **cetohexosa** y es llamada **fructosa**. Este monosacárido es la cetohexosa más abundante en la naturaleza.

La fórmula lineal de la glucosa no explica alguna de sus propiedades, que sí se explican cuando se le representa como una estructura lineal pero transformable en una estructura cíclica, a través de la formación de un **hemiacetal interno**, es decir, se forma un puente de oxígeno entre el carbono 1 y el carbono 5, por lo que el carbono 1 se convierten en un **nuevo carbono asimétrico** que permite la existencia de dos nuevos isómeros, llamados **anómeros**, estos son el **alfa** (α) y el **beta** (β). El C1 se llama anomérico. La alfa- glucosa posee en el carbono anomérico el –OH hacia la derecha mientras que la beta-glucosa lo tiene hacia la izquierda.

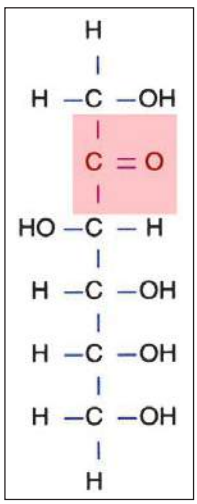


Figura 3.11 *Fórmula lineal (Fischer) de la cetohexosa más abundante en la naturaleza: la fructosa (azúcar de fruta).*

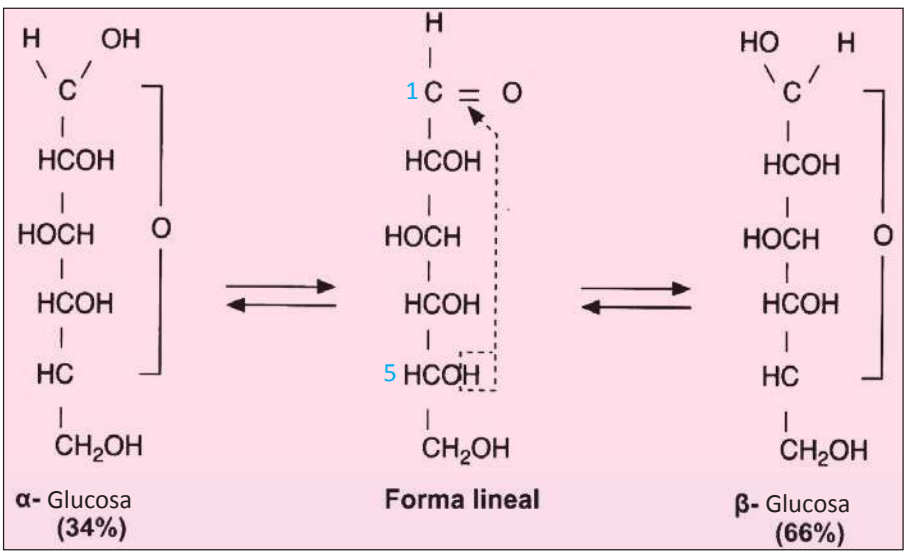


Figura 3.12 *Formación de un hemiacetal interno (a los lados) a partir de la estructura de Fischer (centro) del monosacárido glucosa. El carbono 5 queda unido al carbono del grupo funcional aldehído (carbono 1) por medio de un oxígeno.*

Observa los hemiacetales de la figura 3.12, la alfa-glucosa tiene el grupo OH del carbono anomérico (C1) hacia la derecha y la beta-glucosa lo posee hacia la izquierda. Una solución de glucosa en agua contiene en equilibrio dinámico 34 % de la forma alfa y 66 % de la beta.

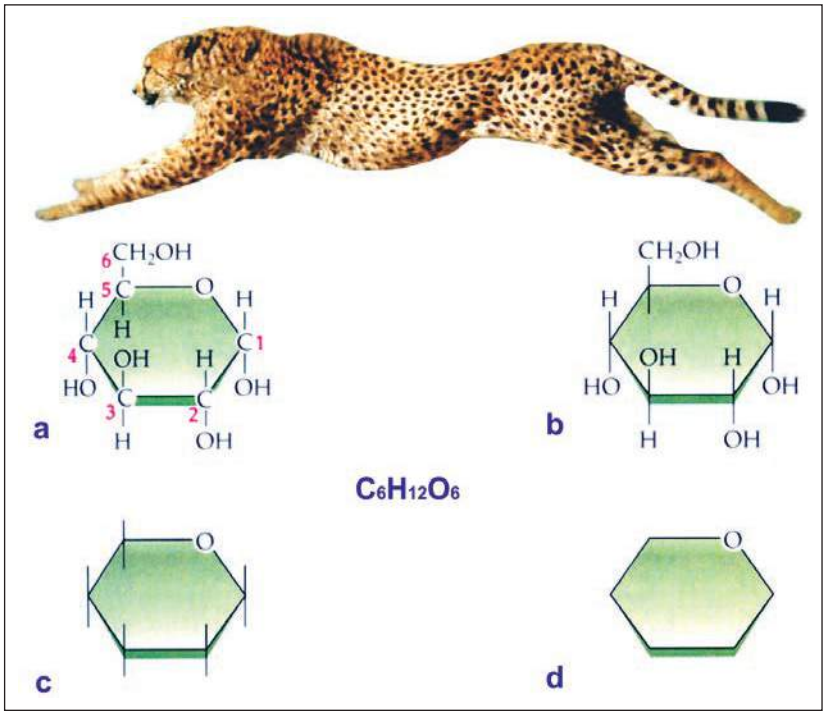


Figura 3.13 *El chita obtiene su energía de la glucosa. Se muestran cuatro maneras de representar la estructura de Haworth de la glucosa ($C_6H_{12}O_6$). a) El anillo de carbonos mostrando todos los grupos. b) Los carbonos son omitidos. c) Tantos los carbonos como los grupos son omitidos, mostrando solamente los enlaces. d) Solamente se muestra el átomo de oxigeno en el anillo.*

Haworth representó esta estructura en perspectiva, con los grupos H y OH colocados convencionalmente arriba o abajo del plano del anillo. En esta convención, los grupos OH de los carbonos 2 y 4 que en la estructura de Fisher se representan en el **lado derecho**, en el anillo de Haworth se encuentran en la parte de **abajo** y el OH del carbono 3 que en la estructura de Fisher está al **lado izquierdo**, se localiza hacia **arriba** en el anillo de Haworth; los **anómeros** alfa y beta se distinguen en el modelo por la posición del OH hacia abajo (alfa) o hacia arriba (beta) en el carbono número 1 (anomérico).

Otros monosacáridos importantes en bioquímica, además de la glucosa, son la galactosa y la manosa. A continuación se presentan las estructuras de Haworth de cada una de ellas, para que observes el **carbono número 1**. Tanto en la galactosa como en la manosa el –OH del carbono número 1 está hacia abajo, por lo tanto se trata de la alfa-galactosa y alfa-manosa, respectivamente.

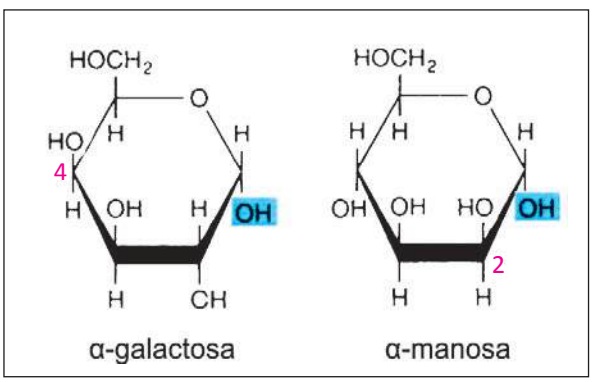


Figura 3.14 *Estructura de Haworth de los monosacáridos alfa-galactosa y alfa-manosa, hexosas que junto con la glucosa son las más importantes en bioquímica. Las dos estructuras son alfa, debido a que el –OH está hacia abajo en el carbono número 1.*

Los estudios con difracción de rayos X revelan en un solo plano a los azúcares con anillos de 5 átomos, mientras que los de los anillos de 6 átomos están dispuestos en forma de "bote" o de "silla".

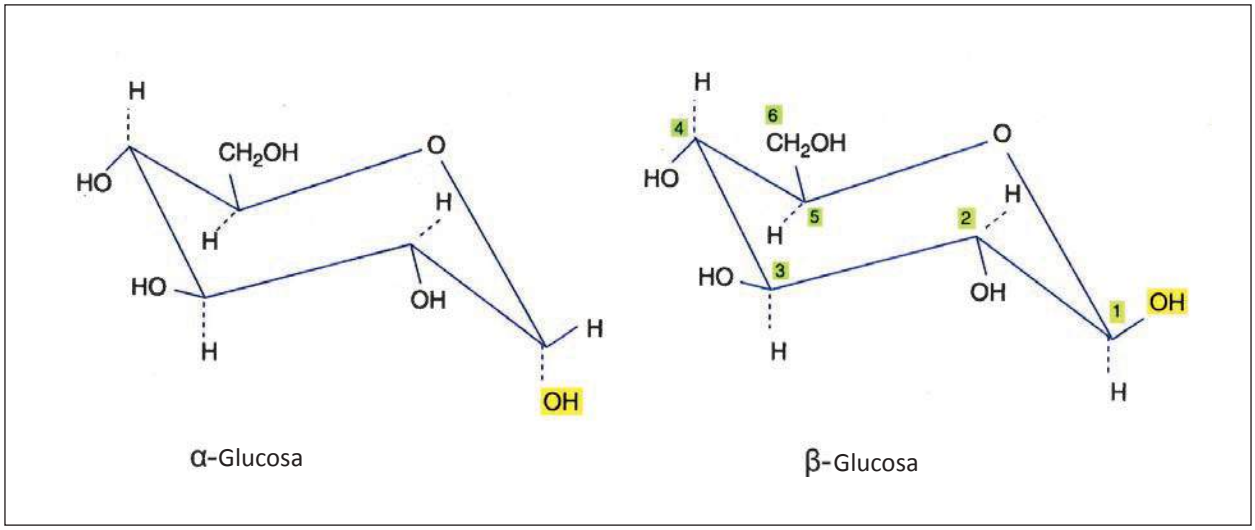


Figura 3.15 *Observa el carbono 1 de la estructura de "silla" de los anómeros alfa (-OH hacia abajo) y beta (-OH hacia arriba) de la glucosa (el anillo es de 6 átomos).*

Resumiendo, la estructura de la glucosa puede representarse de tres maneras:

- La fórmula estructural de **cadena recta (Fischer)** donde el grupo aldehído está unido al carbono número uno, (una aldohexosa).
- La **estructura cíclica** que se forma por la reacción entre el grupo aldehído y el grupo hidroxilo del carbono número cinco, fue diseñada por **Haworth**. En esta estructura los enlaces más cerca al observador están en negritas y engrosados mientras que los grupos hidroxilo están arriba o abajo del anillo.
- La estructura en forma de **silla**, que es como realmente se encuentra en la naturaleza.

Por lo general, se usan con más frecuencia las estructuras de Fischer y Haworth por ser más sencillas.

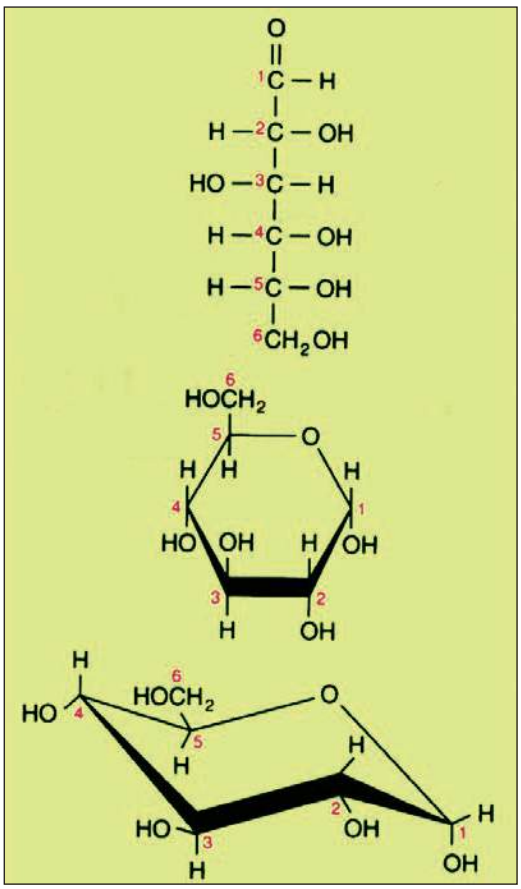


Figura 3.16 *Estructuras de la glucosa: de Fischer (arriba), proyección de Haworth (centro), variante en silla (abajo).*

Desoxiazúcares

Existen excepciones a la fórmula CnH_2On que nos dice que por cada átomo de carbono, poseen una molécula de agua. Estos monosacáridos son lla-

mados **desoxiazúcares**. En estos, un grupo hidroxilo se sustituye por hidrógeno, es decir, ese carbono no está hidratado. Son ejemplos la desoxirribosa, la 2-desoxiglucosa y la fucosa.

La ribosa tiene como fórmula molecular $C_5H_{10}O_5$, mientras que la desoxirribosa $C_5H_{10}O_4$, es decir, la desoxirribosa **posee un átomo de oxígeno menos** que la ribosa.

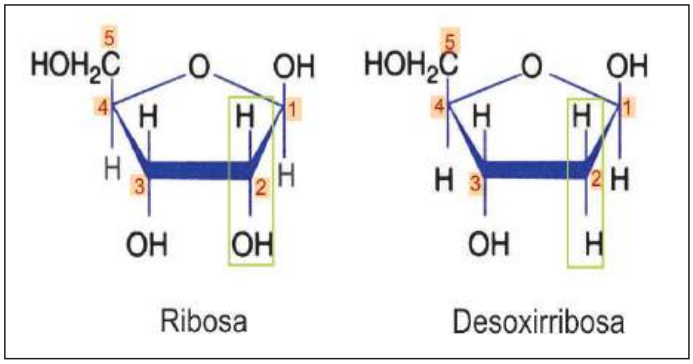


Figura 3.17 *Representación de Haworth de un desoxiazúcar, la desoxirribosa (derecha). A la izquierda se muestra a la ribosa para que observes el carbono número 2 que posee un átomo de oxígeno más que la desoxirribosa.*

En la desoxirribosa, el carbono número 2 posee dos átomos de hidrógeno. En cambio, la ribosa posee un átomo de hidrogeno y un grupo -OH. Según la fórmula CnH_2On, debería tener la misma cantidad de C que de moléculas de agua (5 átomos de C y 5 moléculas de H_2O), este monosacárido es un desoxiazúcar debido a que le **falta un átomo de oxígeno** para cumplir con la formula CnH_2On.

Enantiómeros D y L

A los isómeros que difieren en la orientación espacial del grupo –OH que está unido al carbono asimétrico más alejado del grupo carbonilo (aldehído o cetona) de un monosacárido, se les llama enantiómeros.

En 1906, **Rosanoff** escogió a los enantiómeros de gliceraldehído como punto de referencia; cualquier azúcar derivado del alargamiento en la cadena de lo que hoy se conoce como D-gliceraldehído pertenece a la serie D, convención que aún se utiliza. Asimismo, pertenecen a la forma L, todos los azúcares derivados del alargamiento del L-gliceraldehído.

La determinación de si la glucosa es enantiómero D o enantiómero L, tiene relación espacial con el monosacárido de tres átomos de carbono conocido con el nombre de **gliceraldehído** (más correctamente llamada glicerosa). En la figura 3.18 se muestran las variantes de este azúcar y de

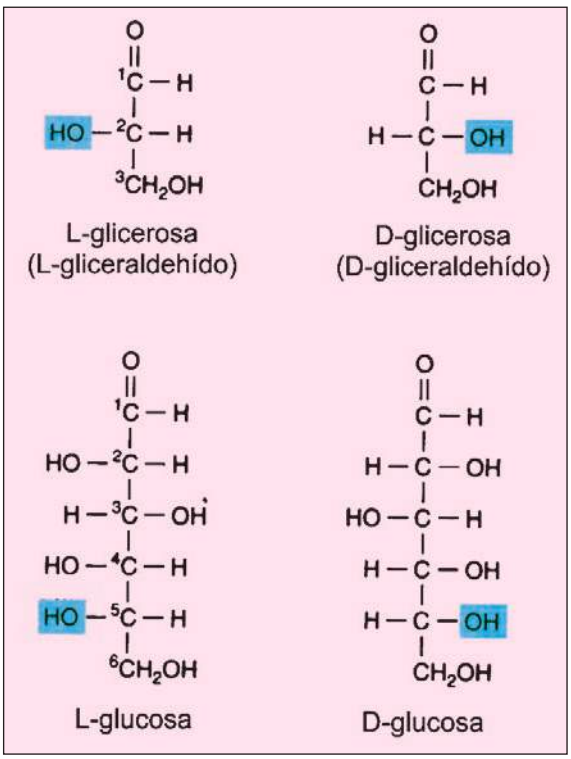


Figura 3.18 *Enantiómeros D y L de la glucosa (abajo). En la parte de arriba están las formas D y L del gliceraldehído para que observes y compares la orientación del grupo –OH del penúltimo carbono (carbono 5 en la glucosa).*

la glucosa. Observa en el **L- gliceraldehído** el grupo hidroxilo (–OH) del penúltimo carbono (en este caso el carbono número dos), se encuentra **hacia la izquierda** y en el **D-gliceraldehído** se localiza **hacia la derecha**. Por lo tanto, se le llama D-glucosa cuando el grupo –OH del penúltimo carbono (en este caso el carbono cinco) está a la derecha y cuando se localiza a la izquierda es el enantiómero L (L-glucosa). La mayor parte de los monosacáridos presentes en los mamíferos son enantiómeros D.

En la D-glucosa, la orientación espacial del OH en el carbono asimétrico más alejado del carbonilo (grupo funcional aldehído) en este caso el 5, es idéntica a la del carbono asimétrico del D-gliceraldehído, por esta razón es la forma D. En cambio, la L-glucosa posee en el carbono asimétrico más alejado del grupo aldehído, el grupo –OH orientado hacia la izquierda. Puedes auxiliarte de la figura 3.9.

Actividad óptica

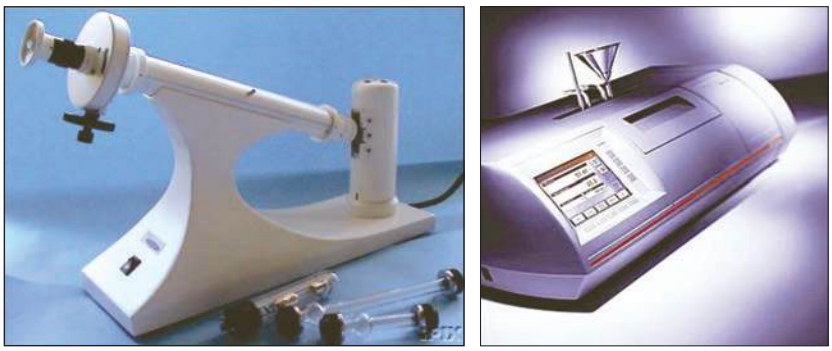


Figura 3.19 *Fotografías de un polarímetro manual (izquierda) y un polarímetro digital (derecha), instrumento para medir la actividad óptica.*

La presencia de átomos de carbono asimétricos confiere **actividad óptica** al compuesto. Al pasar un haz de luz polarizada a través de una solución de un isómero óptico, dicho haz puede rotar hacia la derecha, conocida como forma **dextrorrotatoria (+)**, o girar hacia la izquierda, es decir, la forma **levorrotatoria (-)**. Esto se observa a través de un instrumento llamado **polarímetro**.

Cabe aclarar que la dirección de la rotación es **independiente** de las propiedades estereoquímicas del azúcar, por lo que puede haber D (-), D (+), L (-) y L (+). Por ejemplo, la fructosa presente en la naturaleza, corresponde al isómero D (-), esto indica que tiene el grupo –OH del penúltimo carbono hacia la derecha y gira el haz de luz polarizada hacia la izquierda (levorrotatoria). Cuando la glucosa está en solución es dextrorrotatoria y por esta razón se le conoce como **dextrosa**.

En los inicios del siglo XIX, los azúcares se nombraban según su origen, por ejemplo a la glucosa se le llamaba azúcar de uva o *Traubenzucker*. A la sacarosa se le llamaba azúcar de caña o *Rohrzucker*. El nombre de glucosa nació en 1838. Después, Kekulé en 1866 propuso el nombre de dextrosa puesto que es dextrorrotatoria o dextrógira y a la fructosa le dio el nombre de **levulosa** por ser levógira (levorrotatoria).

Estructuras cíclicas: piranosa y furanosa

Fue en la década de 1920 cuando **Haworth** y su escuela propusieron los nombres de **piranosa** y **furanosa**. Por el hecho de parecerse a la estructura del pirano (un anillo de seis elementos). La

estructura anular de los monosacáridos recibe el nombre de variante piranosa, es decir, que debido a que un ciclo o anillo de 6 átomos, en el que uno de ellos es oxígeno, se parece al núcleo heterocíclico (anillo con átomos diferentes al carbono) del **pirano**. Esta forma de hexosa se llama piranosa, por esta razón a esta estructura cíclica de la glucosa se le conoce como **glucopiranosa**. En cambio, cuando se parecen a la estructura del **furano** (anillo de cinco elementos) es la variante furanosa. En la glucosa, más de 99 % se presenta en la variante de piranosa y solamente el 1 % en forma furanosa, es decir, la **glucofuranosa**.

En la fructosa se forma un puente de oxígeno entre los carbonos 2 (el carbono del grupo funcional cetona) y el carbono 5 (el carbono asimétrico más alejado de el, semejándose así al furano, o sea, es un azúcar furanósido).

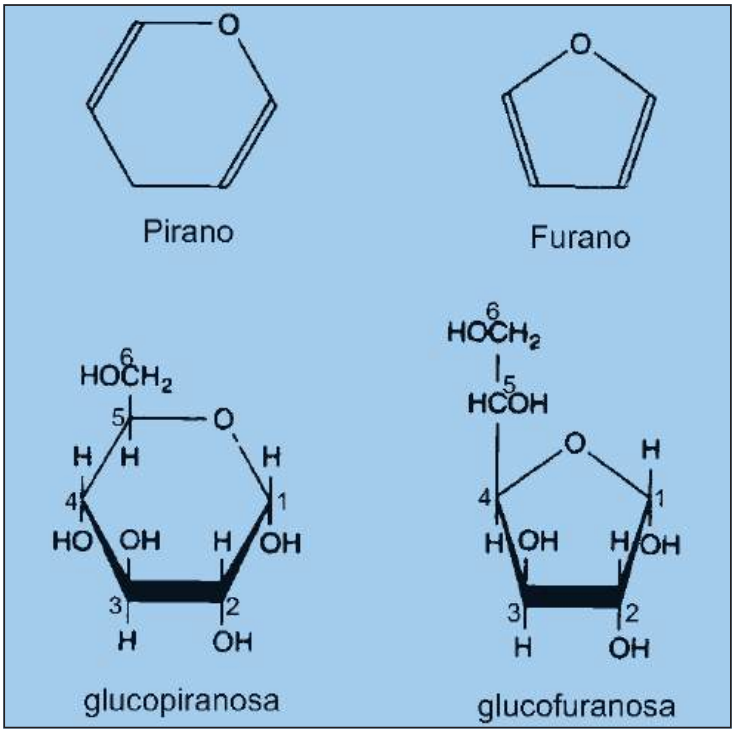


Figura 3.20 *Variantes piranosa y furanosa de la glucosa: glucopiranosa y glucofuranosa. Observa el parecido que tienen con la estructura del pirano (6 átomos en el anillo) y furano (5 átomos en el anillo), respectivamente.*

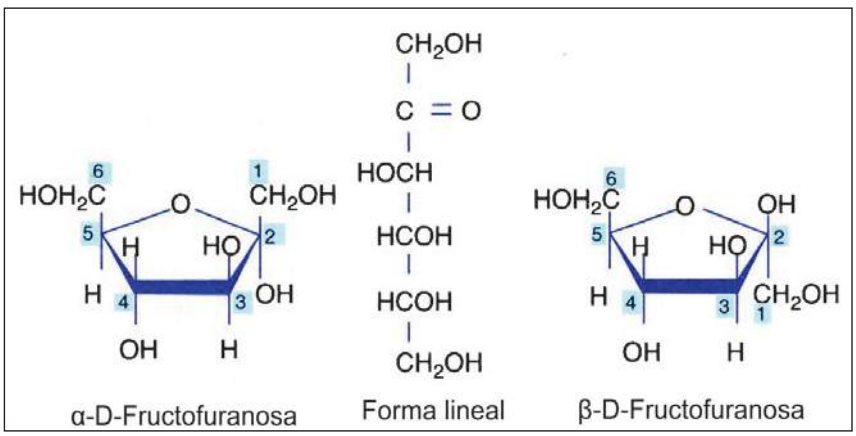


Figura 3.21 *Representación furanosa de la fructosa: alfa-fructofuranosa y beta-fructofuranosa. Al centro, la estructura de Fischer y a los lados la estructura furanosa (fructofuranosa). Observa que en la forma alfa, el OH del carbono número dos está hacia abajo y en la forma beta está hacia arriba.*

Oligosacáridos

Los **oligosacáridos** son carbohidatos que al hidrolizarse producen desde dos hasta diez unidades de monosacáridos, entre los más importantes están los disacáridos.

Los **disacáridos** están formados por dos monosacáridos unidos mediante un enlace glucosídico, por lo que la hidrólisis de un disacárido libera 2 moléculas de monosacáridos. Los disacáridos de importancia fisiológica son la maltosa, la sacarosa y la lactosa.

- La **maltosa (azúcar de malta)** está formada de la unión de dos glucosas. La maltosa no existe libre en la naturaleza, se obtiene mediante hidrólisis parcial del almidón y del glucógeno.

  La maltosa es un azúcar cristalizable, producido tanto en los procesos fisiológicos animales como vegetales, mediante el catabolismo del almidón. Cuando ingerimos plátano, papa, tortillas de maíz o de trigo, etc., el almidón contenido en estos alimentos, se desdobla a maltosa por acción de la enzima amilasa salival en la boca. Este disacárido, posteriormente será desdoblado a dos glucosas en el intestino delgado.

La malta se obtiene de la cebada que ha germinado y ha sido tostada en un proceso que suele denominarse "malteado". La malta suele utilizarse como fuente de azúcares (maltosa) para la fermentación de bebidas, como la cerveza.

En la síntesis de una molécula de maltosa, se libera una molécula de agua al reaccionar el grupo –OH del carbono 1 de una de las glucosas con el H del carbono 4 de la otra glucosa; por lo tanto, el enlace es 1- 4 glucosídico.

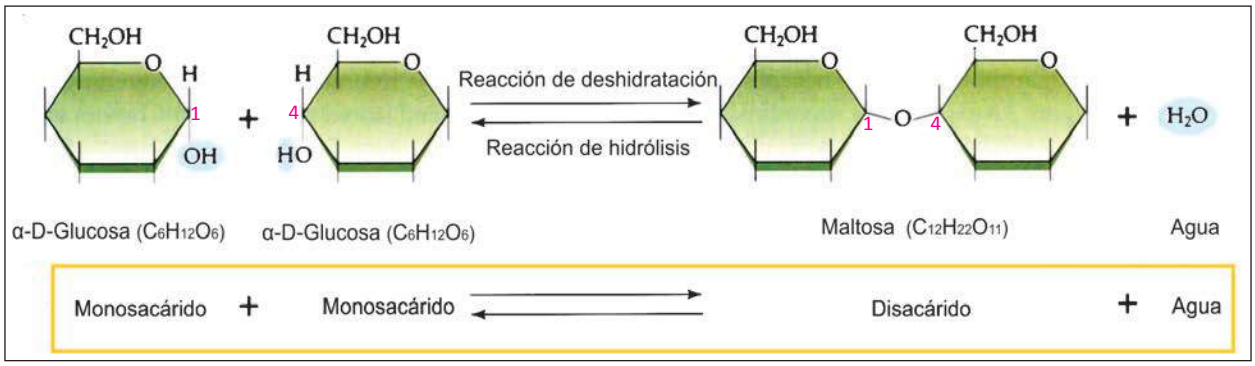


Figura 3.22 *Síntesis y degradación del disacárido maltosa. Dos moléculas de glucosa se unen formándose el disacárido maltosa, mediante un enlace 1-4 glucosídico y liberándose una molécula de agua (deshidratación). La maltosa se descompone en dos moléculas de glucosa, añadiéndole una molécula de agua (hidrólisis).*

Las malteadas originales contienen el disacárido maltosa que sirve para dar la consistencia adecuada a estas bebidas.

- La **lactosa (azúcar de la leche)** está integrada por la unión de una molécula de glucosa y una de galactosa. Es producida en las glándulas mamarias de los mamíferos.

Figura 3.23 *Una auténtica malteada recibe este nombre porque al elaborarla se le añadió maltosa.*

El enlace glucosídico entre la beta-galactosa y la beta glucosa es 1- 4 debido a que se forma mediante una deshidratación, entre el carbono 1 de la beta galactosa y el carbono 4 de la beta-glucosa.

Actualmente, la industria alimentaria produce **leche deslactosada** (sin lactosa) para las personas que carecen de la enzima lactasa, es decir son "intolerantes a la lacosa" y padecen de dolores abdominales, diarreas, etc. Esta enzima es la que rompe el enlace glucosídico entre la galactosa y la glucosa. La leche se somete a un proceso en el cual se transforma la lactosa en galactosa y glucosa que son los dos monosacáridos que la constituyen y de esta forma la leche es de mayor digestibilidad.

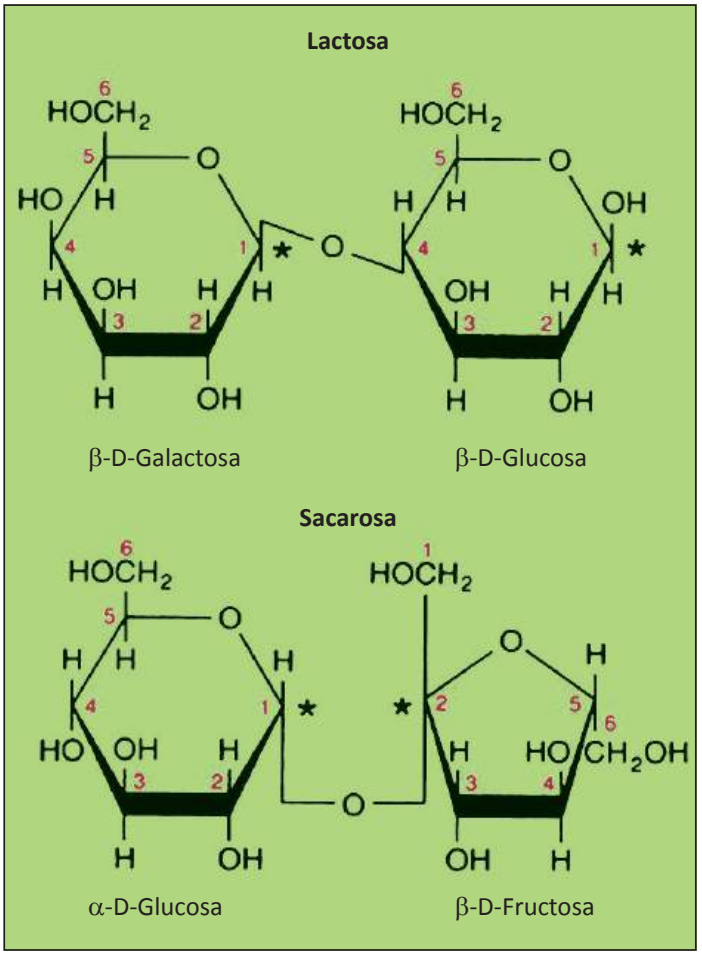


Figura 3.24 *Estructura de los disacáridos lactosa y sacarosa.*

- La **sacarosa (azúcar de mesa)** está constituida de la unión de una glucosa y una fructosa. El enlace glucosídico en este disacárido es 1-2 porque se unen el carbono 1 de la alfa-glucosa con el carbono 2 de la beta-fructosa.

La sacarosa se obtiene de la remolacha azucarera, en los países de clima templado y de la caña azucarera, en los de clima tropical como en nuestro país, a través de la concentración y cristalización de su jugo.

La lactosa, la maltosa y la celobiosa son **azúcares reductores** porque contienen un grupo carbonilo libre. En cambio, la sacarosa es un **azúcar no reductor** ya que no presenta un grupo carbonilo libre.

Polisacáridos

Los **polisacáridos** también son llamados **glicanos** y están formados desde 10 hasta muchos miles de moléculas de monosacáridos y pueden alcanzar pesos moleculares de varios millones. Tienen funciones estructurales y de reserva. Los polisacáridos se diferencian entre sí por el tipo de monosacáridos, lo largo de la cadena, la unión química entre los mismos y el grado de ramificación.

Se dice que son homopolisacáridos cuando el monosacárido que lo forma (que se repite), es el mismo, pero si son dos monosacáridos diferentes los que integran al polisacárido, se le llama heteropolisacárido.

Los homopolisacáridos de glucosa son **almidón**, **glucógeno** y **celulosa**, mientras que el homopolisacárido de fructosa es la **inulina**.

Algunos heteropolisacáridos son el medio de cultivo llamado **agar-agar** que es la sustancia gelatinosa formada por las algas marinas rodofitas y es utilizado como medio de cultivo para bacterias; el **mucílago** es sustancia viscosa o gelatinosa formada por algunas plantas, la **mucina** que es el ingrediente principal del moco y las **gomas vegetales** que son exudaciones de árboles como por ejemplo la goma arábiga o extractos de semillas como la goma de algarroba.

Almidón

Esta biomolécula es un homopolisacárido de la glucosa. Es el carbohidrato más abundante de la dieta cuando se consumen cereales (maíz, trigo, arroz, avena, mijo, centeno, etc.), papas, plátanos, camotes, leguminosas (frijol, chícharo, lentejas, habas, etc.) y otros. Es el segundo polisacárido más abundante.

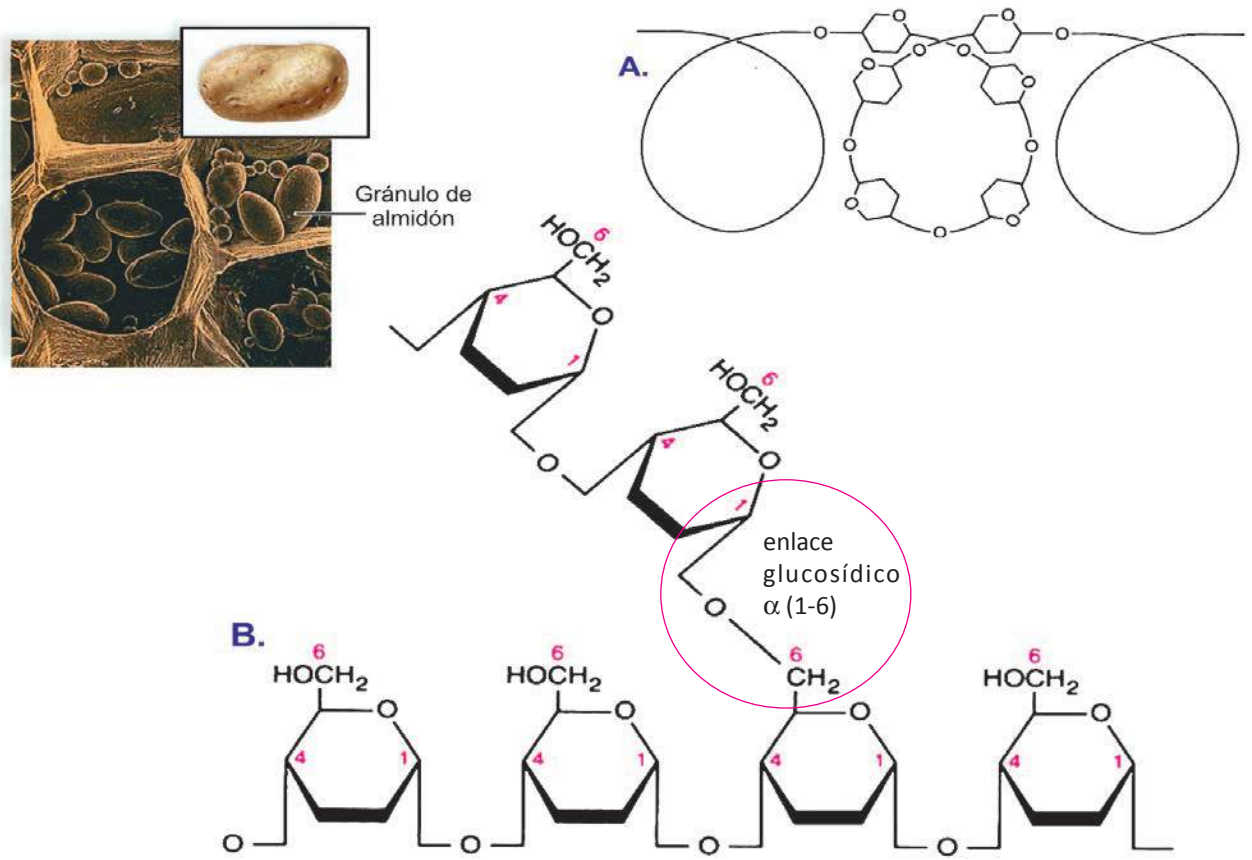


Figura 3.25 *Los dos principales constituyentes del almidón. (A) La amilosa mostrando su estructura helicoidal y (B) la amilopectina que muestra el punto de ramificación alfa 1-6. La micrografía electrónica de la izquierda, muestra la localización de los gránulos de almidón en las células de la papa.*

Al triturar el almidón y tratarlo con agua caliente se divide en dos fracciones principales según su solubilidad: la **amilosa** (soluble) que constituye del 13 a 20 % y la **amilopectina** (insoluble) la cual forma del 80 a 85 %. La amilosa esta formada de alfa(α)-D-glucosas, unidas mediante enlace glucosidico α 1-4, adquiriendo una estructura helicoidal no ramificada. La amilopectina consiste en cadenas de 24 – 30 unidades de alfa-D- glucosa, unidos mediante enlaces **alfa 1-4** con ramificaciones mediante enlaces **alfa 1-6**. El número de unidades de glucosa que se unen mediante enlace alfa 1-4 depende del origen del almidón (cereal, leguminosa, plátano, etc).

La hidrólisis completa de la amilosa origina solo D-glucosa, en cambio, la hidrólisis parcial da lugar a maltosa como único disacárido.

La hidrólisis completa de la amilopectina produce solo D-glucosa. La hidrólisis incompleta origina una mezcla de dos disacáridos, la maltosa y la isomaltosa (esta procede de la ramificación 1-6). Esta mezcla es conocida comúnmente como **dextrina** y es utilizada para fabricar pegamentos y engrudo.

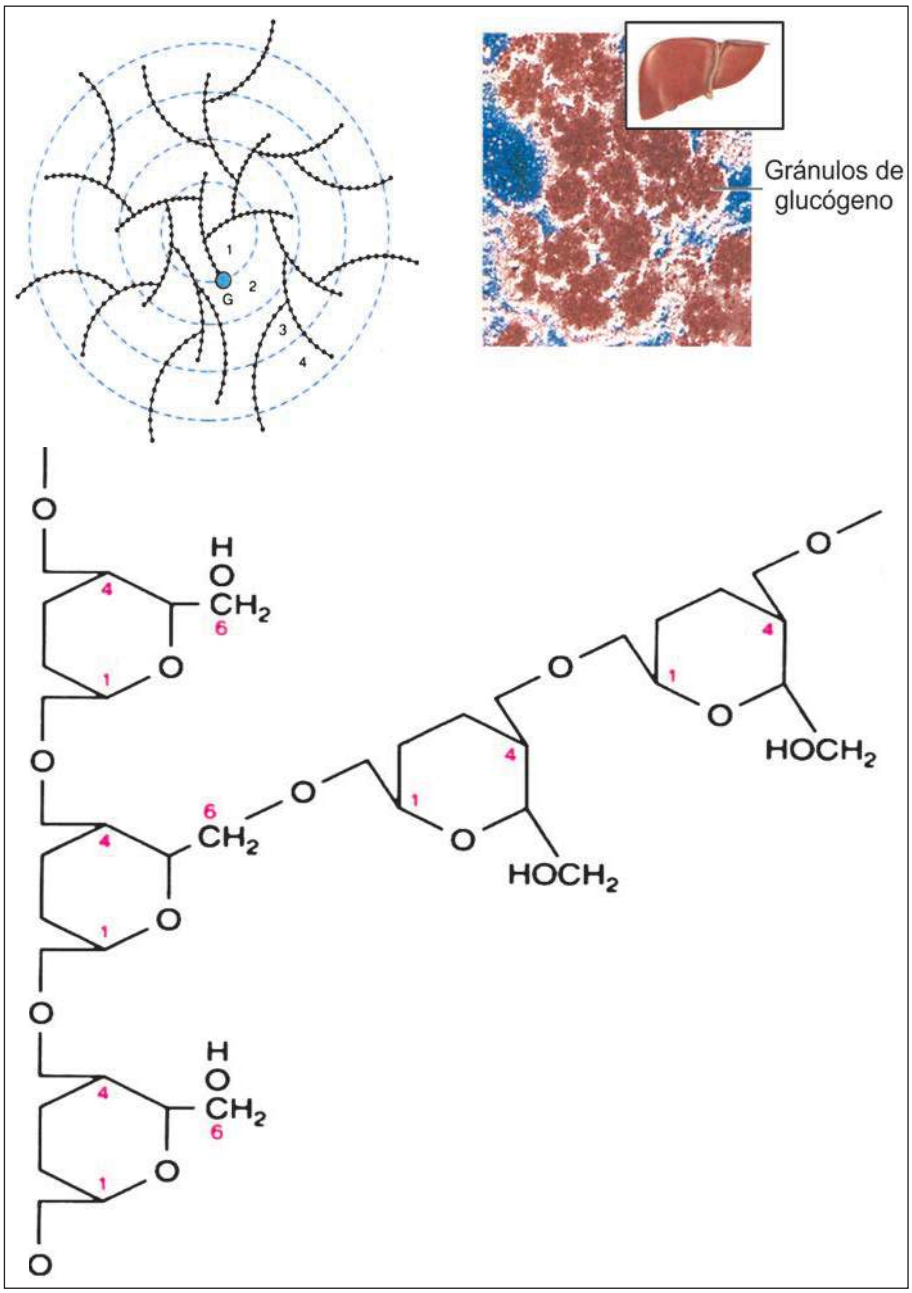


Figura 3.26 *Micrografía electrónica del hígado donde se observan gránulos de glucógeno. Estructura general de la molécula de glucógeno. Abajo, se muestran los enlaces glucosídicos (1-4) y los puntos de ramificación (1-6).*

Glucógeno

Es el polisacárido de almacenamiento en los animales, es conocido como **almi-**

dón animal, su peso molecular oscila alrededor de varias decenas de miles, gana o pierde moléculas de glucosa con gran facilidad y es un material de reserva ideal para conservar el equilibrio adecuado entre la formación y el consumo de la glucosa.

Muchos animales almacenan el azúcar en exceso en esta macromolécula.

La estructura del glucógeno es muy parecida a la de la amilopectina, solo que el glucógeno es más ramificado. Las ramificaciones alfa 1-6 se presentan cada 12 a 14 unidades de alfa-D- glucosa que están unidas mediante enlace glucosídico alfa- 1-4.

La molécula de glucógeno es una esfera de alrededor de 21 nanómetros (nm) de diámetro, la cual puede observarse en las micrografías electrónicas; las cadenas se arreglan en 12 capas concéntricas (en la figura 3.28 se muestran solo 4 capas).

Cuando se ingieren carbohidratos en la alimentación, son digeridos hasta glucosa que son absorbidas por el intestino delgado y la sangre las transporta a las células. El exceso de glucosas son captados por los tejidos (los que pueden captar mayores cantidades son el hígado y el músculo esquelético) en los cuales se almacenan en forma de una macromolécula, el **glucógeno**. Cuando el organismo necesita energía entre comidas o durante una actividad física, este polisacárido es hidrolizado para satisfacer las necesidades en las células. A la degradación del glucógeno para liberar glucosas, se le llama **glucogenólisis**.

Es necesario señalar que la capacidad de síntesis de glucógeno tiene un límite en las células; el hígado, que es el órgano de mayor capacidad en este caso, puede llegar a almacenar no más de un 10% de su peso húmedo en glucógeno. Cuando los carbohidratos exceden en la dieta, los hepatocitos sintetizan ácidos grasos y triglicéridos, es decir, se realiza la **lipogénesis** (síntesis de lípidos). Toda cantidad de alimento que excede los requerimientos del organismo, de acuerdo con el trabajo que éste desempeña, se almacena en el tejido adiposo en forma de grasa. El resultado de ello es la **obesidad**. Esta es la razón por medio de la cual se explica la causa de que una persona engorde si no come grasas, pero si carbohidratos.

En condiciones en las que no exista un aporte importante de glucosa en el organismo y la reserva de glucógeno se ha agotado, con la finalidad de mantener la glucosa sanguínea, el hígado es capaz de sintetizarla a partir de aminoácidos, este proceso es conocido como **gluconeogénesis**.

Celulosa

Es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza. La **celulosa** es el principal constituyente de las paredes celulares de las plantas, a las que confiere gran parte de su fuerza y rigidez. La celulosa es un componente importante de la madera y el papel. Las hojas secas contienen 10-20% de celulosa; la madera el 50% y el algodón el 90%.

En los seres humanos (y el resto de mamíferos) es un material indigerible, pues los jugos gástricos carecen de las enzimas adecuadas para degradarla, es decir, no contienen las enzimas que rompan por medio de hidrólisis los enlaces que unen a las glucosas. Es

Figura 3.27 *La madera, el algodón y las hojas, contienen al polisacárido más abundante en la naturaleza, la celulosa.*

una molécula que forma "bolo" en la dieta y el principal componente en la fibra dietética. Los microorganismos del intestino de rumiantes y otros herbívoros tienen la capacidad de hidrolizar el enlace beta y fermentar los productos en ácidos grasos de cadena corta, una fuente importante de energía. En el intestino grueso humano hay un metabolismo muy limitado de la celulosa.

La celulosa es insoluble y consta de 14,000 unidades de beta-D- glucosa unidas mediante **enlace glucosídico beta 1-4** formando largas cadenas rectas. Estas cadenas se agrupan en haces torcidos, a manera de fibras muy fuertes, ideales para sus función estructural, sujetos por enlaces cruzados de hidrógeno. Se pueden comparar con las fibras del mecate.

Cuando se somete a la celulosa a una hidrólisis parcial, se aísla el disacárido celobiosa, que se puede hidrolizar posteriormente a D-glucosa mediante un catalizador ácido o la enzima emulsina.

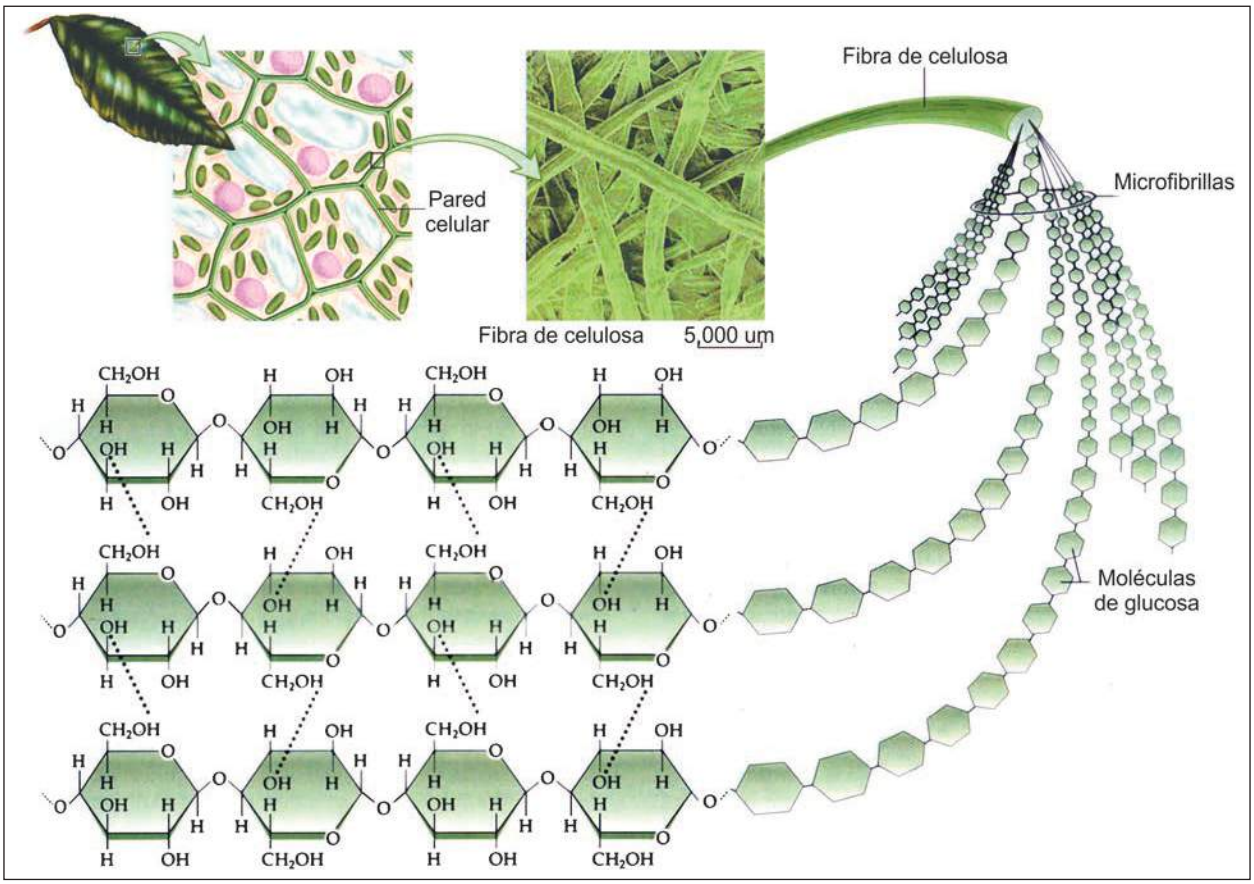


Figura 3.28 *Estructura de la celulosa. Este polisacárido está constituido de cadenas de beta-glucosa las cuales se agrupan en haces, mediante enlaces hidrógeno.*

Inulina

Es un polisacárido de fructosa, producida en mayor concentración en los tubérculos y en las raíces de dalias, alcachofas, trigo, agave, plátano, diente de león y en los bulbos de cebolla y ajo. Es muy soluble en agua. Mejora la textura y estabilidad de una gran variedad de alimentos tales como

los lácteos, productos horneados, cereales, productos cárnicos. Además tiene un efecto prebiótico, es decir, la inulina es alimento para el género *Bifidobacterium* (conocido como bifidus), que forma parte de nuestra flora intestinal normal.

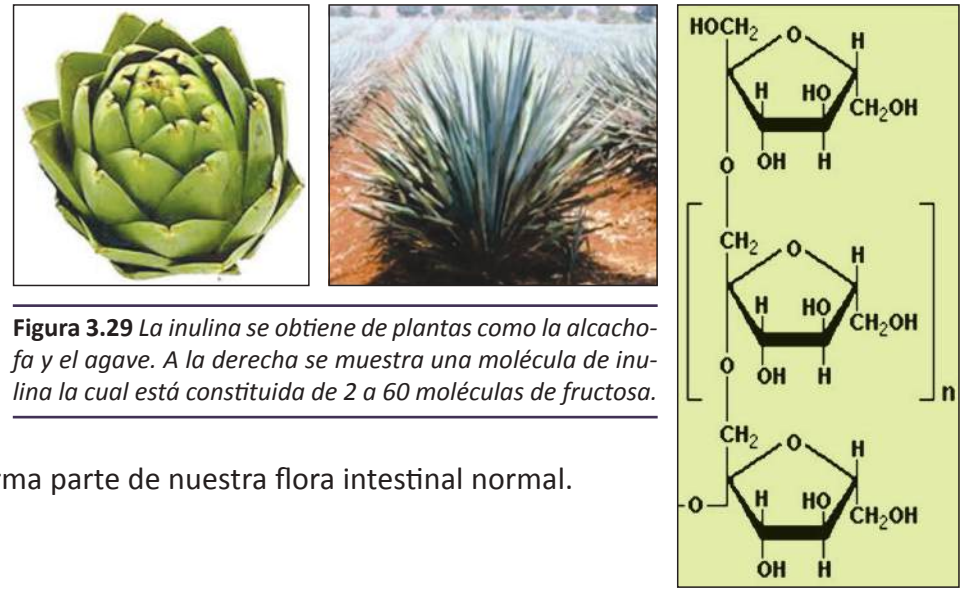


Figura 3.29 *La inulina se obtiene de plantas como la alcachofa y el agave. A la derecha se muestra una molécula de inulina la cual está constituida de 2 a 60 moléculas de fructosa.*

Mucopolisacáridos

Cuando los azúcares que forman al polisacárido contienen nitrógeno, se obtienen los **mucopolisacáridos**. Estas moléculas tienen un papel de gran importancia como revestimiento de las mucosas, o las superficies articulares ya que tienen la propiedad de lubricar. Ejemplos de algunos mucopolisacáridos son la quitina, la heparina y el ácido hialurónico.

La **quitina** es un polisacárido estructural ya que se localiza en el exoesqueleto de algunos artrópodos de la clase crustácea (camarón, langosta) y de la clase insecta, así como también en las paredes celulares de los hongos. Está formada por unidades N-acetil-D-glucosamina unidas mediante enlaces beta 1-4 glucosídicos. La **heparina** impide la coagulación de la sangre.

La sustitución de alguno de los grupos funcionales (aldehído, cetona o alcohol) de un monosacárido por otro grupo funcional, por ejemplo, amino o carboxilo, da lugar a la formación de **azúcares derivados**. Si el grupo funcional alcohol primario reacciona con un ácido, se forman los éste-

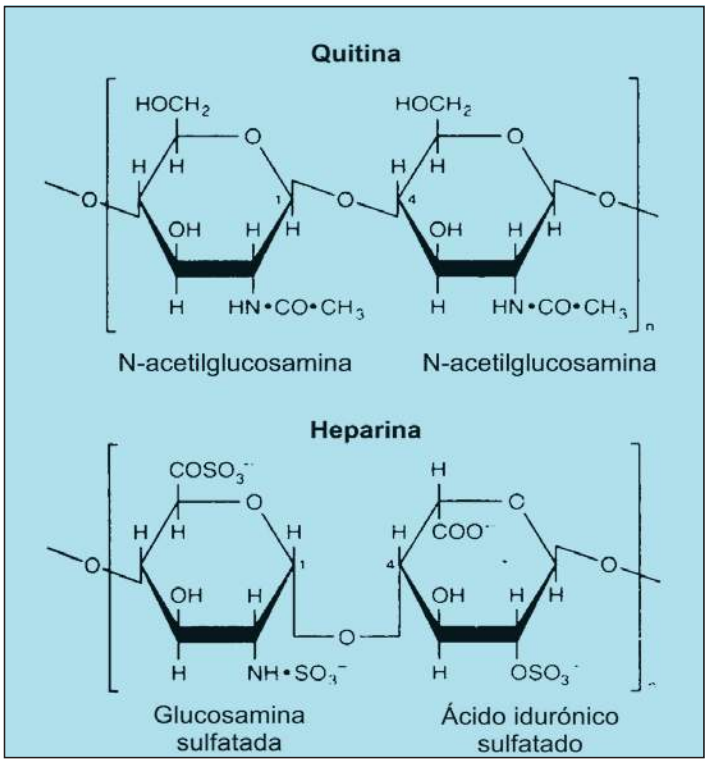


Figura 3.30 *Estructura de una pequeña porción de la quitina y de la heparina, dos mucopolisacáridos.*

res correspondientes. En la bioquímica, los ésteres más importantes son los que se forman con ácido fosfórico, dando como resultado azúcares fosforilados como lo son la glucosa 6-fosfato, la ribosa 5-fosfato, la galactosa 1-fosfato, la fructosa 1,6-difosfato.

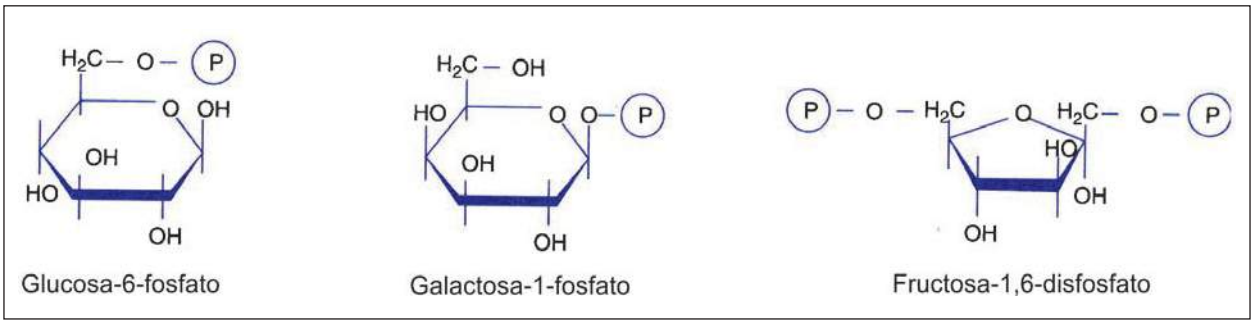


Figura 3.31 *Representación tipo Haworth de monosacáridos fosforilados importantes en los seres vivos. La P representa H_2PO_3.*

Existen azúcares derivados que en numerosos casos se encuentran asociados a la superficie celular y son reconocidos por otros sistemas. Algunas bacterias poseen en su superficie moléculas de este tipo, que son las responsables de su reconocimiento por los sistemas inmunológicos de un organismo, y representan la base de la defensa natural contra este tipo de microorganismos. Este papel de los carbohidratos en el reconocimiento celular está difundido ampliamente en la naturaleza.

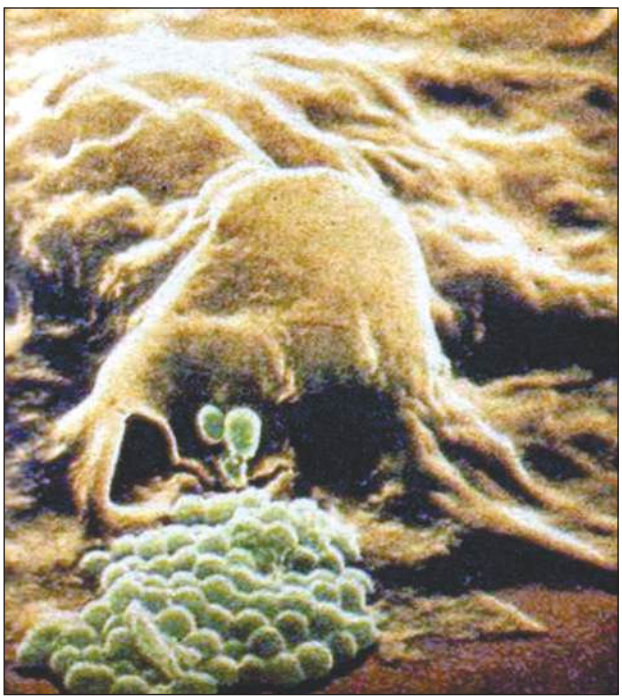


Figura 3.32 *Microfotografía de un leucocito (glóbulo blanco) desplazándose con sus pseudópodos hacia una colonia de bacterias. Debido a los azúcares derivados que se localizan en la superficie de las bacterias, estas son reconocidas por los glóbulos blancos.*

Importancia de los carbohidratos

Un gran número de moléculas contienen carbohidratos, por ejemplo el ATP que es la unidad biológica de energía libre, las coenzimas como el NAD etc. Dos carbohidratos (ribosa y desoxirribosa) forman parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN). Además, desempeñan un papel estructural fundamental en la formación de la pared celular bacteriana, constituyen parte del exoesqueleto de los artrópodos y del esqueleto leñoso de las plantas, de hecho, la celulosa es el principal componente de las paredes celulares de los vegetales y es el compuesto más abundante de la biosfera.

Están unidos a muchas proteínas y lípidos dando lugar a compuestos de gran interés biológico, como por ejemplo la glicofirina que es una proteína de la membrana de los glóbulos rojos. Un ejemplo de la participación de los carbohidratos en funciones biológicas es la fecundación, en donde el espermatozoide se une a un oligosacárido específico de la superficie del óvulo. También los carbohidratos, a través del proceso de reconocimiento, son participantes importantes en el desarrollo y la reparación de los tejidos.

Para comprender la importancia biológica de los carbohidratos en el metabolismo celular, resulta conveniente precisar que constituyen sólo el 0.3% del organismo, en comparación con 70% de agua, 16% de proteínas y 9% de lípidos. Sin embargo, cada 24 horas se ingieren 4.75 veces más (380 gramos) que las proteínas (80 gramos) y 4.22 veces más que los lípidos (90 gramos). La ingestión diaria de carbohidratos (380 gramos) produce 1,520 kcal, cifra equivalente al 57.3% de las calorías producidas por la combustión de las tres moléculas que en conjunto nos proporcionan energía (carbohidratos, lípidos y proteína). A pesar de la gran cantidad de carbohidratos ingeridos, constituyen una pequeña porción del peso corporal, lo que indica que presentan un elevado grado de utilización por el organismo.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿En qué se basa la clasificación de los carbohidratos?

   _____

   _____

2. ¿Explica por qué la celulosa es el carbohidrato más abundante en la naturaleza.

   _____

   _____

3. ¿Cuáles son las tres biomoléculas que nos proporcionan energía?

   _____

4. ¿Qué estructura cíclica de la glucosa es más común, glucofuranosa o glucopiranosa?

   _____

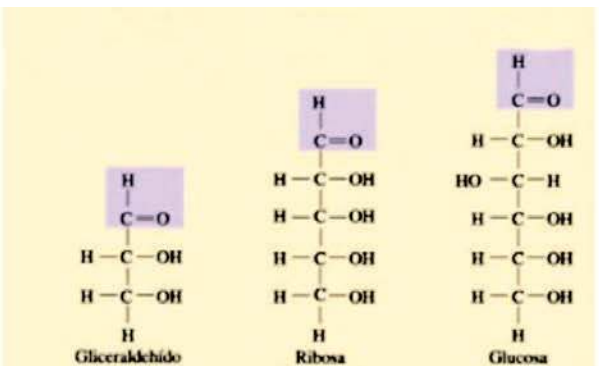
5. Explica cómo se pueden separar dos monosacáridos y cómo se unen.

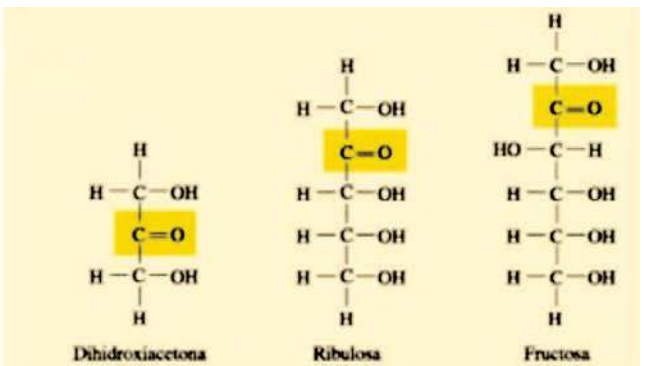
   _____

   _____

   _____

6. A continuación se te presentan la estructura de 6 monosacáridos. Escribe la fórmula molecular a cada uno de ellos y el nombre que se le da, considerando el número se carbonos y el grupo funcional.





Ejemplo:

Gliceraldehído: $C_3H_6O_3$ Aldotriosa

Ribosa:

Glucosa:

Dihidroxicetona:

Ribulosa:

Fructosa:

7. ¿Cómo se llama la reacción mediante la cual se produce la glucosa?

_____

_____

8. ¿Qué significa que un monosacárido sea L (+)?

_____

_____

9. Explica la diferencia que existe entre el almidón, el glucógeno y la celulosa.

_____

_____

_____

10. Menciona la importancia de los carbohidratos.

_____

_____

_____

_____

_____

Indica cuál de las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

1. La mayor parte de los monosacáridos presentes en los mamíferos son enantiómeros D. ( )
2. Cuando en la proyección de Haworth de la glucosa el anillo posee 5 átomos, se llama glucopiranosa. ( )
3. Los disacáridos están formados por dos monosacáridos unidos mediante un enlace peptídico. ( )
4. La estructura de la amilopectina es más ramificada que la del glucógeno. ( )
5. El agar-agar, el mucílago y la mucina son heteropolisacáridos. ( )
6. El almidón es el principal componente de la fibra dietética. ( )
7. Los polisacáridos se diferencian entre sí por el tipo de monosacáridos, lo largo de la cadena, la unión química entre los mismos y el grado de ramificación. ( )
8. La glucosa 6-fosfato es un ejemplo de azúcar fosforilado. ( )
9. En el disacárido lactosa, el enlace glucosídico entre la beta-galactosa y la beta glucosa es 1- 4. ( )
10. Los enlaces glucosídicos de la celulosa son alfa 1-4. ( )

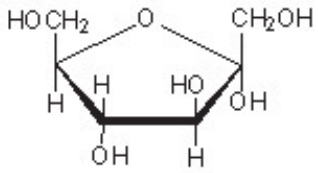
Selecciona la respuesta correcta:

1. Los carbohidratos:

   a) Son las biomoléculas más abundantes de la alimentación
   b) Son la principal fuente de energía de los seres vivos
   c) Forman parte de la estructura de las plantas y algunos animales
   d) Son los compuestos orgánicos más abundantes en los vegetales
   e) Todas las anteriores son correctas

2. La siguiente estructura corresponde al:

   a) Monosacárido glucosa
   b) Monosacárido fructosa
   c) Disacárido sacarosa
   d) Disacárido maltosa
   e) Polisacárido inulina



3. Los desoxiazúcares:

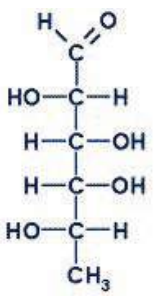
   a) Cumplen con la fórmula CnH_2On
   b) Poseen un átomo de oxígeno más que los azúcares normales
   c) Son polisacáridos de glucosa
   d) No cumplen con la fórmula CnH_2On
   e) Ninguna es correcta

4. Para determinar si se trata del isómero D o L, se utiliza como referencia:

   a) El gliceraldehído b) La dihidroxicetona c) La glucosa
   e) La lactosa d) c y d son correctas

5. El siguiente monosacárido es:

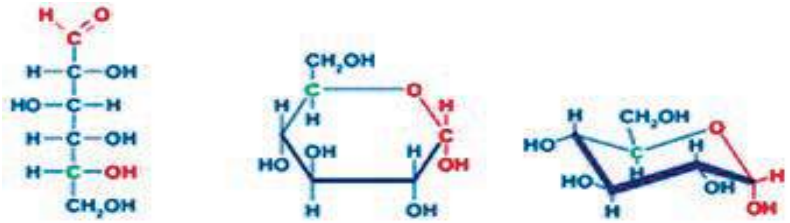
   a) Una cetohexosa
   b) Una cetopentosa
   c) Una aldopentosa
   d) Una cetotetrosa
   e) Una aldohexosa



6. La alfa-glucosa y la beta-glucosa son:

   a) Epímeros b) Isómeros
   c) Anómeros d) Polímeros
   e) Ninguna de las anteriores es correcta

7. Las siguientes variantes para representar un monosacárido, de izquierda a derecha son:



a) Forma de silla, proyección de Haworth, proyección de Fischer
b) Proyección de Haworth, proyección de Fischer, forma de silla
c) Proyección de Haworth, forma de silla, proyección de Fischer
d) Proyección de Fischer, proyección de Haworth, forma de silla
e) Proyección de Fischer, forma de silla, proyección de Haworth

8. El disacárido sacarosa está constituido de:

a) Dos moléculas de glucosa
b) Dos moléculas de galactosa
c) Una molécula de fructosa y una de glucosa
d) Dos moléculas de fructosa
e) Una molécula de galactosa y una de glucosa

9. La fructosa presente en la naturaleza, corresponde al isómero D (-), esto indica:

a) Que tiene el grupo –OH del penúltimo carbono está hacia la izquierda y gira el haz de luz polarizada hacia la derecha (dextrorrotatoria)
b) Que tiene el grupo –OH del segundo carbono hacia la izquierda y gira el haz de luz polarizada hacia la derecha (dextrorrotatoria)
c) Que tiene el grupo –OH del segundo carbono hacia la derecha y gira el haz de luz polarizada hacia la izquierda (levorrotatoria)
d) Que tiene el grupo –OH del penúltimo carbono está hacia la derecha y gira el haz de luz polarizada hacia la izquierda (levorrotatoria)
e) Ninguna es correcta

10. La amilopectina:

a) Consiste en cadenas de 24 – 30 unidades de alfa-D- glucosa, unidos mediante enlaces alfa 1-4 con ramificaciones mediante enlaces alfa 1-6
b) Es la parte soluble del almidón
c) Constituye el 15 % del almidón
d) Tiene estructura helicoidal no ramificada
e) b y c son correctas

En la siguiente sopa de letras, localiza los nombres de cinco carbohidratos y anótalos abajo, explicando su importancia.

A	M	U	C	K	B	A	C	E	V	H	I	L
S	E	K	E	K	E	Z	T	C	J	G	H	A
D	I	J	L	T	I	V	M	K	L	L	I	S
U	Y	E	U	E	B	S	A	U	O	U	P	E
L	I	U	L	Q	R	A	R	E	T	C	I	D
D	E	S	O	X	I	R	R	I	B	O	S	A
I	Ñ	Z	S	Q	B	G	A	T	A	G	O	I
F	L	D	A	B	O	B	C	O	Z	E	V	F
A	R	G	H	U	S	I	P	B	E	G	Ñ	O
S	I	M	T	F	A	L	M	I	D	O	N	R

1. _____

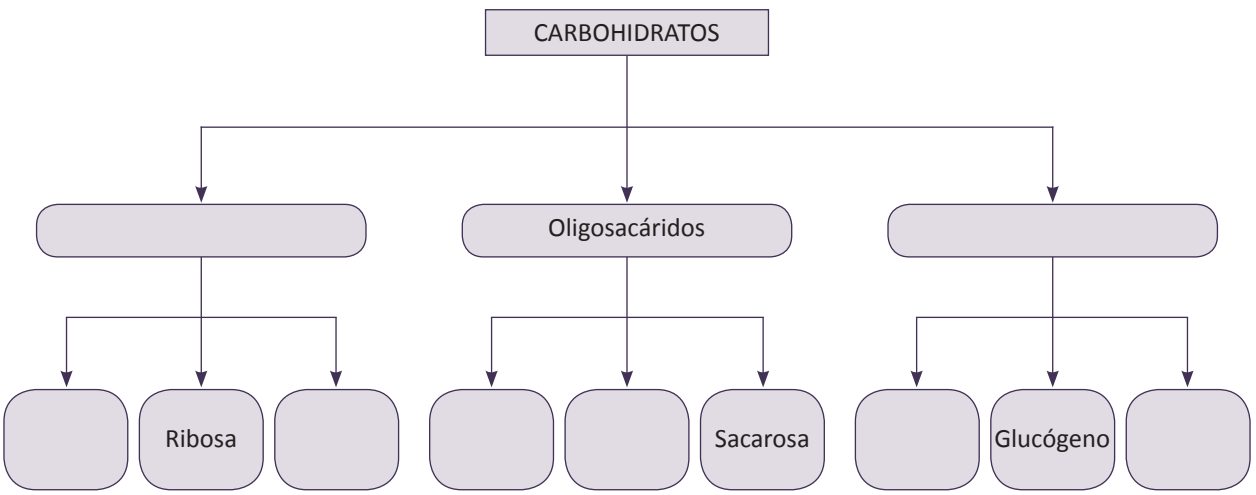
2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

Completa el siguiente mapa conceptual de carbohidratos.



Lípidos

UNIDAD 4

Bioquímica

Introducción

El grupo de biomoléculas más diverso que estructuran a la célula y que realizan una serie de funciones celulares, es el de los **lípidos**. Es tan vasta la biodiversidad de biomoléculas lipídicas que es difícil definirlos de manera sencilla.

Estas biomoléculas orgánicas son un grupo heterogéneo de compuestos celulares, es decir, de origen biológico con diversas propiedades químicas, pero que tienen en común sus propiedades físicas: son insolubles en agua y son solubles en los solventes orgánicos no polares como el éter, benceno, heptano, alcohol etílico (etanol) caliente, acetona y cloroformo.

Los lípidos se almacenan en el cuerpo como material de reserva energética y se oxidan cuando es necesario producir energía.

Los lípidos son moléculas importantes de la dieta no sólo porque tienen un alto valor energético, sino también a las vitaminas que son solubles en grasas (liposolubles) y a los ácidos grasos esenciales contenidos en los triglicéridos de los alimentos naturales.

Algunos lípidos funcionan como aislantes eléctricos ya que permiten la propagación rápida de las ondas de despolarización a lo largo de los nervios mielinizados.

Los lípidos constituyen la mitad de la masa de las membranas celulares y además forman la estructura básica de algunas hormonas y de las sales biliares.

Las lipoproteínas (combinación de lípidos y proteínas) se encuentran en la membrana celular y en organelos intracelulares como por ejemplo, la mitocondria.

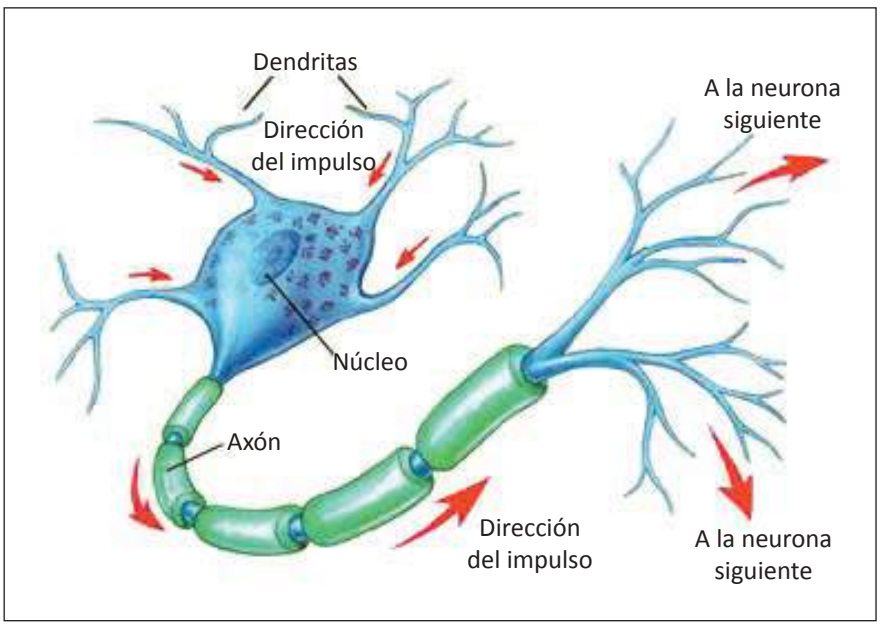


Figura 4.1 *Los lípidos que recubren los axones de las neuronas son muy importantes, ya que permiten la propagación rápida de los impulsos nerviosos.*

Otros lípidos aunque se encuentran en pequeñas cantidades, realizan un papel muy importante, por ejemplo, como acarreadores de electrones, cofactores enzimáticos, pigmentos que absorben luz, agentes emulsificantes, etcétera.

Es necesario conocer la bioquímica de los lípidos para entender muchas áreas biomédicas importantes como la obesidad, la diabetes mellitus, la aterosclerosis y las funciones de varios ácidos grasos poliinsaturados en la nutrición y la salud.

Clasificación de los lípidos

Existen gran número de clasificaciones de lípidos y aún no se acepta una clasificación universal de ellos; nosotros adoptamos la siguiente:

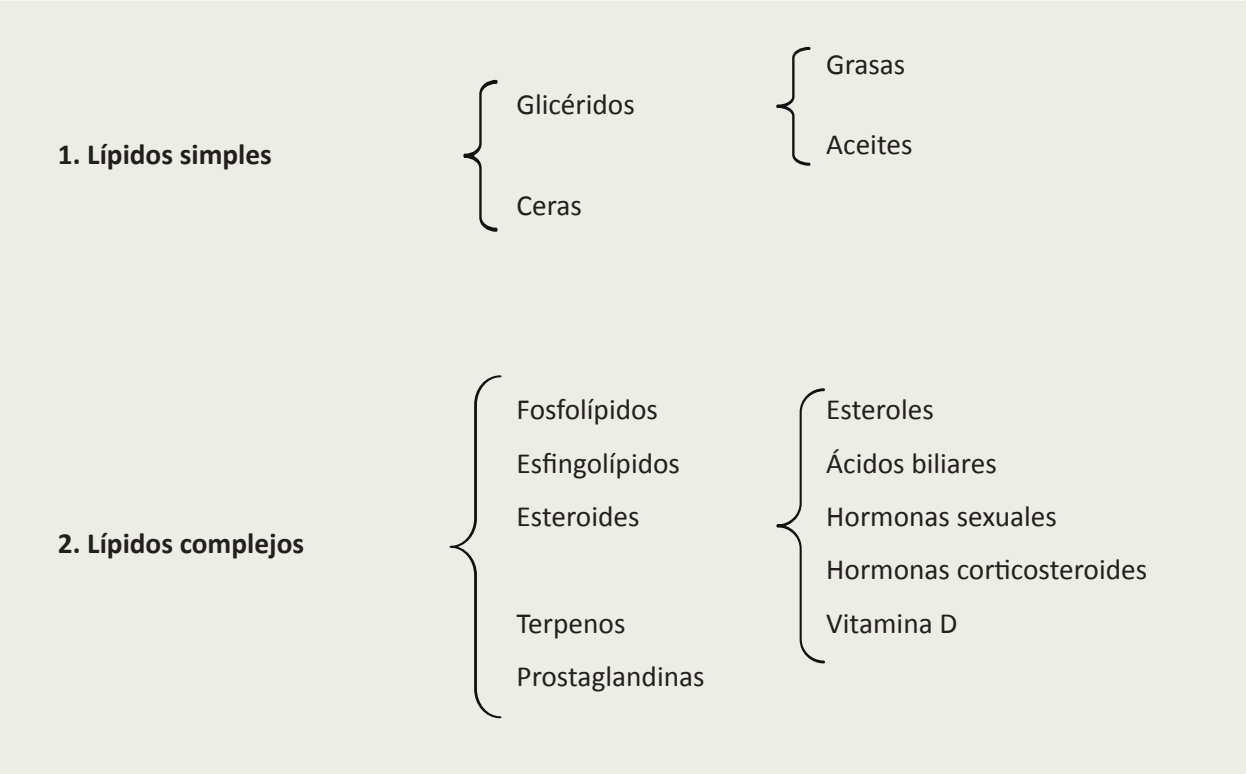


Tabla 4.1 *Clasificación de los lípidos.*

Lípidos simples

Los **lípidos simples** son ésteres de ácidos grasos con diversos alcoholes. Se clasifican en glicéridos (grasas y aceites) y ceras.

Si el alcohol es el glicerol, es decir, el alcohol formado de 3 átomos de carbono y tres grupos hidroxilo, reciben el nombre de **glicéridos** conocidos también como **acilgliceroles**.

Si el alcohol es monohidroxílico (que solo contiene un grupo OH) y además es de cadena larga, se denominan **ceras**. Como los dos tipos de lípidos simples contienen ácidos grasos, estudiaremos su estructura.

Los **ácidos grasos** contienen una cadena hidrocarbonada (contiene carbono e hidrógeno) con un grupo carboxilo al final (en el extremo de la molécula). El carbono de este grupo carboxilo es el carbono número uno.

La cadena hidrocarbonada puede estar **saturada** de átomos de hidrógeno o puede estar **insaturada**, es decir poseer uno o más dobles enlaces, por esta razón los ácidos grasos se clasifican en: ácidos grasos saturados y ácidos grasos insaturados

Los ácidos grasos son ácidos carboxílicos de 4 a 36 átomos de carbono, que reciben el nombre de *grasos* porque forman parte de algunos lípidos (grasas, aceites, ceras, fosfolípidos, esfingolípidos, prostaglandinas).

Los ácidos grasos tienen como fórmula general: **R-COOH**, donde R es una **cadena hidrocarbonada** y –COOH es el **grupo carboxilo** que siempre es el carbono número 1.

Los alimentos pueden contener ácidos grasos con 4 a 24 átomos de carbono. Los ácidos grasos que tienen un número par de átomos de carbono, son desde el punto de vista biológico, los más importantes. Los más abundantes tienen entre 14 y 22 átomos de carbono y predominan los de 16 y de 18.

Se han logrado aislar más de 100 diferentes ácidos grasos a partir de lípidos procedentes de animales, plantas y microorganismos.

En el citosol solo una parte muy pequeña se halla en forma de ácidos grasos libres. En el plasma sanguíneo los ácidos grasos se unen a otros compuestos, como por ejemplo, cada molécula de albúmina es capaz de interactuar con cinco moléculas de ácido graso.

Los **ácidos grasos saturados** son los que tienen todos los carbonos de la cadena hidrocarbonada llenos de hidrógenos.

Los ácidos grasos saturados más importantes se muestran en la tabla 4.2.

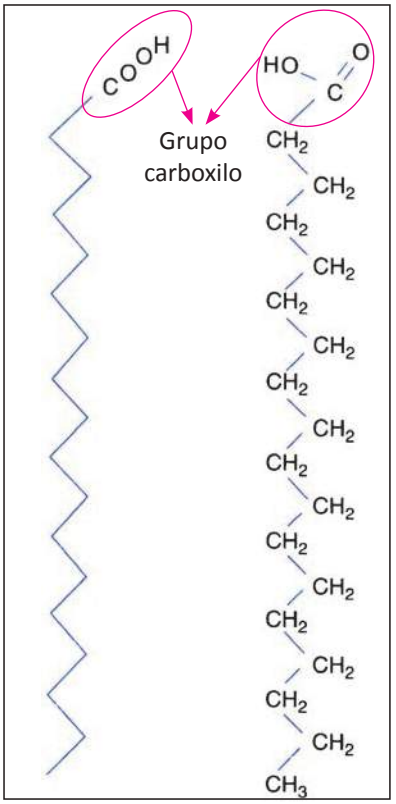


Figura 4.2 *La estructura del ácido graso de la izquierda es más simplificada, en ella se sobreentiende que en cada vértice de la cadena hidrocarbonada, está un grupo –CH_2.*

Ácidos grasos saturados			
Fórmula	*Número de C*	*Nombre común*	*Nombre sistemático*
CH_3COOH	2	Ácido acético	Etanoico
$CH_3(CH_2)_2COOH$	4	Ácido butírico	Butanoico
$CH_3(CH_2)_4COOH$	6	Ácido caproico	Hexanoico
$CH_3(CH_2)_6COOH$	8	Ácido caprílico	Octanoico
$CH_3(CH_2)_8COOH$	10	Ácido cáprico	Decanoico
$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	12	Ácido laurico	Dodecanoico
$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	14	Ácido mirístico	Tetradecanoico
$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	16	Ácido palmítico	Hexadecanoico
$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	18	Ácido esteárico	Octadecanoico
$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	20	Ácido araquídico	Eicosanoico

Tabla 4.2 *Ácidos grasos saturados. El ácido palmítico (16C) y el esteárico (18C), son los más comunes. Las fórmulas están en forma condensada, el subíndice que está afuera del paréntesis indica el número de grupos -CH_2 que posee el ácido graso.*

Cuando la cadena hidrocarbonada del ácido graso presenta un doble enlace entre dos carbonos, significa que no existen suficientes hidrógenos para saturar (llenar) al compuesto, es decir se trata de un **ácido graso insaturado** (no saturado). Existen ácidos grasos como el linolénico que contiene tres dobles enlaces y el araquidónico con cuatro, a estos se les llama ácidos grasos poliinsaturados. Los mamíferos somos capaces de sintetizar ácidos grasos saturados y monoinsaturados, pero no los poliinsaturados, a estos se les conoce como **ácidos grasos esenciales** (indispensables) ya que en los mamíferos en crecimiento, su carencia produce un cuadro de deficiencia. Los ácidos grasos insaturados más importantes son los siguientes:

Nombre	Fórmula
Miristoleico	$CH_3–(CH_2)_3–CH=CH–(CH_2)_7–COOH$
Palmitoleico	$CH_3–(CH_2)_5–CH=CH–(CH_2)_7–COOH$
Oleico	$CH_3–(CH_2)_7–CH=CH–(CH_2)_7–COOH$
Vacénico	$CH_3–(CH_2)_5–CH=CH–(CH_2)_9–COOH$
Linoleico	$CH_3–(CH_2)_4–CH=CH–CH_2–CH=CH–(CH_2)_7–COOH$
Linolénico	$CH_3–CH_2–CH=CH–CH_2–CH=CH–CH_2–CH=CH–(CH_2)_7–COOH$
Araquidónico	$CH_3–(CH_2)_4–CH=CH–CH_2–CH=CH–CH_2–CH=CH–CH_2–CH=CH–(CH_2)_3–COOH$

Tabla 4.3 *Ácidos grasos insaturados. El más común es el ácido oleico. Observa que los cuatro primeros ácidos grasos son monoinsaturados.*

Al igual que con los ácidos grasos saturados, al desarrollar la fórmula de los insaturados, se puede observar que todos presentan un grupo carboxilo en el extremo y la diferencia entre ellos son los dobles enlaces.

Recientemente, se emplean con mucha frecuencia los términos **omega 3** y **omega 6**, para referirse al ácido linolénico y linoleico respectivamente. Estos dos ácidos grasos poseen 18 átomos de carbono, la diferencia entre ellos es la posición de los dobles enlaces. El ácido linolénico presenta 3 dobles enlaces en las posiciones **3**-4, 6-7 y 9-10. El 3 de su nombre es debido a que el primer doble enlace lo presenta entre el carbono 3 y 4, se considera el número más pequeño, que en este caso es el 3. El ácido linoleico presenta 2 dobles enlaces, en las posiciones **6** -7 y 9-10, el primer doble enlace está entre el carbono 6 y 7, para numerarlo se considera el núme-

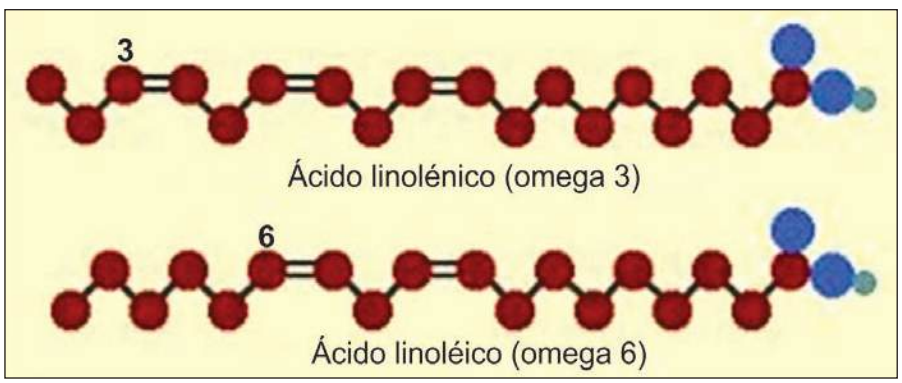


Figura 4.3 *Estructura del ácido linolénico (omega 3) y del ácido linoleico (omega 6).*

ro más pequeño de los carbonos donde está este doble enlace, en este caso es el 6, de ahí su nombre.

Glicéridos

El **glicerol** es la molécula que reacciona con los ácidos grasos para formar los lípidos simples. La molécula de glicerol contiene 3 átomos de carbono y se caracteriza por presentar tres grupos hidroxilo (-OH), estos reaccionan con el grupo carboxilo del ácido graso y se forma el enlace **éster** con desprendimiento de una molécula de agua (deshidratación).

Si el glicerol se une solamente a una molécula de ácido graso, se sintetiza un **monoglicérido** (monoacilglicerol).

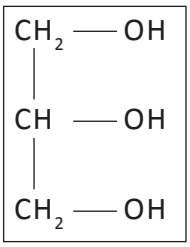


Figura 4.4 *Estructura del glicerol, antes conocido como glicerina.*

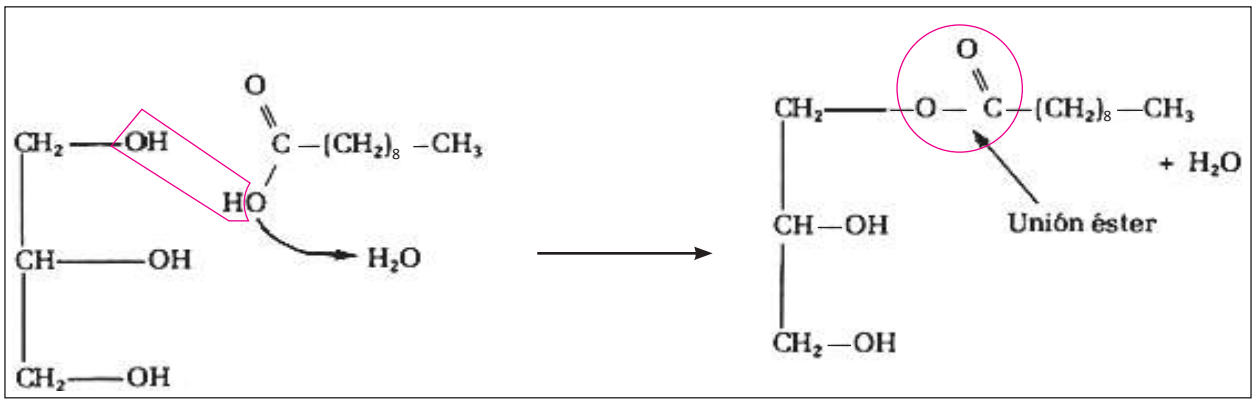


Figura 4.5 *Formación de un monoglicérido. Observa que se presenta una deshidración (sale una molécula de agua) y se forma un enlace éster.*

Para sintetizar un **diglicérido** (diacilglicerol) es necesario que reaccionen dos ácidos grasos con dos grupos OH del glicerol, formándose dos enlaces éster y además se desprenden dos moléculas de agua.

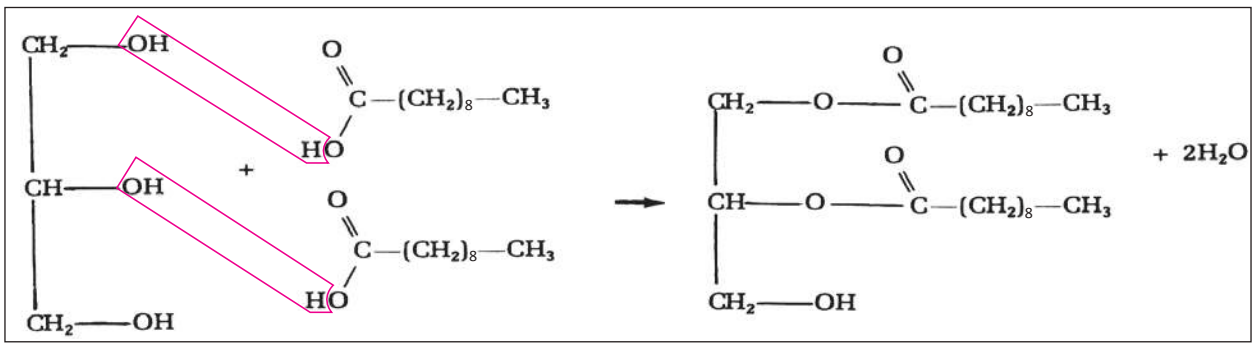


Figura 4.6 *Formación de un diglicérido. Observa los dos enlaces ésteres que se formaron.*

Si se unen tres ácidos grasos se forma un **triglicérido** (triacilglicerol). Observa cómo se forman tres enlaces éster y se desprenden tres moléculas de agua. Asimismo, un triglicérido puede aceptar agua en la unión éster (hidrólisis) y de esta manera, regenerar las tres moléculas de ácidos grasos y la molécula de glicerol.

Las enzimas que catalizan la hidrólisis de un triglicérido en las células se llaman **esterasas** ya que rompen el enlace éster, pero son más conocidas como **lipasas**.

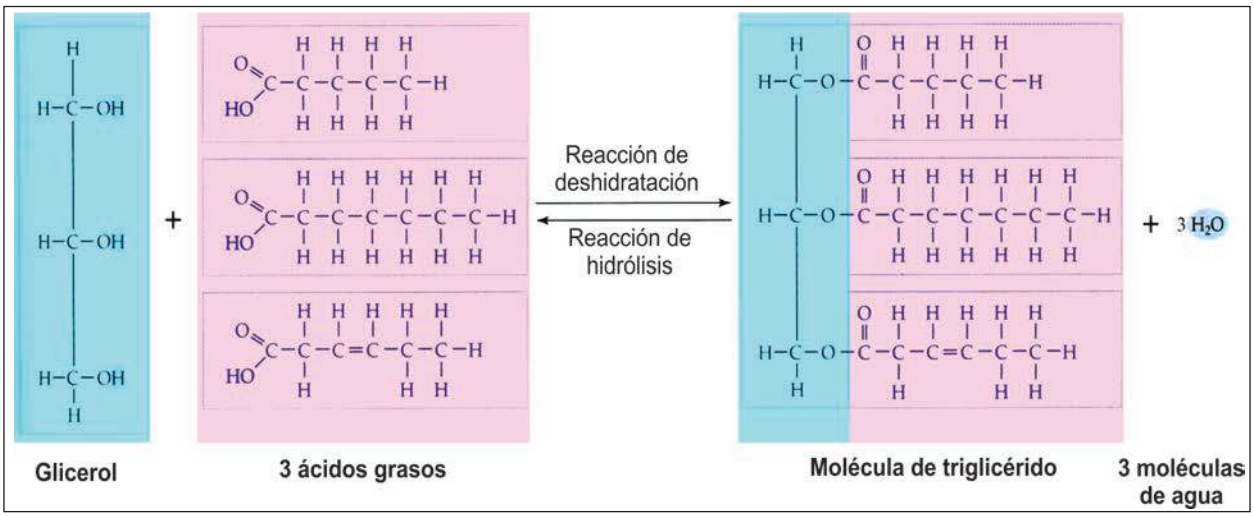


Figura 4.7 *Formación (síntesis) y degradación (catabolismo) de un triglicérido mixto.*

Aunque un triglicérido puede estar integrado por 3 moléculas idénticas de ácidos grasos (además del glicerol, desde luego), en realidad la mayoría está constituida por 3 ácidos grasos diferentes. La mayor parte de los ácidos grasos libres que se encuentran en cualquier organismo, proviene de la hidrólisis de las moléculas de triglicéridos.

Un **triglicérido simple** (holoacilglicerol) es el que tiene los tres ácidos grasos idénticos esterificados al glicerol, mientras que un **triglicérido mixto** es un heteroacilglicerol, ya que posee dos o tres ácidos grasos distintos.

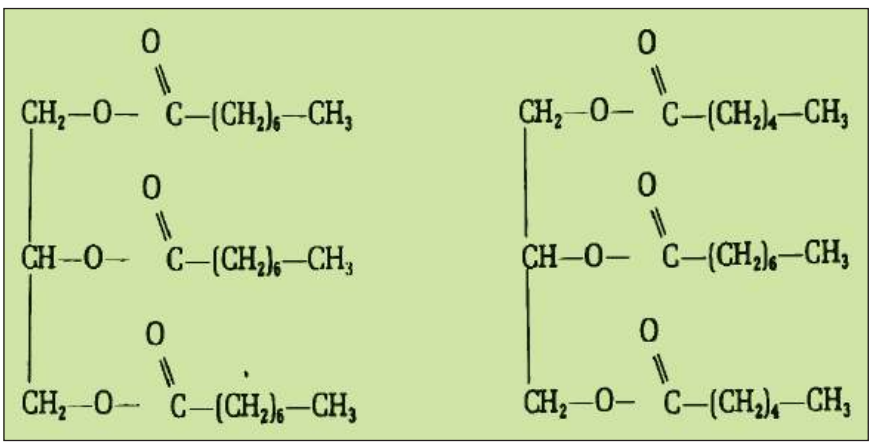


Figura 4.8 *Comparación de un triglicérido simple (izquierda) y un triglicérido mixto (derecha).*

Los triglicéridos constituyen la reserva energética más importante de los mamíferos y son la principal forma de almacenamiento de los ácidos grasos.

Si los ácidos grasos que se esterifican con el glicerol son **saturados**, estos glicéridos son sólidos a la temperatura ambiente y reciben el

nombre de **grasas**, como sucede con las mantecas y las margarinas. Algunas grasas contienen ácidos grasos saturados pero de cadena corta y son menos duras, como es el caso de la mantequilla pura.

Las principales grasas de origen animal que consumimos son la manteca de cerdo, el cebo de res y de borrego.

A los triglicéridos se les conoce con el nombre de **grasas neutras** por no presentar carga y constituyen la manera más eficiente para almacenar energía, es decir son lípidos de almacenamiento. Algunos organismos pueden almacenarlas en cantidades enormes (más de cuatro veces su peso en tejido adiposo).

Una dieta alimenticia normal contiene, por día alrededor de 60 gramos de lípidos, lo que constituye cerca del 30% de las calorías dietéticas totales necesarias.

Si los ácidos grasos son **insaturados**, estos triglicéridos tienen la propiedad de ser líquidos a temperatura ambiente y reciben el nombre de **aceites**. Entre los principales aceites se encuentran los de semillas de maíz, algodón, cártamo, cacahuate, linaza, soya, almendras, nueces, de pescado como el de salmón, bacalao, en el coco, aguacate, etc.

Figura 4.9 *Los triglicéridos que se almacenan en el organismo y son la causa de la obesidad, poseen ácidos grasos saturados. Los aceites de maíz, canola, girasol y otros son triglicéridos que poseen ácidos grasos insaturados.*

En las industrias alimenticias, convierten los aceites (líquidos) en mantecas (sólidas) mediante una **hidrogenación**. Un ejemplo muy conocido es la manteca vegetal hidrogenada, muy utilizada para elaborar tortillas de harina de trigo, pan, empanadas, etcétera.

Las **mantequillas** son la grasa de la leche (nata), es decir, son de origen animal, mientras que las **margarinas** son de origen vegetal porque eran aceites que fueron adicionados de hidrógeno con la finalidad de que sus ácidos grasos estén saturados, es decir, que ya no posean dobles enlaces y de esta manera sean sólidas.

Figura 4.10 *La hidrogenación de aceites vegetales proporciona la elaboración de mantequilla de maní, la manteca vegetal hidrogenada, el sustituto de crema que es una mezcla de aceites vegetales y la margarina.*

Figura 4.11 *Las mantequillas, aunque tengan muy parecido el aspecto a las margarinas, tienen diferente origen. Las margarinas son de origen vegetal, eran aceites que fueron hidrogenados, mientras que las mantequillas son de origen animal (grasa de la leche).*

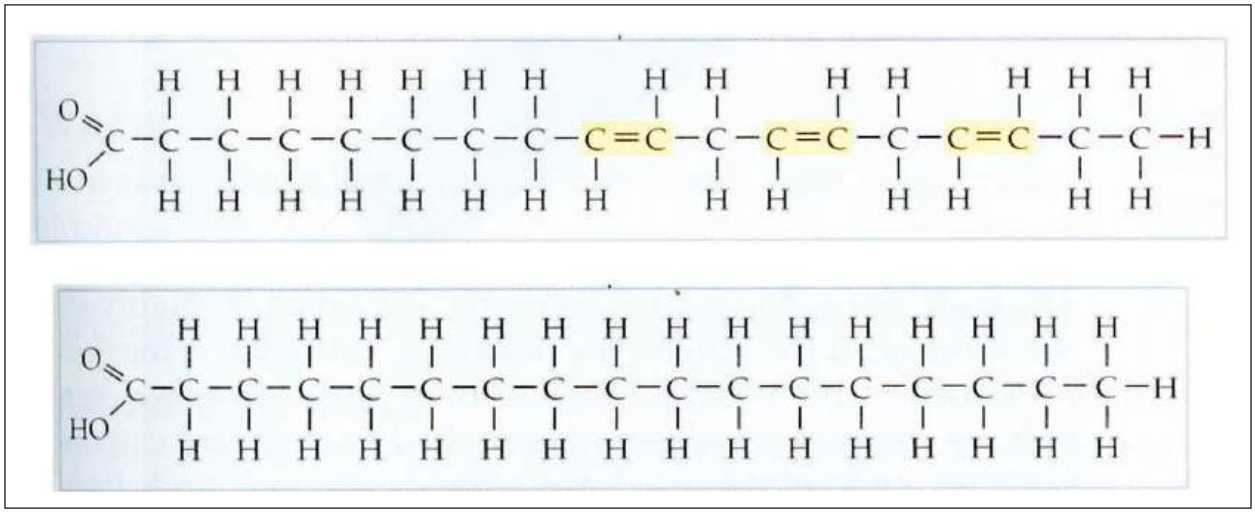


Figura 4.12 *Comparación de los ácidos grasos de los aceites (arriba) y las grasas (abajo), ¿que diferencia observas entre ellas?*

Las grasas y los aceites son prácticamente de manera universal almacenamiento energético en los diferentes seres vivos.

En la mayoría de las células eucariotas, los triglicéridos forman una serie de gotas microscópicas en el citosol acuoso que sirven como depósitos de energía metabólica. Las células especializadas de los animales vertebrados conocidas como adipocitos pueden almacenar grandes cantidades de estos triglicéridos, llenando todo el citoplasma de las células. El contenido calórico de los triglicéridos es muy alto, corresponde a 9 kcal/g y su almacenamiento no requiere agua. Comparativamente el valor para proteínas y carbohidratos es de 4 kcal/g. Además, cada gramo de proteína o carbohidrato almacenado es acompañado por 2-4 gramos de agua.

Los lípidos de las membranas celulares, que deben estar líquidos a todas las temperaturas ambientales, son más insaturados que los lípidos de almacenamiento. En los organismos superiores, las grasas que se acumulan en algunos sitios, bajo la piel principalmente, sirven como aislantes contra los traumatismos y cambios de temperatura. Los lípidos en los tejidos objeto de enfriamiento, por ejemplo en los hibernantes o en las extremidades de los animales, están muy insaturados, de esta manera se protegen de la congelación.

La grasa se almacena como reserva energética en el tejido adiposo en donde además tiene la función de servir como un aislante térmico en los tejidos subcutáneos y alrededor de ciertos órganos, principalmente en los mamíferos marinos (focas).

A mayor longitud de los glicéridos es más alto el punto de fusión.

Recuerda que los triglicéridos pueden ser hidrolizados, rompiéndose los enlaces éster, para separar el glicerol de los ácidos grasos, pero cuando las uniones éster se rompen en un medio alcalino, se efectúa la sustitución del átomo de hidrógeno del grupo carboxilo por metal, formándose las sales metálicas de los ácidos grasos; este proceso se llama **hidrólisis alcalina** o **saponificación**. El metal puede ser sodio o potasio, según el reactivo alcalino que se utilice: el hidróxido de sodio o el hidróxido de potasio, por lo tanto los lípidos saponificables son los que forman jabones.

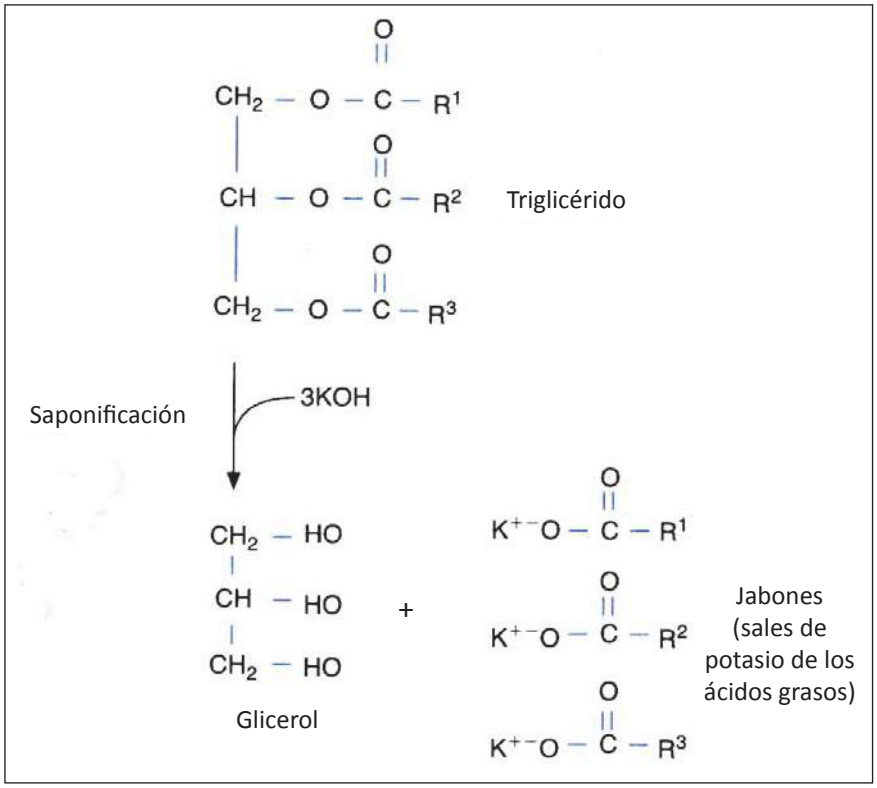


Figura 4.13 *Reacción de saponificación. Los jabones son fabricados cuando se somete a hidrólisis alcalina (con KOH o NaOH) a los triglicéridos.*

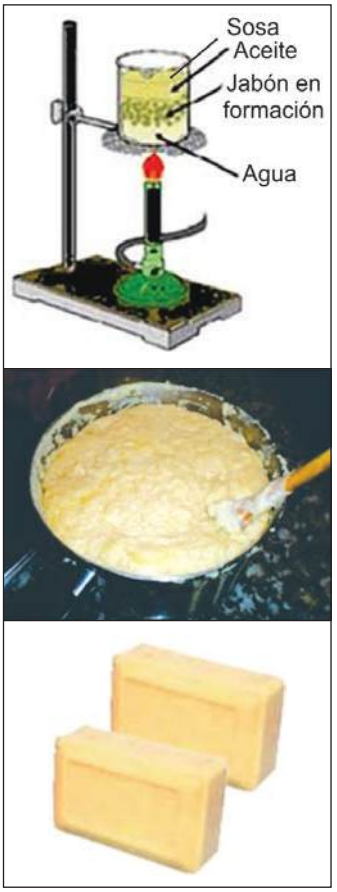


Figura 4.14 *Dibujo que nos muestra una forma fácil de elaborar jabón. Las materias primas son la sosa (hidróxido de sodio o de potasio), el aceite o la grasa (triacilgliceroles) y el agua. Todos estos reactivos se someten a temperatura.*

La "R" significa el radical alquilo (cadena hidrocarbonada) del ácido graso. Los jabones tienen la propiedad de **detergencia** debido a que tienen una parte hidrofílica (afinidad por el agua) y otra porción hidrofóbica (repulsión hacia el agua). La fase hidrofóbica está constituida por cadenas de ácidos grasos y queda inmersa dentro de las partículas de grasa; por el contrario, la parte hidrofílica la representa el extremo carboxílico el cual permanece en la fase acuosa por tener gran afinidad por el agua. Este fenómeno de detergencia permite limpiar la grasa o cochambre que se encuentra en cualquier objeto. Las cantidades aproximadas que se utilizan para elaborar jabones son: 6 litros de aceite, 5.5 litros de agua y un kilogramo de hidróxido de sodio (sosa).

Ceras

Las **ceras** son al igual que los glicéridos, ésteres de ácidos grasos con un alcohol distinto al glicerol. Este alcohol es de cadena larga y solo posee un grupo -OH. Uno de los constituyentes de la cera de abeja, el palmitato de miricilo se forma al llevarse a cabo la esterificación del alcohol miricílico (alcohol de 30 átomos de carbono que posee solamente un grupo -OH) con el ácido palmítico (ácido graso de 16 átomos de carbono), liberándose una molécula de agua.

Figura 4.15 *Uno de los constituyentes de la cera de abeja, el palmitato de miricilo.*

$CH_3 - (CH_2)_{28} - CH_2 - OH + HOOC - (CH_2)_{14} - CH_3$

Alcohol miricílico Ácido palmítico

Esterificación

$CH_3 - (CH_2)_{28} - CH_2 - O - C - (CH_2)_{14} - CH_3$

Palmitato de miricilo (cera de abeja)

Las ceras son altamente insolubles en medios acuosos y a temperatura ambiente se presentan sólidas y duras. En los animales se encuentran en la superficie de plumas y piel. En los vegetales recubren frutos, hojas y tallos para evitar la pérdida de agua por evaporación.

La cera de abeja es el material que las abejas utilizan para construir sus nidos (alvéolos hexagonales de sus panales).

La producen las abejas melíferas jóvenes que la segregan como líquido a través de sus glándulas cereras. Al contacto con el aire, la cera se endurece y forma pequeñas escamillas. Aproximadamente un millón de estas escamillas es un kilogramo de cera.

Figura 4.16 *Las ceras recubren los frutos como en estas uvas para evitar su deshidratación.*

La cera tiene diversos usos tales como la elaboración de velas, impermeabilizante de madera y cuero, en el refuerzo de hilos, como ingrediente de ungüentos, cera para calzado, cosméticos, componentes electrónicos, discos compactos, etc. La industria cosmética y farmacéutica son los principales consumidores de cera de abeja.

La principal cera de origen animal se obtiene de la abeja, le sigue la lanolina que se obtiene a partir de la lana de carnero.

Las ceras tienen una distribución amplia en los organismos marinos tales como los tiburones, bacalao, calamares y camarones. En la actualidad se sabe que estos organismos almacenan ceras por ser altamente energéticos. También existen ceras que son elaboradas por los microorganismos del fitoplancton, productores primarios de las cadenas alimenticias del medio marino.

Lípidos complejos

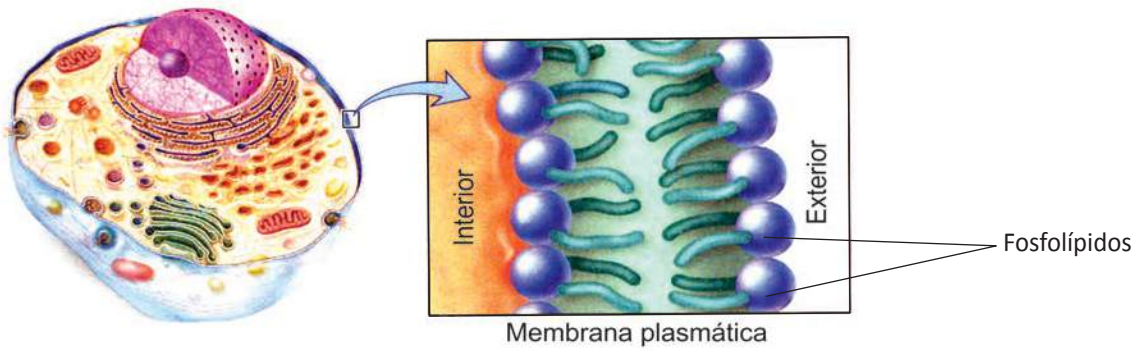
Los **lípidos complejos** son aquellos que además de ácidos grasos y alcohol poseen otros grupos adicionales. También son considerados lípidos complejos todos aquellos que tienen estructuras muy diferentes a la de los lípidos simples.

Los lípidos complejos se clasifican en:

- Fosfolípidos
- Esfingolípidos
- Esteroides
- Terpenos
- Prostaglandinas

Fosfolípidos

Los **fosfolípidos** o **fosfoglicéridos** tienen cierto parecido estructural con los triglicéridos ya que están constituidos por una molécula de glicerol a la que se le esterifican dos moléculas de ácidos grasos, pero en lugar del tercer ácido graso, tiene esterificado una molécula de ácido fosfórico, mediante un enlace éster fosfórica.



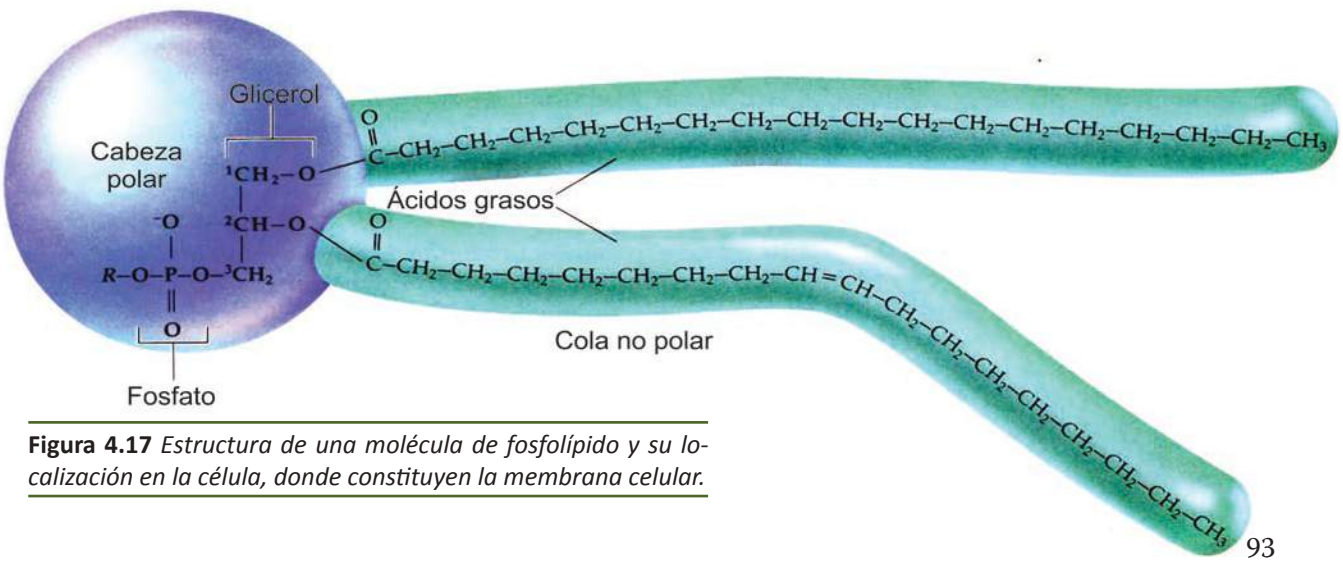


Figura 4.17 *Estructura de una molécula de fosfolípido y su localización en la célula, donde constituyen la membrana celular.*

Los fosfolípidos son los principales constituyentes lipídicos de las membranas celulares. Se encuentran casi exclusivamente en ellas; sólo una pequeña parte se encuentra en los depósitos de grasa. Estos lípidos son moléculas **anfipáticas**, es decir, tienen un extremo polar y otro no polar. En un fosfolípido se distinguen dos partes: cabeza y cola. La cabeza que es polar y por consiguiente es **hidrofílica**, es decir, tiene afinidad por el agua que también es una molecula polar. La cola es no polar y por lo tanto es **hidrofóbica**, es decir, repele al agua porque el agua es polar.

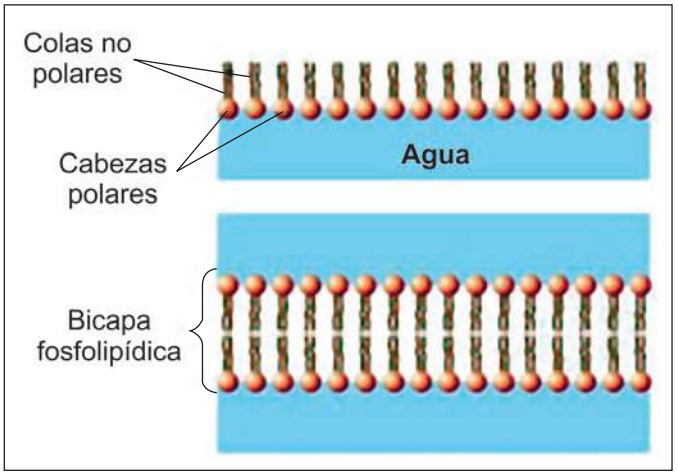


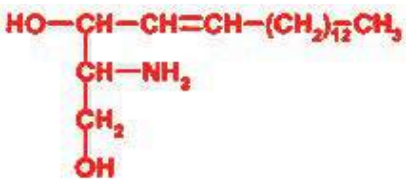
Figura 4.18 *Los fosfolípidos en presencia de agua se asocian formando bicapas. Las colas no polares son hidrofóbicas, mientras que las cabezas son hidrofílicas.*

Los fosfolípidos en presencia de agua se asocian formando bicapas. Estas dos capas de fosfolípidos constituyen la base sobre la cual se organiza la complicada estructura de las membranas celulares.

La lecitina es un un fosfolípido de suma importancia ya que es un constituyente abundante de las membranas celulares.

Esfingolípidos

Los **esfingolípidos** reciben este nombre debido a que contienen en su estructura una molécula de aminoalcohol de cadena larga llamada **esfingosina**, cuya estructura es la siguiente:



Los esfingolípidos se presentan en grandes cantidades en el encéfalo y en el tejido nervioso. Al hidrolizarse producen un ácido graso, ácido fosfórico, colina y la esfingosina. No poseen glicerol. La combinación de la esfingosina con un ácido graso recibe el nombre de **ceramida**.

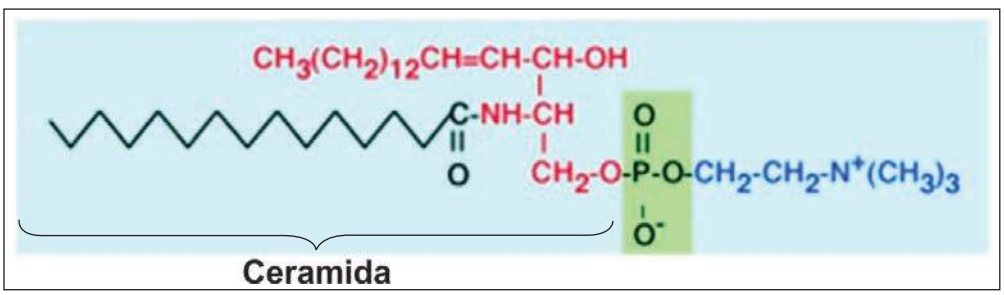


Figura 4.19 *Estructura de un esfingolípido: el ácido graso de negro, la esfingosina de rojo, el ácido fosfórico de verde y la colina de azul.*

Esteroides

Estos lípidos no presentan ninguna relación con los triglicéridos, fosfolípidos, ni esfingolípidos. Todos los esteroides poseen una misma estructura general de 17 átomos de carbono dispuestos en tres anillos de 6 carbonos unidos a uno de 5 carbonos. Este es el núcleo del esteroide y se denomina ciclopentanoperhidrofenantreno.

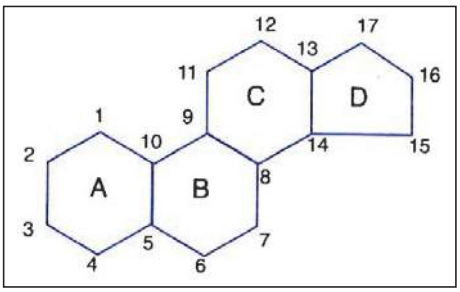


Figura 4.20 *Estructura del ciclopentanoperhidrofenantreno, el núcleo de un esteroide.*

Entre los esteroides más importantes destacan los siguientes: esteroles, ácidos biliares, hormonas sexuales femeninas y masculinas, hormonas corticosteroides, vitamina D

Esteroles

El **colesterol** es el más conocido de los esteroles. Además, es el más distribuido y abundante en los tejidos animales. En el ser humano forma cerca del 0.25% del peso corporal. El colesterol tiene, además del núcleo del esteroide, una cadena lateral de 8 átomos de carbono, dos grupos metilo, un doble enlace y un grupo hidroxilo. Es una sustancia blanca, cristalina, insoluble en agua y su punto de fusión es de 150 °C.

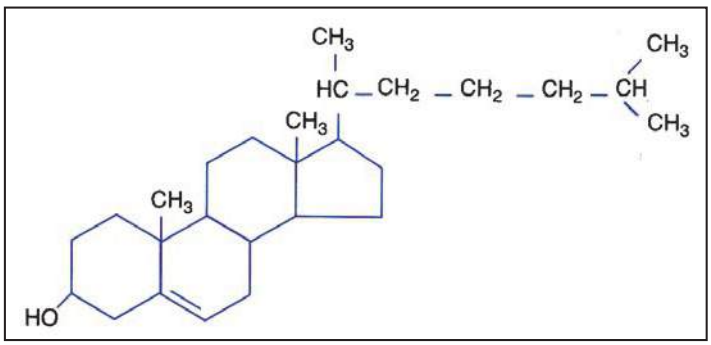


Figura 4.21 *Estructura de la molécula de colesterol.*

El colesterol es un componente estructural de las membranas celulares animales, pero cuando se encuentra elevado en la sangre, se deposita en forma de placas en las paredes internas de las arterias, bloqueándolas y puede llegar a causar enfermedades cardiovasculares tales como el infarto del miocardio. Una yema de huevo proporciona más de la mitad de nuestra ingesta diaria recomendable de colesterol.

Cabe aclarar que existen los términos "colesterol malo" y "colesterol bueno".

El "colesterol malo" es una lipoproteína de baja densidad (LDL= low density lipoprotein) que transporta al colesterol para introducirlo a las células.

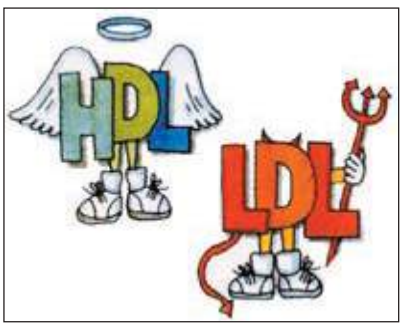


Figura 4.22 *Los términos "colesterol malo" y "colesterol bueno" no se refieren al colesterol, sino a las lipoproteínas que lo transportan: LDL y HDL respectivamente.*

El “colesterol bueno” es una lipoproteína de alta densidad (HDL= high density lipoprotein) que saca al colesterol de la célula y lo transporta al hígado para ser catabolizado.

El ejercicio regular disminuye a las LDL y aumenta a las HDL.

Las plantas no poseen colesterol, pero si poseen una gran variedad de esteroles estrechamente emparentados con el, los **fitosteroles**. Los fitosteroles más conocidos son el estigmasterol del aceite de soya y el beta-sitosterol del germen de trigo. El ergosterol es el fitosterol de las levaduras (hongos unicelulares).

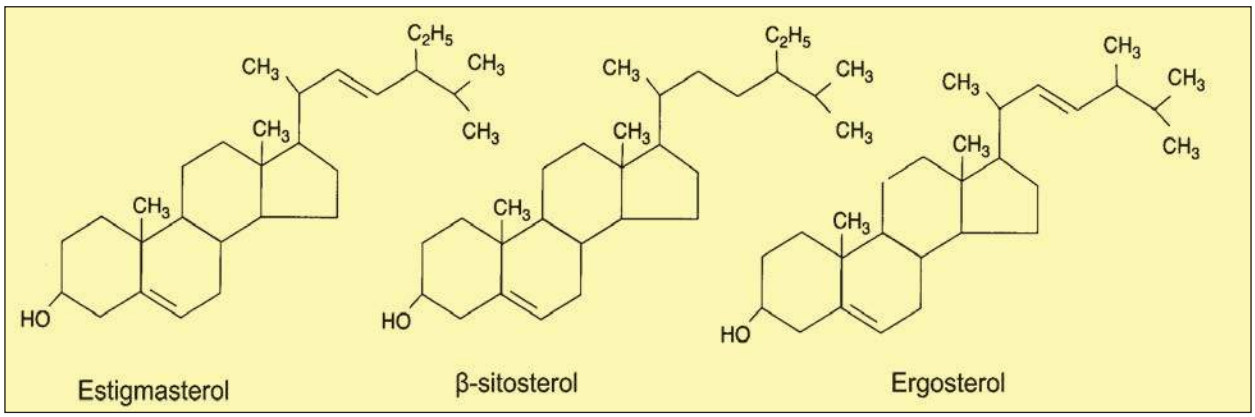


Figura 4.23 *Los esteroles de las plantas.*

Ácidos biliares

La bilis contiene entre muchos otros componentes, las sales biliares, que son amidas derivadas de los ácidos biliares y los aminoácidos glicina y taurina. Los ácidos biliares tienen grupos hidroxilo en las posiciones 3, 7 y 12 del sistema de anillos del esteroide y una cadena de 5 carbonos en el carbono 17. La función de las sales biliares es la de

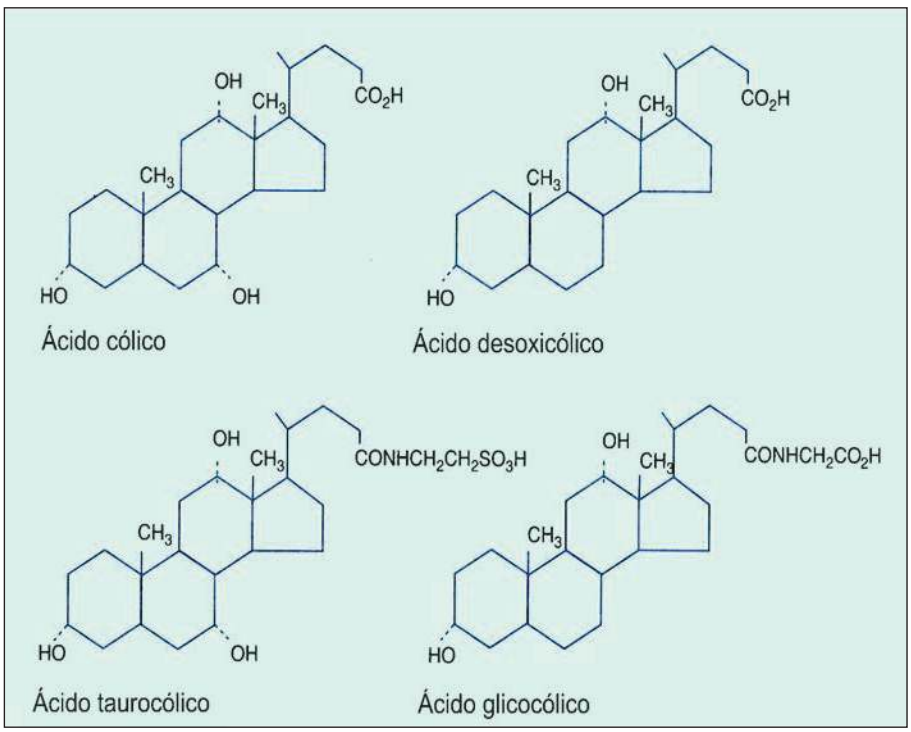


Figura 4.24 *Los ácidos biliares.*

emulsificar las grasas durante la digestión y de esta manera facilitar la degradación enzimática y su absorción.

Hormonas sexuales femeninas y masculinas

Las hormonas sexuales femeninas se sintetizan en los ovarios. Las más importantes son los **estrógenos** y la **progesterona**. La función de estas hormonas es la del desarrollo y conservación de las características sexuales secundarias femeninas. Además regulan la producción de óvulos y el ciclo menstrual, conservan el embarazo y preparan las glándulas mamarias para la producción de leche. Las hormonas sexuales masculinas son sintetizadas en los testículos. La más importante de estas hormonas es la **testosterona** que regula la producción de espermatozoides y estimula el desarrollo y mantenimiento de los caracteres sexuales masculinos.

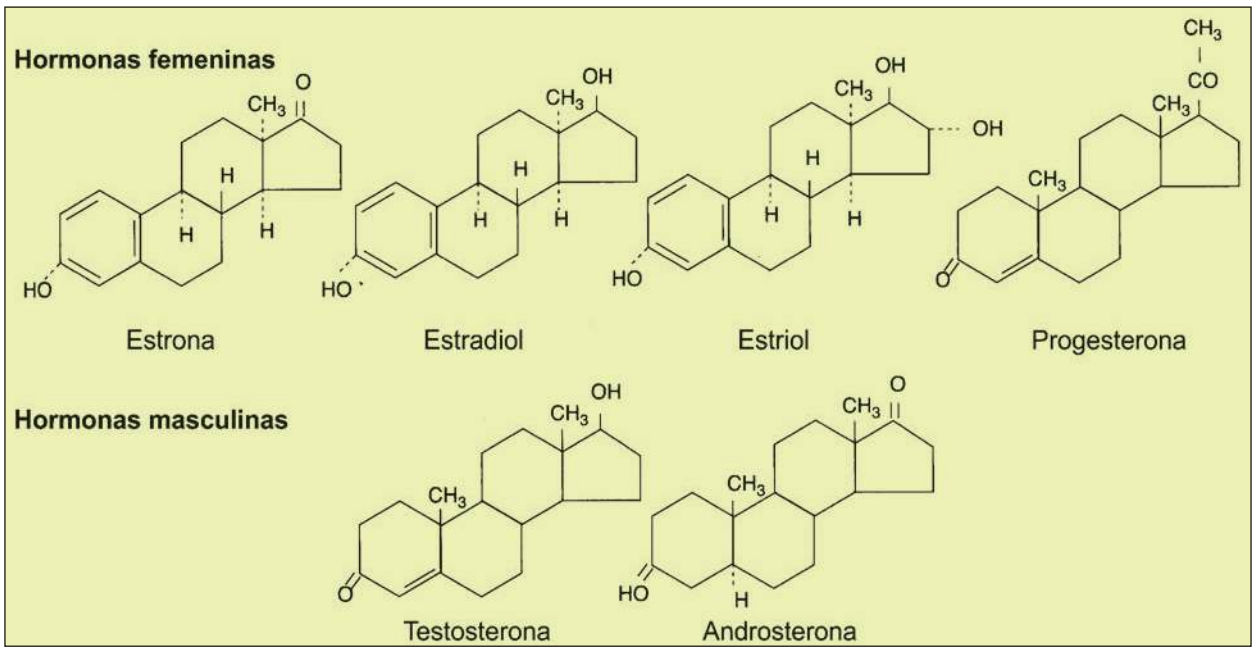


Figura 4.25 *Estructura de las hormonas sexuales femeninas: estrógenos (estrona, estradiol y estriol) y progesterona. Abajo se muestran las estructuras de las hormonas sexuales masculinas: testosterona y androsterona.*

Algunas variantes sintéticas de la hormona testosterona, se conocen como **esteroides anabólicos**. La testosterona es la hormona masculina que estimula la producción de masa muscular y ósea durante la pubertad en los varones y mantiene las características masculinas a lo largo de la vida. Debido a que los esteroides anabólicos se parecen estructuralmente a la testosterona, también imitan algunos de sus efectos.

Hoy en día, los esteroides anabólicos, junto con otras drogas están prohibidos por la mayoría de las organizaciones atléticas. Aún así, muchos atletas profesionales los usan regularmente y provocan en ellos el aumento de la masa muscular, fuerza, el vigor y la agresividad. Algunos de los usuarios más frecuentes de anabólicos son levantadores de pesas, futbolistas y fisicoculturistas.

El uso de esteroides anabólicos es una manera rápida de aumentar el tamaño corporal. Investigaciones médicas demuestran que estas sustancias pueden causar serios problemas físicos y mentales. La sobredosis puede hinchar el rostro y producir violentos cambios de humor y profunda depresión. Internamente causan daño hepático que puede conducir al cáncer. Además, elevan los niveles de colesterol en la sangre y desarrollan problemas cardiovasculares. Los usuarios frecuentes pueden experimentar una reducción en el deseo sexual y volverse infértiles, ya que provocan en el organismo una disminución de la producción normal de hormonas sexuales. Los riesgos para la salud que plantea el uso de esteroides anabólicos, es el argumento que prohíbe su uso en competencias deportivas.

Figura 4.26 *Los esteroides anabólicos aumentan la masa muscular en grande y también causan problemas grandes.*

Hormonas corticosteroides

En la corteza suprarrenal (capa externa de las glándulas que se encuentran encima de los riñones) se producen más de 50 **hormonas corticosteroides** pertenecientes a dos familias: los glucocorticoides y los mineralcorticoides. Los **glucocorticoides** regulan los niveles de azúcar en la sangre. Dentro de los glucocorticoides, la más importante es la hormona **cortisol** ya que estimula la producción de glucosa a partir de aminoácidos y grasas. Los **mineralcorticoides** intervienen en la regulación de las concentraciones de electrólitos en la sangre. La más importante de las hormonas mineralcorticoides es la **aldosterona** cuya función es la de estimular la absorción de sodio por la sangre.

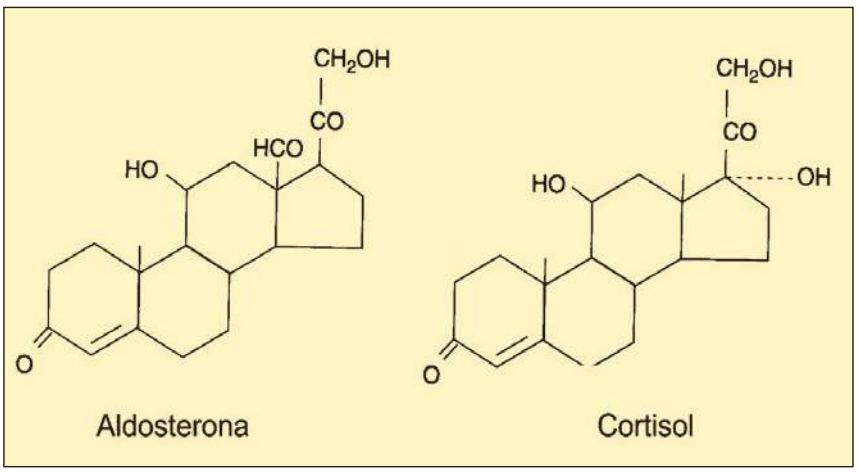


Figura 4.27 *Estructura de las dos hormonas glucorticoides más importantes: la aldosterona (mineralcorticoide) y el cortisol (glucocorticoide).*

Vitamina D

La **vitamina D** o **calciferol** es una de las vitaminas liposolubles. Es producida por la piel expuesta al sol. Promueve el crecimiento de huesos y aumenta la absorción de calcio y fósforo.

En los animales y en los seres humanos, la vitamina D se sintetiza a partir del 7-dehidrocolesterol al ser irradiado en la piel por los rayos ultravioleta solares. Las fuentes dietéticas más ricas de esta vitamina son el hígado y las vísceras de peces y animales que se alimentan de peces. También se encuentra la vitamina D en la yema de huevo y la leche.

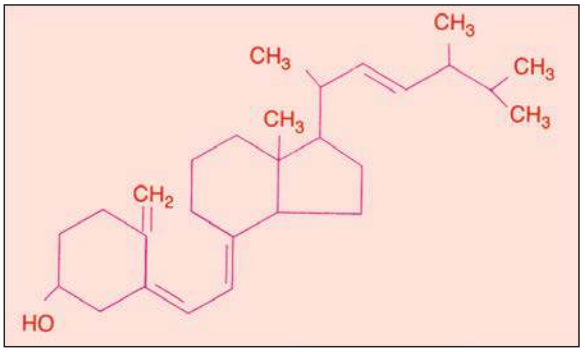
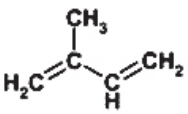


Figura 4.27 *Estructura de la vitamina D.*

Terpenos

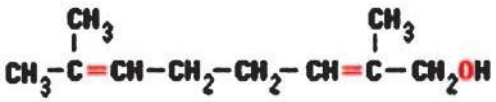
Los **terpenos** son lípidos simples formados por 2 o más moléculas de isopreno (2-metil 1,3 butadieno):



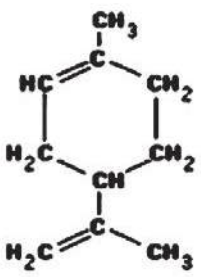
En los vegetales se han encontrado un número muy grande de terpenos con olores y sabores característicos. Como son los componentes principales de los aceites esenciales obtenidos de tales plantas, se usan en la elaboración de perfumes. Algunos ejemplos de terpenos se encuentran en la siguiente tabla:

Terpeno	Origen
Geraniol	geranio
Limoneno	limón
Mentol	menta
Pineno	pino
Alcanfor	árbol del alcanfor
Beta-caroteno	zanahoria
Vainillina	vainilla

Tabla 4.4 *Algunos terpenos y los nombres de los vegetales que los contienen.*



Geraniol



Limoneno

Figura 4.29 *Estructura de dos terpenos.*

El beta-caroteno abunda en las zanahorias y en muchos vegetales verdes y se vende en forma concentrada como complemento alimenticio. El beta- caroteno es importante en nuestra dieta alimenticia como fuente de vitamina A, la cual es esencial para tener una vista normal y una piel saludable. Nuestras células pueden fabricar dos moléculas de vitamina A a partir de una molécula de beta-caroteno de la siguiente manera:

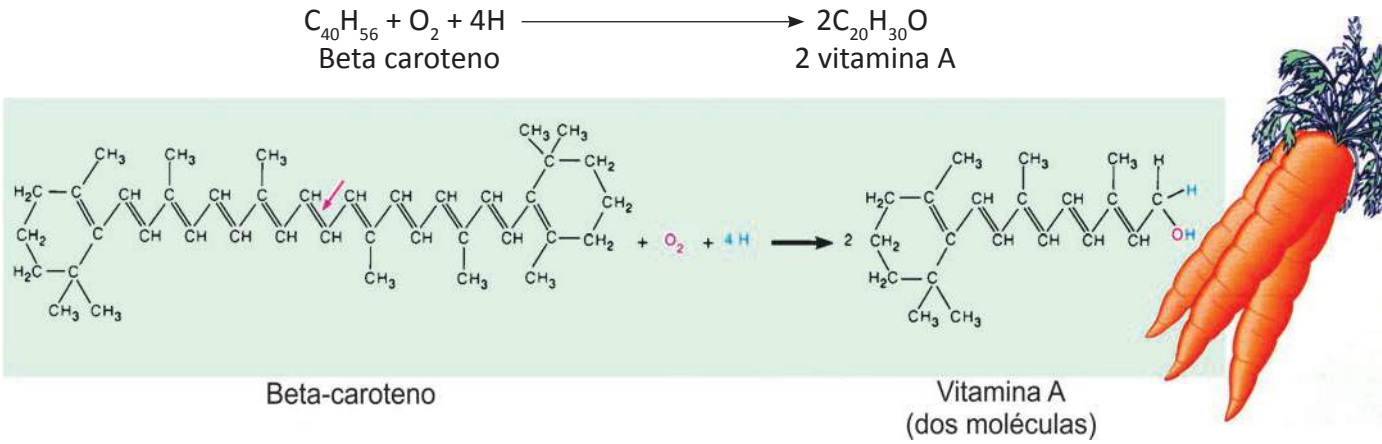


Figura 4.30 *Reacción química que convierte el beta-caroteno en dos moléculas de vitamina A. Observa la flecha roja que señala el punto donde se lleva a cabo la ruptura del terpeno.*

Prostaglandinas

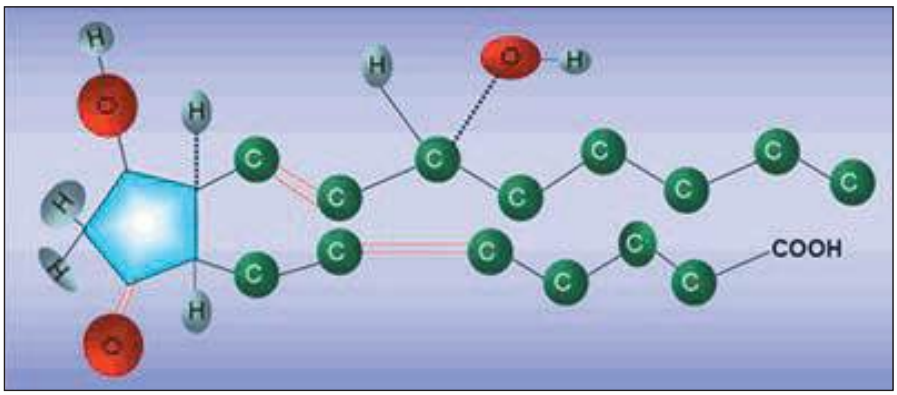


Figura 4.31 *Estructura básica de una prostaglandina.*

Las **prostaglandinas** son lípidos muy importantes, con función de señal, que tienen una diversa e importante variedad de respuestas celulares. Por ejemplo, algunas prostaglandinas están directamente relacionadas mediando la respuesta inflamatoria y la regulación de la presión sanguínea. Las prostaglandinas son sintetizadas y secretadas por la mayoría de los tejidos de los mamíferos y llevan a cabo su función cerca del sitio de síntesis; en general tienen una vida media muy corta, de minutos. Las prostaglandinas son ácidos carboxílicos de 20 átomos de carbono y contienen un anillo de 5 carbonos.

Es posible **separar** los lípidos del resto de las biomoléculas mediante disolventes orgánicos. Los lípidos se separan entre sí por medio de **cromatografía**. Existen diversos tipos de cromatografía, pero todas se basan en el principio de solubilidad de los compuestos entre una fase móvil y una estacionaria.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué diferencia existe en la estructura de un triglicérido y una cera?

   _____

   _____

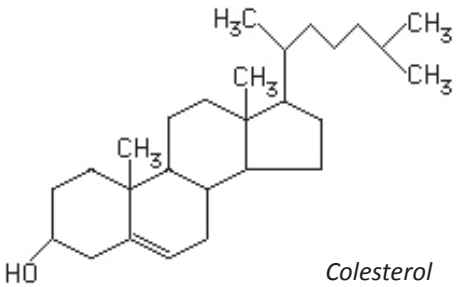
   _____

2. ¿En cuál carbono del núcleo esteroide se presenta la única diferencia entre la progesterona y la testosterona? _____

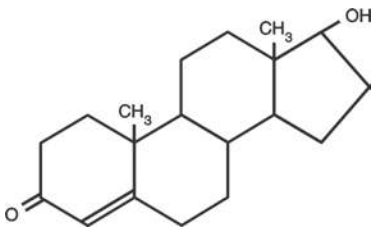
3. ¿A qué tipo de lípidos pertenecen las siguientes estructuras?

   Colesterol _____

   Testosterona _____



Colesterol



Testosterona

4. ¿Qué diferencia existe entre la estructura de una grasa y un aceite?

   _____

   _____

5. ¿Dónde se localizan los fosfolípidos? ¿Cómo se orientan su cabeza y cola?

   _____

   _____

6. ¿Qué es el omega 3?

   _____

7. ¿Qué diferencia existe margarina y mantequilla?

   _____

   _____

8. ¿Qué lípidos poseen ácidos grasos?

_____

_____

9. ¿Qué lípidos no poseen glicerol?

_____

_____

10. Menciona la importancia de los lípidos

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Indica cuál de las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

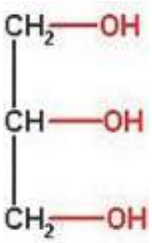
1. Los ácidos grasos saturados no poseen dobles enlaces. ( )
2. Los aceites son triglicéridos que son líquidos a temperatura ambiente bebido a que sus ácidos grasos son insaturados. ( )
3. Las ceras se forman mediante la esterificación de un ácido graso con un alcohol de cadena larga. ( )
4. Un triglicérido siempre tiene tres moléculas de ácidos grasos idénticos. ( )
5. El contenido calórico de los triglicéridos es más bajo que el de las proteínas. ( )
6. Los fosfolípidos y los esteroles constituyen la mitad de la masa de las membranas celulares. ( )
7. Los ácidos grasos esenciales son poliinsaturados. ( )
8. Los ácidos grasos son exclusivos de los lípidos simples. ( )
9. La margarina es de origen vegetal y la mantequilla de origen animal. ( )
10. La saponificación se lleva a cabo mediante una hidrólisis ácida. ( )

Elige la respuesta correcta a las siguientes preguntas y enunciados:

1. Este tipo de lípidos complejos se encuentran en grandes cantidades en el encéfalo y en el tejido nervioso:

a) Fosfolípidos b) Prostaglandinas c) Esteroides
d) Esfingolípidos e) Terpenos

2. La siguiente molécula, reacciona con _____ para formar triglicéridos.

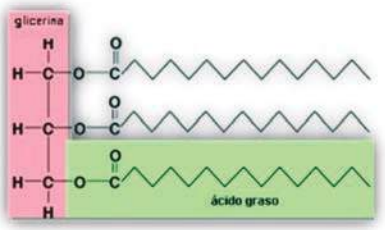


a) Esfingosina
b) Alcohol de cadena larga
c) Glicerina
d) Grupo fosfato
e) Ácidos grasos

3. Constituyen la reserva energética más importante de los mamíferos:

a) Carbohidratos b) Proteínas c) Triglicéridos
d) Glucoproteínas e) a y d son correctas

4. La siguiente molécula corresponde a:



a) Un aceite
b) Una grasa
c) Una cera
d) Un triglicérido sólido a temperatura ambiente
e) b y d son correctas

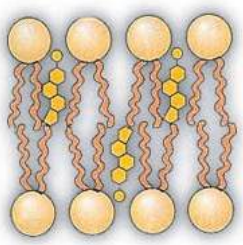
5. Los aceites son convertidos en mantecas mediante:

a) Hidrogenación b) Hidrólisis c) Deshidratación
d) Fosforilación f) Hidratación

6. El monómero de los terpenos es:

a) El isopreno b) El glicerol c) El gliceraldehído
d) El isobutano e) El 2-metil-butano

7. El siguiente dibujo nos representa a dos tipos de lípidos:

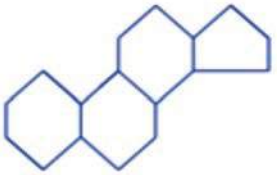


a) Hormonas sexuales y ceras
b) Terpenos y prostaglandinas
c) Diglicéridos y colesterol
d) Fosfolípidos y colesterol
e) Esfingolípidos y triglicéridos

8. El omega 6 es:

a) El ácido linolénico b) El ácido linoleico c) El ácido palmítico
d) El ácido palmitoleico e) Ninguna es correcta

9. La siguiente estructura se encuentra en:
   a) Ácidos biliares y hormonas corticosteroides
   b) Los esteroides y prostaglandinas
   c) Hormonas sexuales y esteroles
   d) Los glucolípidos y fosfolípidos
   e) a y c son correctas



10. Son las enzimas que catalizan la hidrólisis de un triglicérido en las células:

    a) Esterasas b) Peptidasas c) Amilasas
    d) Glicerasas e) Ninguna es correcta

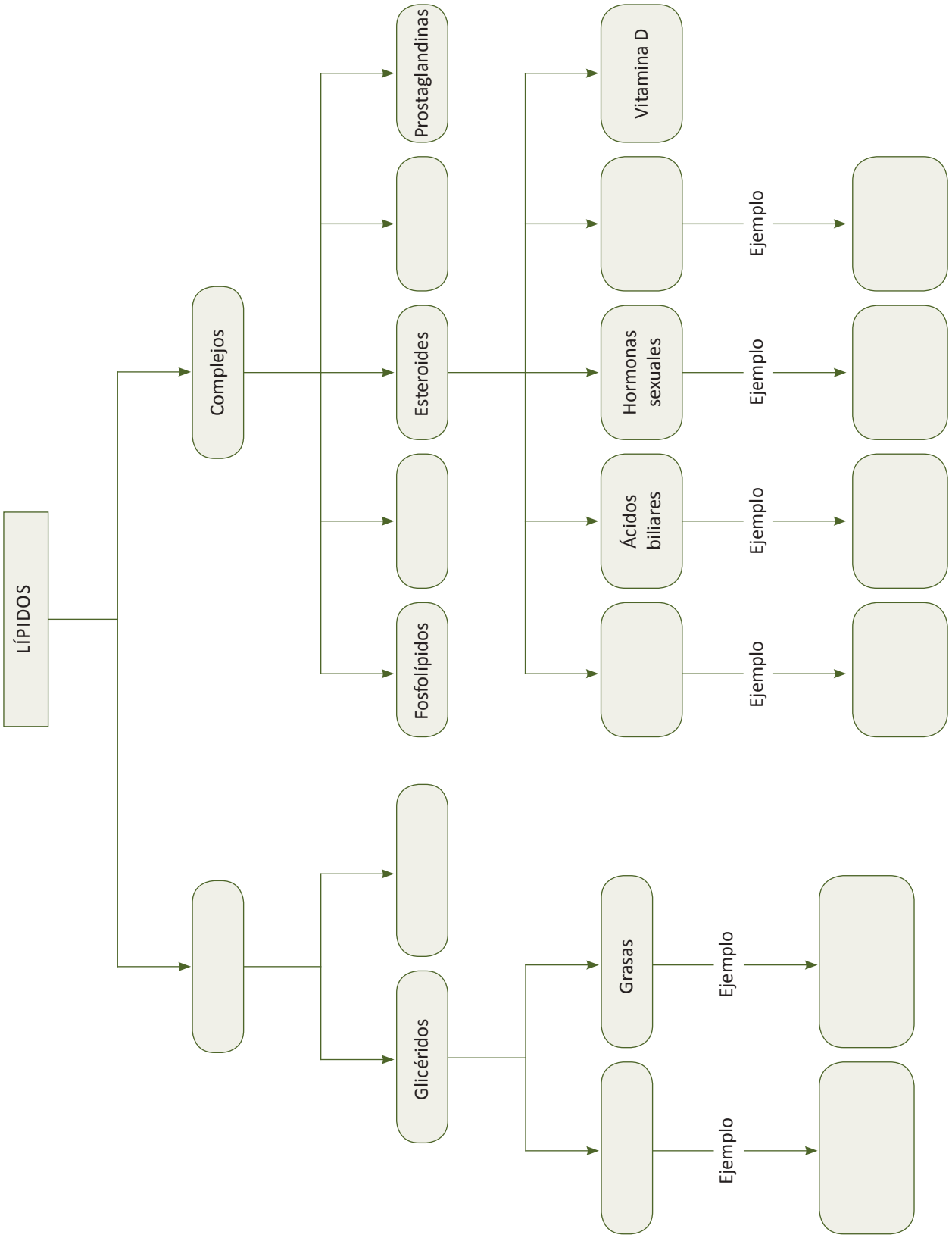
En la siguiente sopa de letras, localiza los nombres de cinco lípidos y anótalos abajo, explicando la importancia que tienen:

R	A	C	O	X	I	G	L	I	O	T	O
C	U	A	G	E	M	L	I	P	I	E	B
E	S	T	E	R	O	I	D	E	S	R	E
R	T	E	N	O	N	C	K	O	Z	P	Y
A	E	G	O	T	O	E	J	I	J	E	T
S	R	O	P	D	M	R	Ñ	K	G	N	A
F	O	S	F	O	L	I	P	I	D	O	S
O	X	U	U	M	I	D	M	B	A	S	C
S	I	L	E	C	P	O	B	R	L	F	E
F	G	F	R	A	I	S	O	U	K	O	R

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____

Realiza una investigación en equipo de tres integrantes, sobre los efectos benéficos y perjudiciales del colesterol en nuestro organismo. Exponer en clase.

Completa el siguiente mapa conceptual de lípidos.



Proteínas

UNIDAD 5

Bioquímica

Introducción

La palabra **proteína** se deriva del término griego proteios, que significa "que tiene el primer lugar". Este significado refiere la gran importancia de las diversas funciones biológicas que desempeñan las proteínas en los seres vivos. Fue el químico sueco Berzelius quién, en 1838, sugirió esta denominación.

Las proteínas participan prácticamente en todos los aspectos del metabolismo, ya que la mayoría de las **enzimas**, moléculas que aceleran las miles de reacciones químicas que tienen lugar en un organismo, son proteínas. Las proteínas son los **componentes estructurales** principales de células y tejidos. Por lo cual, el crecimiento, la reparación y el mantenimiento del organismo, dependen de estas. Existen otras funciones de las proteínas, algunas de ellas son el de **transportar sustancias**; por ejemplo, la proteína hemoglobina que se encuentra en los glóbulos rojos de la sangre, se encarga de transportar el oxígeno desde los pulmones hacia todos los tejidos del cuerpo. Algunas otras proteínas son **hormonas**, como la insulina.

El ser humano es capaz de sintetizar alrededor de 100 mil proteínas diferentes, y la información necesaria para construir cada una de ellas se encuentra en el material genético de nuestras células, el ADN.

Composición de las proteínas

Las **proteínas** son moléculas muy grandes o macromoléculas, compuestas de **aminoácidos** unidos entre sí, mediante enlaces peptídicos. Las proteínas se forman a partir de la combinación de 20 aminoácidos distintos, que están en ellas con un orden y proporción definidos genéticamente para cada proteína; es decir, la estructura proteica la establece la información genética. Esta información proviene del ADN, pasa al ARN mensajero y se utiliza para elaborar una proteína específica. Como recordarás la síntesis o elaboración de las proteínas se lleva a cabo en los ribosomas.

El número de proteínas diferentes que se pueden construir a partir de la combinación de 20 aminoácidos es prácticamente infinita. Por ejemplo, una cadena de 200 aminoácidos puede tener 20^{200} secuencias diferentes.

Aminoácidos

El nombre **aminoácido** se debe a que estas moléculas poseen el grupo **amino** y el grupo carboxilo que es **ácido**.

Los **aminoácidos** tienen una estructura característica consistente en un átomo de carbono **alfa** central unido a cuatro grupos químicos diferentes: un **grupo amino** (NH_2), un **grupo carboxilo** (COOH), un **átomo de hidrógeno** (H) y un grupo variable denominado **cadena lateral** o grupo **R**. Esta estructura básica es idéntica en todos los aminoácidos.

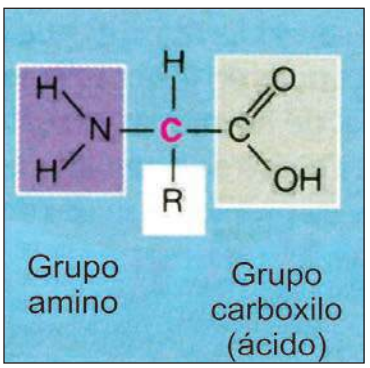


Figura 5.1 *Estructura general de los aminoácidos.*

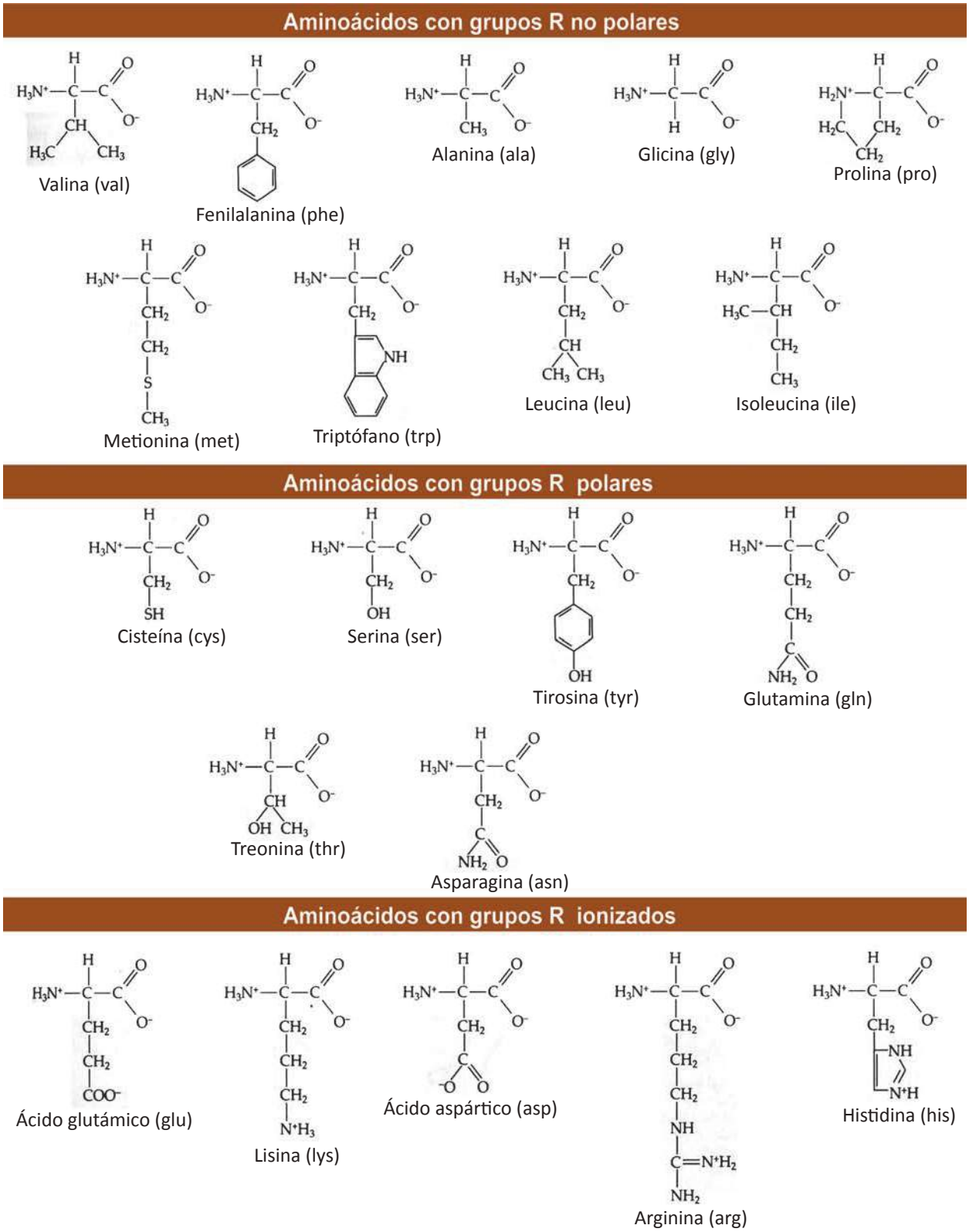


Figura 5.2 *Estructura de los 20 aminoácidos comunes que constituyen las proteínas. Enseguida del nombre del aminoácido aparece su abreviatura convencional.*

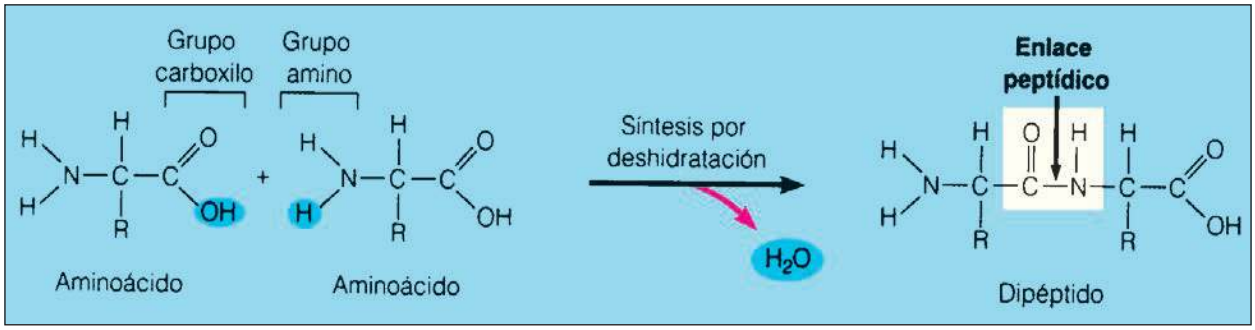


Figura 5.3 *El enlace peptídico se forma entre el grupo amino de un aminoácido y el grupo carboxilo de otro aminoácido. Al formarse la unión peptídica se pierde una molécula de agua.*

El grupo R es la parte que difiere entre un aminoácido y otro. En el aminoácido más simple, la glicina, el grupo R es un átomo de hidrógeno, en el aminoácido alanina el grupo R es el metil, en el aminoácido valina el grupo R es el isopropil, etc. La estructura del grupo R determina las propiedades específicas de cada uno de los 20 aminoácidos en las proteínas. Identifica el grupo R en cada aminoácido de la figura 5.2.

Los grupos laterales pueden ser **no polares** (sin diferencia de carga entre distintas zonas del grupo), **polares** pero con cargas balanceadas, de modo tal que el grupo lateral en conjunto es neutro, o cargados (ionizados), negativa o positivamente.

Los grupos laterales no polares (hidrofóbicos) no son solubles en agua, mientras que los grupos laterales polares (hidrofílicos) y cargados son solubles en agua. Los aminoácidos hidrofílicos ayudan a las proteínas a disolverse en las soluciones dentro de las células.

En la síntesis de proteínas, la cual ocurre en los ribosomas, los aminoácidos se unen entre sí debido a que se presenta la deshidratación (reacciona el –OH del grupo carboxilo de una aminoácido, con el H del grupo amino del siguiente aminoácido), es decir se desprende una molécula de agua. Entonces, el átomo de carbono del grupo carboxilo se une al nitrógeno del grupo amino de la molécula de aminoácido vecina. El enlace covalente resultante se llama **enlace peptídico**. Observa este proceso en la figura 5.3.

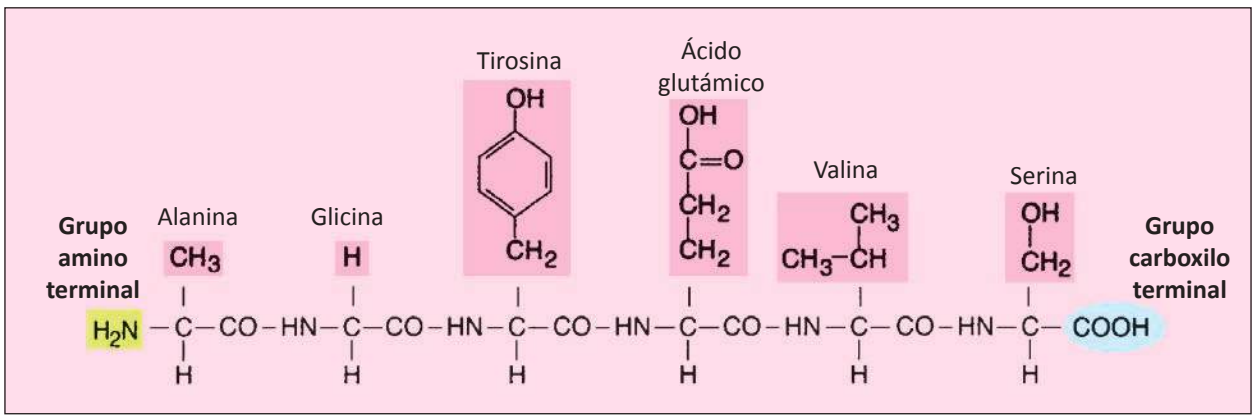


Figura 5.4 *Los polipéptidos son polímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. La cadena polipeptídica que se muestra contiene solamente seis aminoácidos, pero algunas cadenas pueden contener hasta 1,000 aminoácidos.*

La unión de dos aminoácidos recibe el nombre de **dipéptido**. Cuando se unen más aminoácidos por este mismo proceso y se forma una cadena de aminoácidos, esta se denomina **polipéptido**. La longitud de un polipéptido varía desde unos pocos aminoácidos hasta mil o más. El término proteína se aplica a los polipéptidos, generalmente mayores a 50 aminoácidos, capaces de adoptar una estructura tridimensional específica. El tamaño de las proteínas es muy variable, entre 50 y 2.500 aminoácidos, aunque la mayoría tienen entre 300 y 500. Existen proteínas monoméricas, formadas por una sola cadena y proteínas oligoméricas constituidas por varias cadenas.

Los aminoácidos del polipéptido se recuperan por medio de hidrólisis, para lo cual se requiere agregar una molécula de agua a cada enlace peptídico.

En los animales, algunos de los 20 aminoácidos no pueden ser sintetizados en cantidad suficiente como para cubrir las necesidades, motivo por el cual deben suministrarse a través de la dieta. Estos aminoácidos se conocen como **aminoácidos esenciales**. Los animales difieren en sus capacidades de biosíntesis; un aminoácido que es esencial para una especie puede no serlo para otra. Los aminoácidos esenciales para el ser humano son isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano, valina e histidina. En los niños, se añade a la lista arginina, ya que no pueden sintetizarla en cantidad suficiente como para mantener el crecimiento.

Otros aminoácidos

Existen más de 300 aminoácidos de origen natural, de los cuales como ya sabemos solamente 20 constituyen a las proteínas. Otros aminoácidos son modificados en reacciones posteriores a

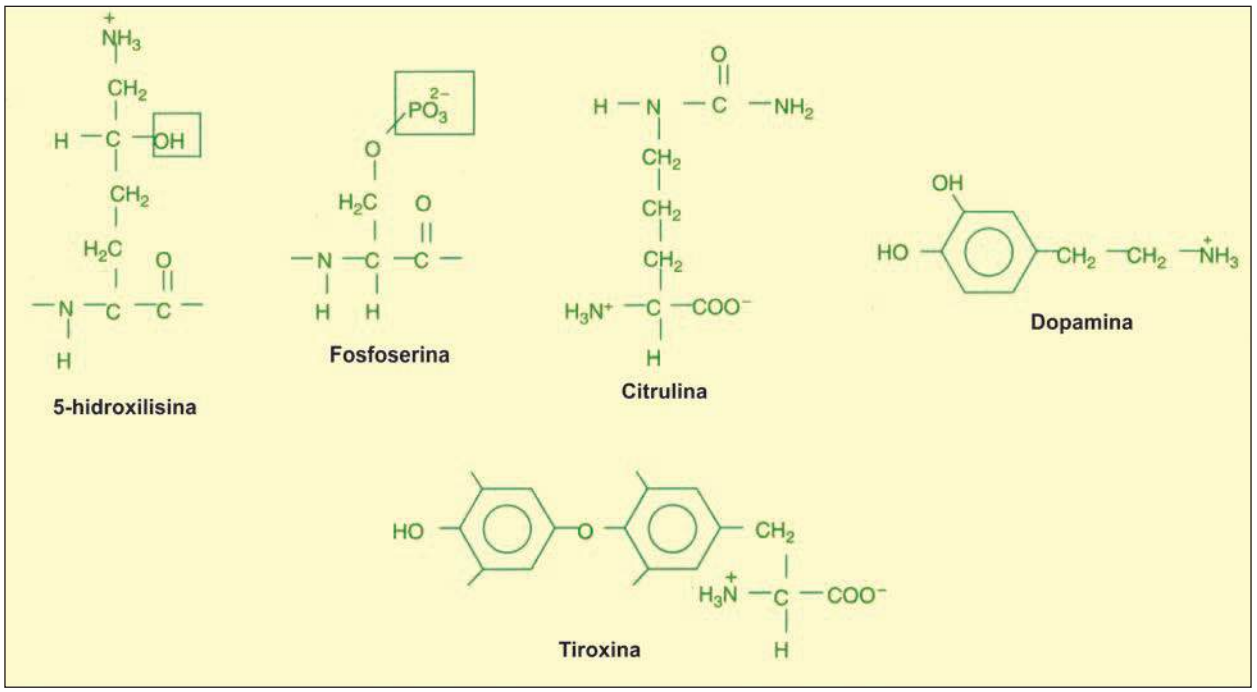


Figura 5.5 *Algunos aminoácidos.*

la síntesis de las proteínas, como la hidroxilisina y la fosfoserina; otros no son componentes de las proteínas y se utilizan en otras funciones biológicas, como la citrulina y la ornitina, intermediarios en la vía de síntesis de urea, hormonas como la tiroxina y neurotransmisores como la dopamina.

Estructura de las proteínas

De acuerdo a su estructura, las proteínas se clasifican en cuatro niveles básicos: primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria.

Estructura primaria

La **estructura primaria** de una proteína es la secuencia o acomodo de los aminoácidos, los cuales forman cadenas polipeptídicas. Cada proteína es distinta a otra, debido a su secuencia de aminoácidos que, como se mencionó anteriormente, está determinada por el ADN. La secuencia es la encargada de la estructura y función de una proteína. Aún el más leve cambio en la estructura primaria de una proteína puede afectar su forma general y su función. Por ejemplo, el solo cambio de un aminoácido en la hemoglobina, causa anemia falciforme o drepanocítica, una enfermedad genética muy grave, ya que altera la forma normal de los glóbulos rojos (figura 5.6). Lo que causa que la persona que la padece, desde que nace, tenga problemas en el transporte de oxígeno en su sangre.

Actualmente se conoce la estructura primaria de miles de proteínas. Por ejemplo, el glucagón, una hormona secretada por el páncreas, es un polipéptido pequeño compuesto sólo por 29 aminoácidos. La acción principal del glucagón es la de aumentar la concentración de glucosa en la sangre, estimulando las células hepáticas y las del músculo esquelético para convertir glucógeno en glucosa.

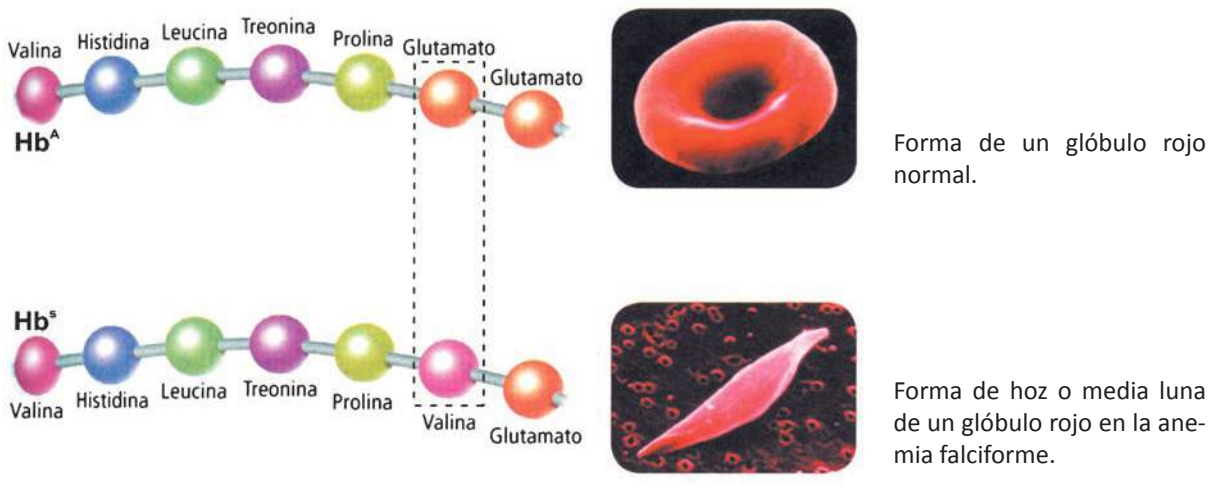


Figura 5.6 *La anemia drepanocítica o "falciforme" es causada por una mutación donde se sustituye el aminoácido ácido glutámico por el aminoácido valina en la molécula de hemoglobina, lo que produce una alteración en la forma de los glóbulos rojos los cuales adquieren la forma de una hoz o media luna.*

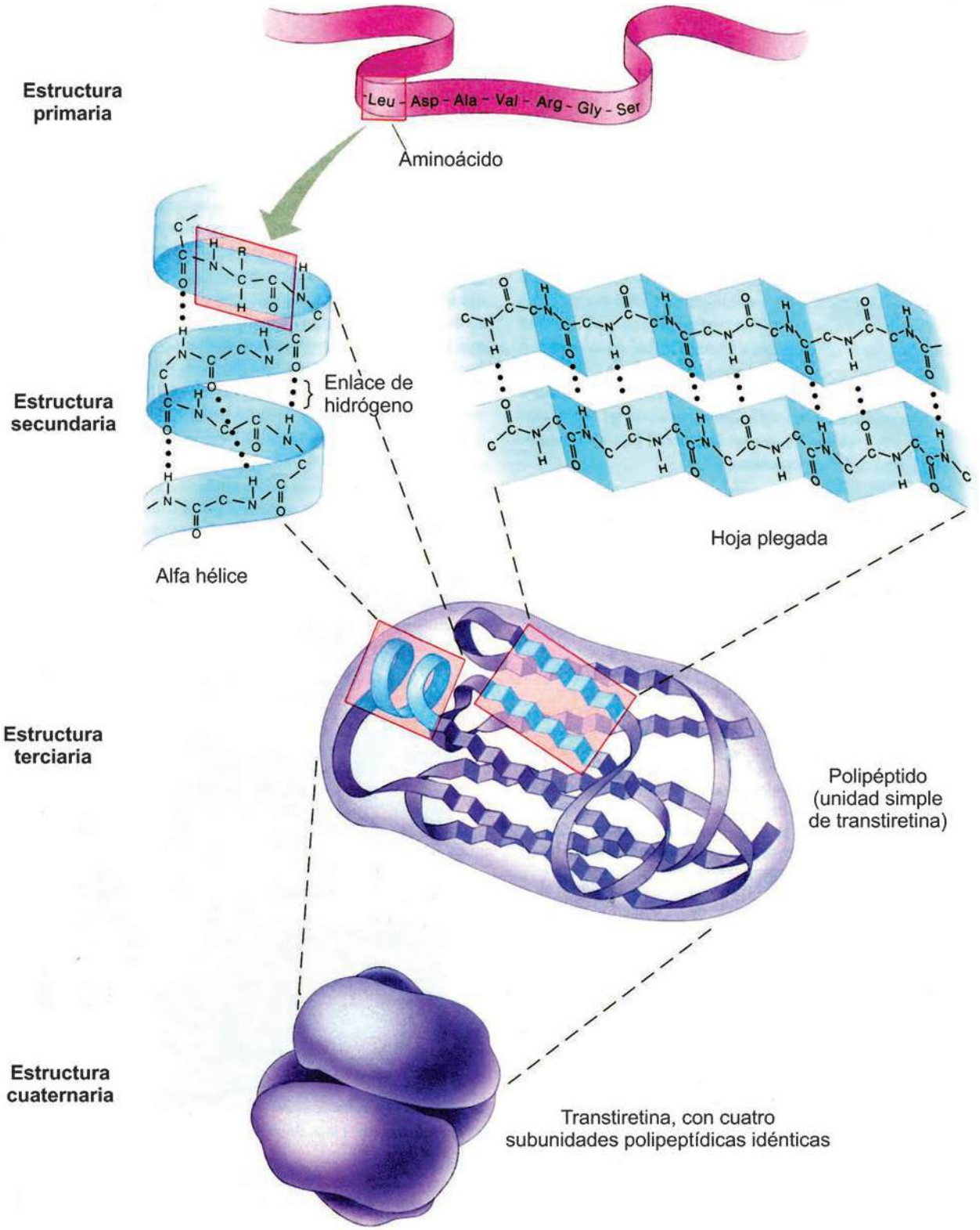


Figura 5.7 *Niveles de estructura de una proteína. Este ejemplo se basa en la transtiretina, importante proteína de transporte que se encuentra en la sangre. Su función es transportar a través del cuerpo una hormona de la glándula tiroides y la vitamina A.*

Estructura secundaria

La **estructura secundaria** es el enrollamiento o plegamiento regular del polipéptido producido por los enlaces de hidrógeno. Existen dos tipos de estructura secundaria, la **hélice alfa** y la **hoja** o **lámina plegada beta**. Ambos diseños se obtienen con enlaces de hidrógenos espaciados regularmente. Cada enlace de hidrógeno se forma entre un oxígeno del grupo carboxilo de un aminoácido y un hidrógeno del grupo amino de otro aminoácido.

Una hélice alfa es una región en la que la cadena polipeptídica forma un enrollamiento en espiral. La hélice alfa es la unidad estructural básica de algunas proteínas fibrosas, como las de la lana, el pelo, la piel y las uñas. En una lámina plegada beta, los puentes de hidrógeno se forman entre cadenas polipeptídicas diferentes formando una estructura plegada semejante a una hoja de papel que se ha plegado o doblado para formar un abanico. Observa la figura 5.7.

Estructura terciaria

El término **estructura terciaria** se refiere a la conformación tridimensional completa de un polipéptido. La mayoría de las estructuras terciarias son **globulares** o **fibrosas**. Muchas proteínas con una estructura terciaria globular poseen tanto regiones helicoidales como de hoja plegada. En cambio, las proteínas fibrosas, por ejemplo las proteínas del pelo, son casi enteramente helicoidales. La estructura terciaria es, por lo general, el resultado de interacciones entre los grupos R del polipéptido. Las proteínas globulares son moléculas más o menos esféricas, compactas y casi todas corresponden al grupo de las enzimas.

Estructura cuaternaria

La **estructura cuaternaria** de una proteína se refiere al ensamble de dos o más cadenas polipeptídicas o subunidades separadas, que se unen por medio de interacciones de enlace entre ellas. La estructura cuaternaria es la estructura tridimensional resultante. La figura 5.7 muestra una molécula completa de la proteína transtiretina, con sus cuatro subunidades idénticas. Muchas otras proteínas poseen subunidades que son diferentes entre sí. Por ejemplo, la hemoglobina, tiene cuatro subunidades de dos tipos diferentes.

Clasificación de las proteínas de acuerdo con su función

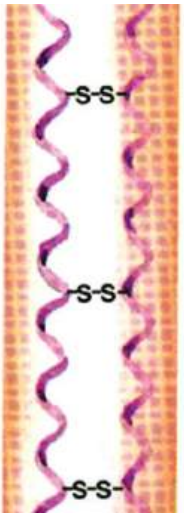
Existen siete clases principales de proteínas, las cuales realizan una gran variedad de funciones celulares: estructurales, contráctiles, de defensa, reguladoras, de transporte, de reserva, catalizadoras, etc.

Proteínas estructurales

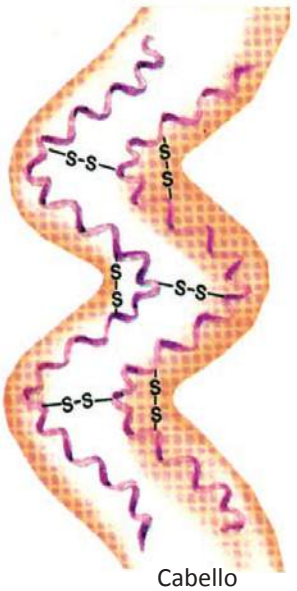
Fortalecen y protegen células y tejidos. Dentro de este grupo destacan el **colágeno** de la piel, el cartílago y el hueso. Otro tipo de proteína estructural lo constituye la **queratina** que es el compo-

nente principal de los cabellos, las uñas, los cuernos, las plumas y las pezuñas. La queratina también forma parte de la lana de los borregos. La seda de las arañas está constituida por una proteína estructural llamada **fibroína**.

Cada cabello tiene una forma característica: puede ser lacio, ondulado o rizado. Lo rizado del cabello se especifica genéticamente y se determina bioquímicamente mediante la disposición de los puentes disulfuro. El pelo rizado tiene puentes disulfuro que forman enlaces cruzados entre las diversas moléculas de queratina en diferentes niveles, mientras que el pelo lacio tiene puentes preponderantemente en el mismo nivel. Cuando se aplica un permanente al cabello lacio, se usan dos lociones. La primera rompe los puentes disulfuro entre hélices vecinas. Luego, el pelo se enrolla apretadamente en rulos y se aplica una segunda solución que hace que se vuelvan a formar los puentes. Los nuevos puentes disulfuro conectan las hélices en niveles diferentes y obligan a los cabellos a estar rizados. Estos nuevos puentes son más o menos permanentes y el cabello genéticamente lacio se puede transformar en cabello bioquímicamente rizado. El cabello nuevo que crezca después tendrá la disposición de puentes disulfuro determinada genéticamente y no será rizado. Observa la figura 5.8.



Cabello lacio



Cabello naturalmente rizado

Figura 5.8 *Compara los puentes disulfuro de las proteínas del cabello lacio y el cabello rizado.*

Proteínas contráctiles

Participan en los movimientos celulares, por ejemplo, la **actina** y la **miosina** son responsables de la contracción muscular. Otra proteína es la **dineína** que forma parte de los cilios y flagelos de diversos organismos unicelulares.

Proteínas de defensa o protectoras

Son los **anticuerpos** producidos por el sistema inmunológico, los cuales luchan contra las infecciones y son transportados en la sangre.

Proteínas reguladoras

Algunas son **hormonas** proteínicas sintetizadas en diversas glándulas; por ejemplo, la insulina, responsable del metabolismo de la glucosa en el cuerpo humano. Otras proteínas reguladoras controlan la expresión de genes específicos.

Proteínas de transporte

Como su nombre lo indica transportan sustancias específicas; por ejemplo, la **hemoglobina**, proteína contenida en el interior de los glóbulos rojos, responsable de la captación de oxígeno en los pulmones y de su transporte al resto del organismo. También mueven sustancias específicas, como, iones, glucosa y aminoácidos a través de las membranas celulares.

Proteínas de almacenamiento o de reserva

Almacenan nutrientes; especialmente abundantes en óvulos y semillas. Por ejemplo, la **albúmina**, sustancia principal en la clara del huevo, la cual es una fuente de aminoácidos para los embriones en desarrollo. La **ceína** es una proteína de reserva en los granos de maíz.

Enzimas

Las **enzimas** son proteínas sintetizadas por las células que actúan como catalizadores biológicos. Un **catalizador** es una sustancia que acelera el ritmo de una reacción química. Por lo tanto las enzimas aceleran las reacciones químicas que ocurren en las células. Las enzimas al acelerar las reacciones químicas permiten que éstas se lleven a cabo a una velocidad compatible con las necesidades celulares. Las enzimas son muy específicas, es decir, todas las reacciones químicas suelen tener una enzima específica que las cataliza.

Las enzimas tienen un papel fundamental en la regulación de las vías químicas, la producción de sustancias necesarias para las células, la liberación de energía y la transferencia de información.

Acción enzimática

La sustancia sobre la cual actúa la enzima se denomina **sustrato**, el cual se une a la enzima por medio de los sitios activos que ésta presenta y forma lo que se conoce como complejo

enzima-sustrato; al llevarse a cabo la reacción se obtienen los productos y la enzima. La enzima no altera en ningún momento la composición química del sustrato ni de los **productos**. Algunas enzimas son inactivas sin la presencia de un **cofactor** o **coenzima** que bien puede estar constituido por iones como K^{+}, Mn^{++}, Mg^{++} o Ca^{++}. Dicho cofactor recibe el nombre de **grupo prostético** cuando está firmemente unido a la enzima. A la unión entre la enzima y el grupo prostético se le llama **holoenzima**. La representación general de una reacción enzimática es la siguiente:

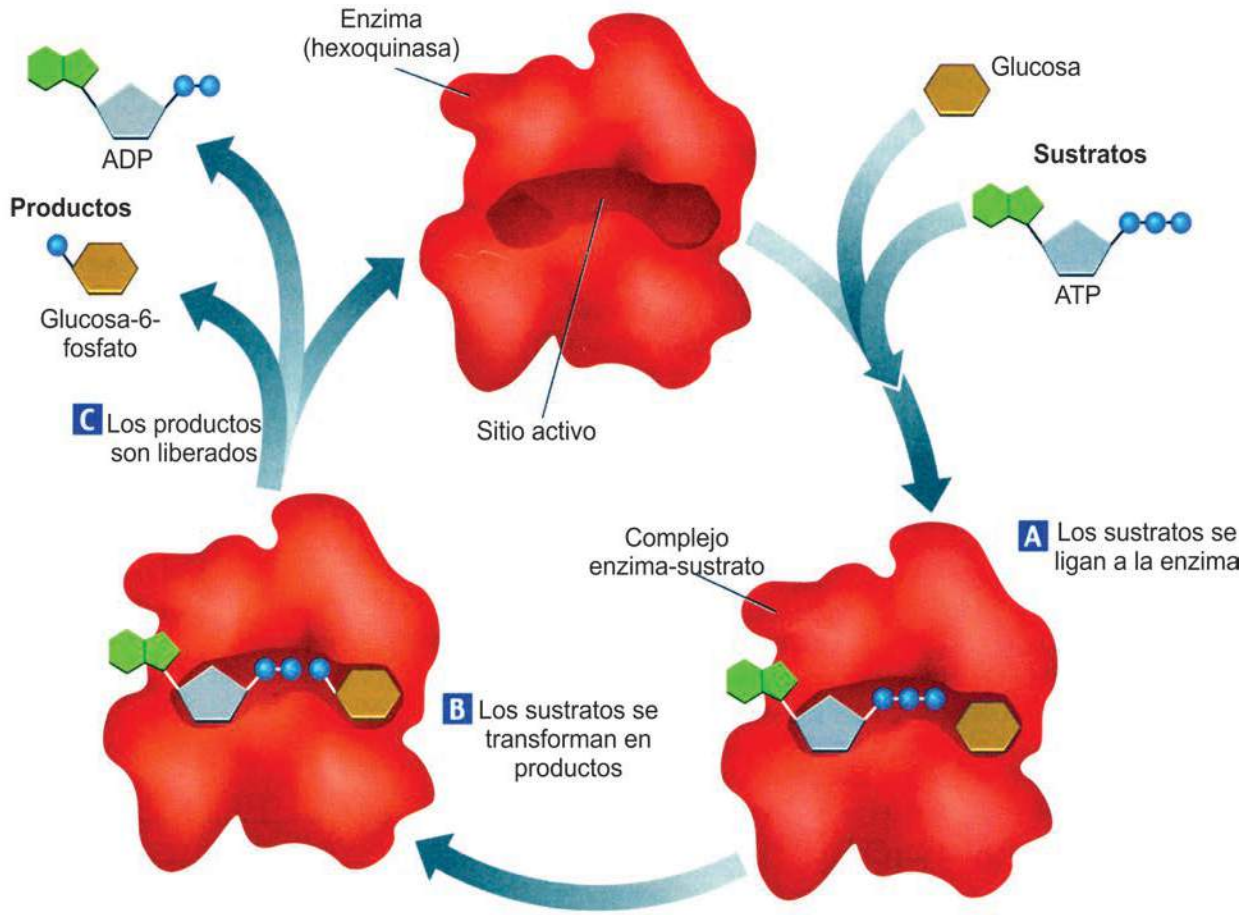


Figura 5.9 *Dibujo que representa una reacción enzimática donde la enzima hexoquinasa convierte los sustratos glucosa y ATP en glucosa -6- fosfato y ADP.*

En la figura 5.9 se representa de una manera muy didáctica una reacción donde la glucosa y el ATP (sustratos) son convertidos en glucosa-6-fosfato y ADP (productos) con la presencia de la enzima hexoquinasa. Durante la reacción, un grupo fosfato se transfiere del ATP a la molécula de glucosa. Los sustratos se ligan al sitio activo de la enzima formando el complejo enzima-sustrato. El sitio activo y los sustratos tienen formas complementarias semejantes a una llave y su cerradura. El complejo enzima-sustrato permanece hasta que la reacción termina. Una vez concluida la reacción, los productos son liberados y la enzima queda disponible para volver a iniciar otra reacción.

La actividad catalizadora de una enzima depende de algunos factores como la concentración de la enzima, concentración del sustrato, temperatura, pH y algunos venenos enzimáticos. Por ejemplo, para el caso de la temperatura se sabe que la velocidad de casi cualquier reacción química aumenta con la temperatura. Lo mismo ocurre en las reacciones enzimáticas, pero en vista de la naturaleza proteica de las enzimas, después de llegar a un máximo, la velocidad vuelve a disminuir por la desnaturalización térmica de la enzima. Por lo que, cada enzima tiene una temperatura óptima de funcionamiento; en casi todas las enzimas es próxima a la temperatura del organismo. En el caso de las enzimas producidas por nuestras células funcionan mejor a una temperatura cercana a los 37 °C, que es la temperatura normal del cuerpo humano.

Clasificación de las enzimas

Actualmente, las enzimas se designan añadiendo el sufijo **asa** a un término que indica el sustrato sobre el cual actúan o el tipo de reacción realizada. Así, a la enzima que actúa sobre el sustrato almidón se le denomina amilasa. Si la función de una enzima consiste en acelerar las reacciones de oxidación-reducción, se le llama oxidorreductasa. En general, la Unión Internacional de Bioquímica recomienda el sistema de clasificación de enzimas basado en el tipo de reacción catalizada y es la siguiente:

- **Oxidorreductasas**. Estas enzimas se relacionan con las oxidaciones y las reducciones biológicas que intervienen fundamentalmente en los procesos de respiración y fermentación.
- **Transferasas**. Enzimas que ayudan a transferir un grupo funcional de una molécula a otra; estos grupos pueden ser el carbono, aldehído, cetona, fosfato, etc.
- **Hidrolasas**. Grupo de enzimas considerado el más numeroso con aproximadamente 200 enzimas, las cuales tienen la capacidad de introducir una molécula de agua, en el sustrato determinado y provocar su hidrólisis.
- **Liasas**. Enzimas que rompen ligaduras entre carbono-carbono, carbono-oxígeno y carbono-nitrógeno por medios diferentes a la hidrólisis y a la oxidación.
- **Isomerasas**. Como su nombre lo indica, este tipo de enzimas actúa sobre los compuestos isómeros.
- **Ligasas**. Forman enlaces con intervención de ATP, como los de carbono-carbono, carbono-nitrógeno y otros.

Desnaturalización de las proteínas

Los cambios en la estructura tridimensional de una proteína son debidos a un proceso llamado **desnaturalización**, el cual afecta su actividad biológica, es decir, su funcionamiento normal. Por ejemplo, una enzima desnaturalizada pierde su capacidad para catalizar una reacción química. Una proteína se desnaturaliza cuando se somete a calor excesivo, a cambios significativos de pH o se trata con ciertas sustancias químicas, como los detergentes. Lo que sucede es que su

estructura se desordena y las cadenas peptídicas enrolladas se despliegan, por lo que pierden su forma y, como resultado de ello, su función. La desnaturalización afecta su estructura secundaria, terciaria y cuaternaria, pero respeta la estructura primaria. Un ejemplo común de desnaturalización de una proteína lo tenemos en nuestra vida diaria al freír un huevo para el desayuno. El calor desnaturaliza rápidamente la proteína de la clara del huevo, llamada albúmina, volviéndola de consistencia sólida y blanca. La proteína continúa siendo nutritiva pero ya no es funcional para el desarrollo del embrión de pollo.

La desnaturalización suele ser irreversible. Sin embargo, en condiciones específicas, algunas proteínas desnaturalizadas se han hecho volver a su forma y actividad biológica originales cuando se restauran las condiciones ambientales normales. En este caso se dice que la proteína se **renaturaliza**.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. Menciona 7 funciones de las proteínas.

   _____

   _____

2. Explica la formación del enlace peptídico entre dos aminoácidos.

   _____

   _____

3. Explica el término proteína.

   _____

   _____

4. ¿Por qué algunos aminoácidos son denominados “esenciales”?

   _____

   _____

5. ¿Cuál es el aminoácido que los niños no pueden sintetizar en cantidad suficiente como para mantener el crecimiento?

   _____

6. Menciona las funciones de 3 aminoácidos que no forman parte de las proteínas.

   _____

   _____

7. ¿Dónde se localiza la proteína albúmina y qué función desempeña?

   _____

8. ¿Qué significa desnaturalización y renaturalización de las proteínas?

   _____

   _____

9. ¿Qué diferencia existe entre las hidrolasas y ligasas?

   _____

   _____

10. ¿Qué semejanza y diferencia existe entre anticuerpo y enzima?

_____

_____

Indica cuál de las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

1. La estructura de la proteína es establecida mediante la información genética. ( )
2. El número de proteínas diferentes que se pueden sintetizar a partir de la combinación de 20 aminoácidos es de 20^{100}. ( )
3. La alanina es el aminoácido más sencillo. ( )
4. El grupo R de los aminoácidos determina las propiedades específicas de cada uno de los 20 aminoácidos en las proteínas. ( )
5. Los aminoácidos hidrofílicos ayudan a las proteínas a disolverse en las soluciones intracelulares. ( )
6. Los aminoácidos del polipéptido se pueden obtener por medio de hidrólisis. ( )
7. Un aminoácido que es esencial para una especie, puede no serlo para otra especie. ( )
8. La tiroxina es un aminoácido que tiene función de hormona. ( )
9. La estructura cuaternaria de una proteína es el ensamble de dos o más cadenas polipeptídicas. ( )
10. Las enzimas son lípidos que catalizan reacciones específicas. ( )

Elige la opción correcta para responder a la pregunta o para completar el enunciado:

1. La parte que difiere entre un aminoácido y otro es:

   a) El grupo amino b) El grupo R c) El grupo carboxilo
   d) El grupo –OH e) El hidrógeno

2. Los grupos R no polares de los aminoácidos:

   a) Son hidrofóbicos b) No son solubles en agua
   c) Son solubles en agua d) Son hidrofílicos e) a y b son correctas

3. Es el aminoácido que posee como grupo R un átomo de hidrógeno:

   a) Fenilalanina b) Serina c) Glicina
   d) Treonina e) Lisina

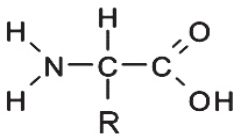
4. El ser humano es capaz de sintetizar alrededor de_____ proteínas diferentes.

a) 1000,000 b) 1000 c) 100
d) 10,000 e) 100,000

5. La información genética proviene del_____, pasa al _____ y se utiliza para elaborar:

a) ADN, ARNm, una proteína específica
b) ARNt, ADN, una proteína específica
c) ARNm, ADN, un aminoácido específico
d) ADN, ARNr, ATP
e) ARNm, ARNr, ARNt

6. La siguiente estructura pertenece a:

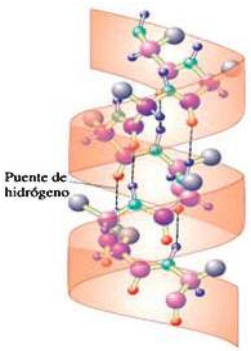


a) Un ácido graso
b) Un monosacárido
c) Un nucleótido
d) Un aminoácido
e) Un nucleótido

7. En la síntesis de_____, que se lleva a cabo en los (las) _____, los aminoácidos se unen entre sí, debido a que se presenta la_____.

a) Triglicéridos, mitocondrias, hidrólisis
b) Aminoácidos, cloroplastos, hidrogenación
c) Proteínas, ribosomas, deshidratación
d) Glucosa, aparato de Golgi, hidrólisis
e) Galactosa, retículo endoplásmico, hidrogenación

8. La siguiente figura nos muestra:



a) La estructura primaria de una proteína
b) La estructura secundaria de una proteína
c) La estructura terciaria de una proteína
d) La estructura cuaternaria de una proteína
e) La lámina plegada beta de una proteína

9. Algunas enzimas son inactivas sin la presencia de:

a) Cofactor b) Coenzima c) Productos
d) Holoenzima e) a y b son correctas

10. Son enzimas que rompen enlaces entre C-C, C-O y C-N por medios diferentes a la hidrólisis y a la oxidación:

    a) Transferasas
    b) Liasas
    c) Isomerasas
    d) Oxidorreductasas
    e) Hidrolasas

En la siguiente sopa de letras, localiza los nombres de seis funciones que realizan las proteínas y anótalos abajo, explicando cada una de ellas:

A	N	T	I	G	E	N	O	S	E	R	I	E
M	I	C	R	O	M	O	L	E	C	U	L	S
O	M	E	P	R	A	Z	O	L	I	B	R	T
R	E	N	Z	I	M	A	S	O	L	U	B	R
T	R	I	G	L	I	N	U	C	L	E	O	U
I	N	H	I	B	I	T	I	N	T	U	R	C
G	L	U	T	A	M	I	N	C	L	I	N	T
U	R	A	C	I	L	C	I	T	O	C	I	U
A	D	E	N	E	N	U	R	A	C	I	L	R
D	E	S	M	O	S	E	R	I	T	R	O	A
O	T	R	A	S	U	R	E	S	P	I	R	L
R	E	S	P	U	E	P	S	T	A	P	A	E
E	S	T	U	C	H	O	R	M	O	N	A	S
S	U	P	O	N	E	S	I	E	M	P	R	E

1. _____

2. _____

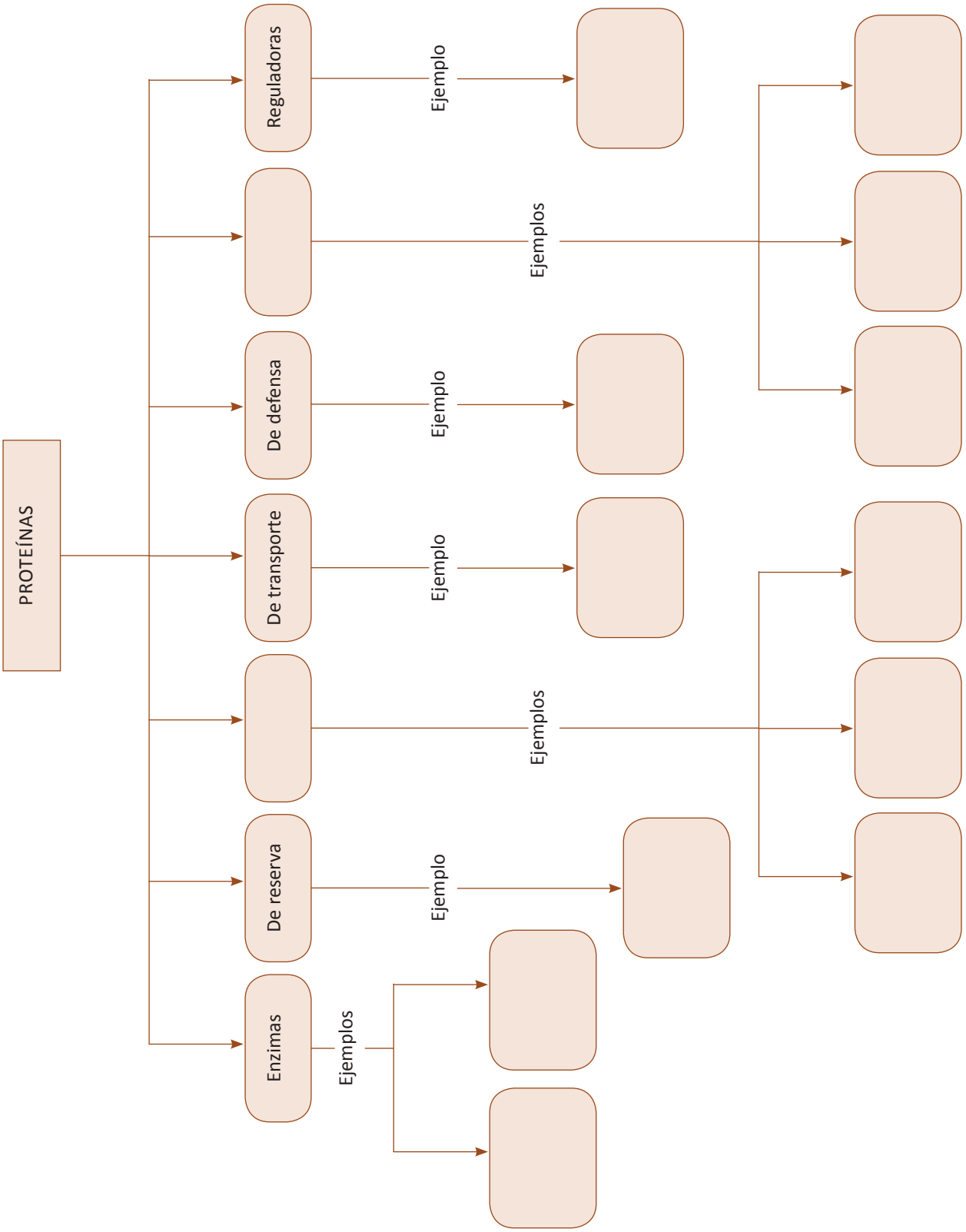
3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

Completa el siguiente mapa conceptual de la clasificación de las proteínas de acuerdo a su función.



Ácidos Nucleicos

UNIDAD 6

Bioquímica

Introducción

Los ácidos **nucleicos** transmiten la información hereditaria y determinan qué proteínas produce la célula para el funcionamiento de la misma. En las células se encuentran dos tipos de ácidos nucleicos: el **ácido desoxirribonucleico** y el **ácido ribonucleico**. El ácido desoxirribonucleico (ADN) es el componente de los genes, el material hereditario de la célula, y contiene instrucciones para la síntesis de todas las proteínas y de todo el ARN que necesita el organismo. El ácido ribonucleico (ARN) participa en el proceso de unión de aminoácidos para formar proteínas. Algunos tipos de ARN actúan como catalizadores biológicos es decir, aceleran numerosas reacciones químicas fundamentales para el organismo. Al igual que las proteínas, los ácidos nucleicos son moléculas grandes y complejas.

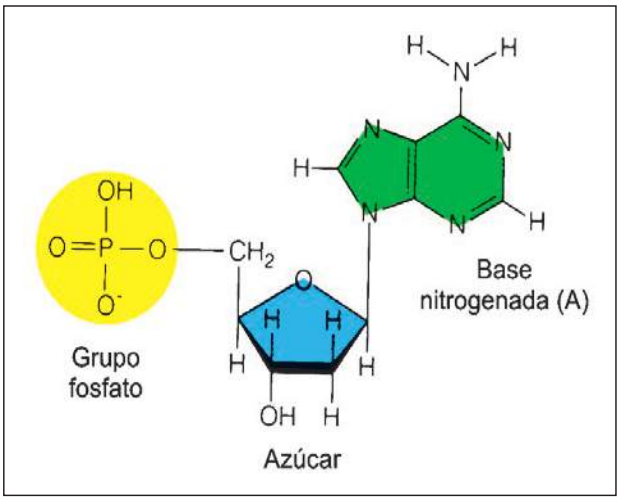


Figura 6.1 *Un nucleótido está constituido por tres subunidades diferentes: un grupo fosfato, una pentosa y una base nitrogenada.*

El ADN y el ARN son químicamente muy similares. Son polímeros constituidos por monómeros llamados **nucleótidos**. Así como las proteínas están formadas por cadenas largas de aminoácidos, los ácidos nucleicos están formados por cadenas largas de nucleótidos.

Cada nucleótido está integrado por tres subunidades: un grupo fosfato, una pentosa (azúcar de cinco átomos de carbono) y una base nitrogenada; esta última tiene las propiedades de una base y, además, contiene nitrógeno.

En los nucleótidos que constituyen al ARN, el azúcar es la ribosa y, en el caso del ADN, es la 2' desoxirribosa, es decir, una ribosa que carece del grupo OH en la posición 2'. Observa la figura 6.2.

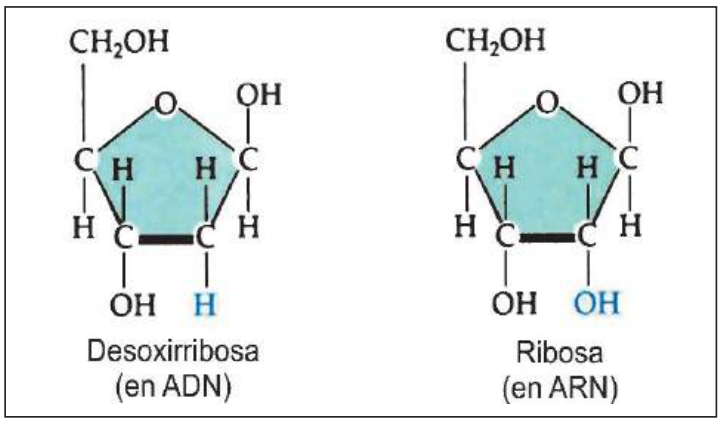


Figura 6.2 *Estructuras de la desoxirribosa y ribosa, los azúcares de ADN y ARN respectivamente.*

Las bases nitrogenadas son de dos tipos. La citosina (C), la timina (T) y el uracilo (U) son estructuras de anillo sencillo llamadas **pirimidinas**. La adenina (A) y la guanina (G) son estructuras más grandes, de anillo doble llamadas **purinas**.

La adenina, la guanina y la citosina se encuentran tanto en el ADN como en el ARN, mientras que la timina se encuentra únicamente en el ADN. En cambio, el uracilo solamente se encuentra en el ARN.

Los nucleótidos pueden unirse en cadenas largas por reacciones

de condensación que involucran a los grupos hidroxilo de las subunidades de fosfato y de azúcar. Una molécula de ARN está formada por una sola cadena de nucleótidos mientras que una molécula de ADN, consta de dos cadenas de nucleótidos enrolladas sobre sí mismas, formando una doble hélice.

El ARN celular posee una longitud que va desde menos de cien hasta varios miles de nucleótidos. Las moléculas de ADN celular pueden ser tan largas como varios cientos de millones de nucleótidos. Estas grandes unidades de ADN, en asociación con ciertas proteínas, constituyen a los **cromosomas**. Los cromosomas son los portadores del material hereditario, los **genes**. Los genes son segmentos de ADN que se encuentran a lo largo de los cromosomas y que constituyen las unidades de herencia. Un gen típico consiste de cientos de miles de nucleótidos. La secuencia de nucleótidos en la molécula de ADN es el almacén de toda la información genética aportada por los cromosomas.

Cromatina y cromosomas

En los procariotas, la molécula de ADN se localiza en el citoplasma y consiste principalmente de un anillo de ADN y proteínas asociadas. El ADN eucariótico se localiza en el núcleo celular, ya sea en forma de cromatina u organizado en cromosomas individuales. Tanto la cromatina como los cromosomas son lo mismo, ADN y proteínas, pero en diferentes etapas de condensación. Cuando la célula no está dividiéndose, el ADN es una maraña de hilos delgados o hebras extendidas, llamado **cromatina**. Cuando la célula va a dividirse, las hebras se enrollan haciéndose más gruesas y cortas, formando así a los **cromosomas**. Los cromosomas miden de 5 a 20 micrómetros de longitud aproximadamente, en cambio, estos mismos cromosomas en su fase de cromatina miden de 10 mil a 40 mil micrómetros de longitud.

Actualmente se sabe que el ADN está plegado, compactado y enrrollado en al menos cinco niveles de enrollamiento para constituir a los cro-

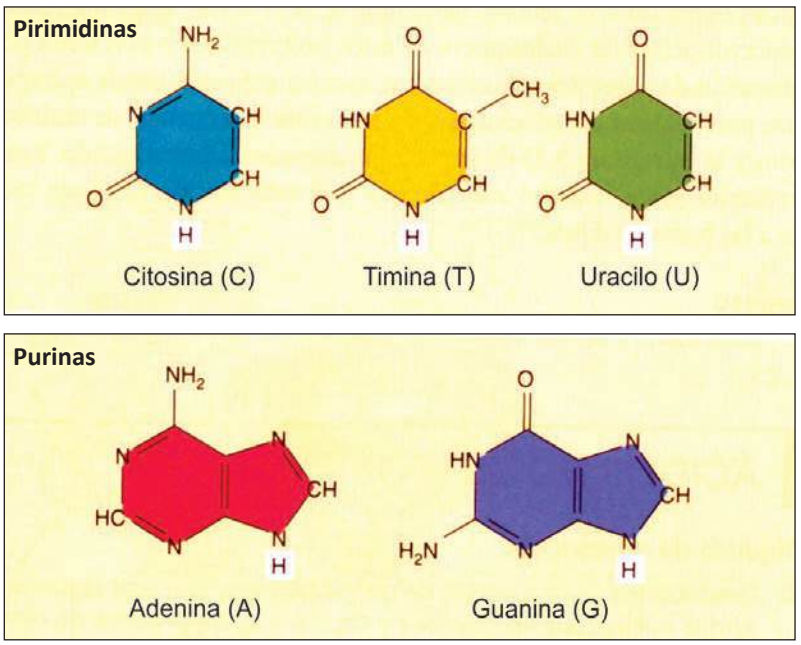


Figura 6.3 *Las cinco bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos. Las bases citosina (C), timina (T) y uracilo (U) son pirimidinas, que contienen un único anillo; las bases adenina (A) y guanina (G) son purinas, que contienen un par de anillos fusionados. La timina se encuentra sólo en el ADN y el uracilo sólo en el ARN.*

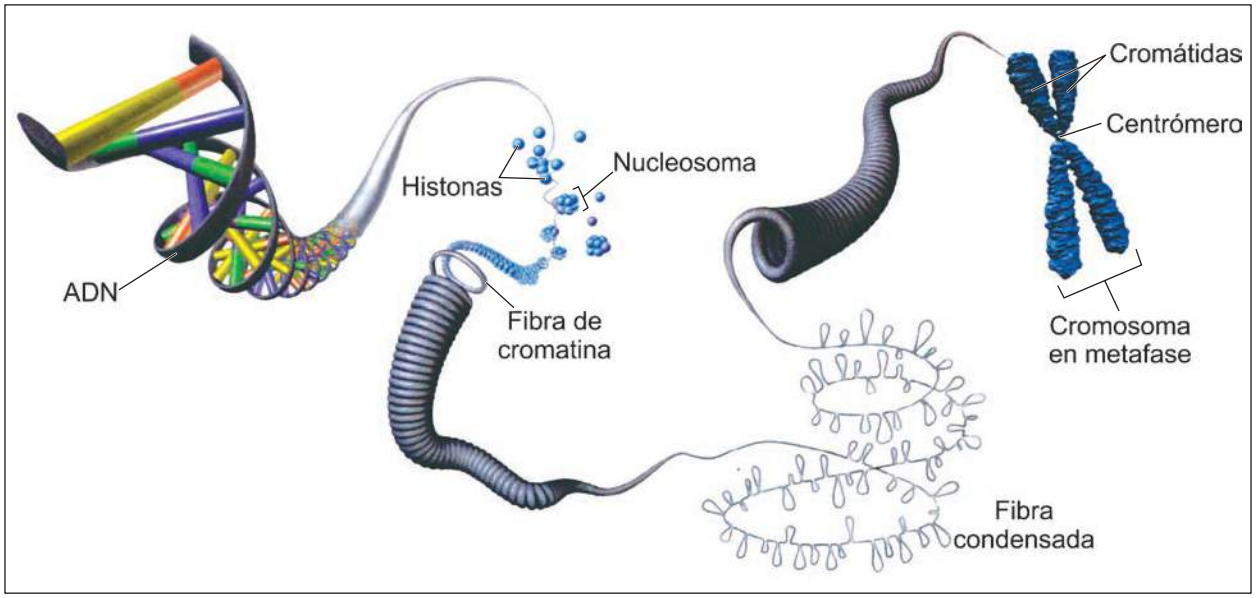


Figura 6.4 *Niveles de organización del ADN. El ADN se enrolla alrededor de histonas para formar los nucleosomas, los cuales a su vez se enrollan para formar fibras de cromatina, las cuales se compactan aún más para formar los cromosomas que son visibles en la etapa de metafase de la mitosis.*

mosomas. Primero, el ADN se enrolla apretadamente alrededor de un grupo de proteínas de forma granular llamadas **histonas** formando un **nucleosoma**. Los nucleosomas luego se agrupan en fibras de cromatina, que se enrollan aún más para formar al **cromosoma**. Este proceso de condensación del ADN es vital y maravilloso, ya que permite que moléculas tan grandes ocupen un espacio tan reducido como es el núcleo celular. Observa la figura 6.4.

Hoy tenemos datos de que la longitud de un cromosoma humano varía entre 51 millones y 245 millones de pares de bases. Si una hebra de ADN de 140 millones de nucleótidos de largo se extendiera en línea recta, mediría alrededor de 5 centímetros de largo. ¿Cómo es que cabe todo este ADN dentro del núcleo de una célula microscópica? La respuesta es debido a este proceso de condensación del ADN.

Estructura del ácido desoxirribonucleico (ADN)

La era moderna de la biología molecular comienza en 1953, cuando dos jóvenes científicos el biólogo estadounidense **James Watson** y el físico británico **Francis Crick** propusieron la estructura del ADN. La estructura propuesta era la de una doble hélice, entrelazada y sumamente larga. Esta estructura concordó con todos los datos que se tenían hasta ese momento sobre el ADN y además explicaba su importante papel biológico, es decir, demostró como la molécula podía contener la información para sintetizar proteínas y al mismo tiempo, servir como su propio molde o patrón para su duplicación.

Cuando Watson y Crick se interesaron en el problema de la estructura molecular del ADN, diversos investigadores ya tenían muchos datos acerca de las características químicas y físicas del

ADN. Watson y Crick en realidad no realizaron ningún experimento ni recogieron nuevos datos sino que integraron y examinaron todos los datos que se tenían acerca del ADN. Estos eran los siguientes:

- La molécula de ADN era muy grande, larga y delgada y estaba compuesta de nucleótidos que contenían las bases nitrogenadas adenina, guanina, timina y citosina.
- Las fotografías de la molécula de ADN obtenidas mediante la técnica de difracción de rayos X reflejaban con certeza que el ADN tiene la forma de una hélice. La física inglesa **Rosalind Franklin**, trabajando en el laboratorio del físico **Maurice Wilkins**, era la autora de esas fotografías. La difracción de rayos X es un potente método para determinar la estructura tridimensional de una molécula. Cabe señalar que Franklin realizó estos estudios durante tres años, de 1951 a 1953. Estos datos fueron cruciales para determinar la estructura del ADN.
- Regla de Chargaff. El bioquímico estadounidense **Edwin Chargaff**, analizó la cantidad de adenina, guanina, timina y citosina en el ADN de varias especies de organismos. Chargaff encontró que, en una misma especie, la cantidad de guanina casi iguala la cantidad de citosina y la cantidad de adenina casi iguala la cantidad de timina. Estas equivalencias se conocen como **regla de Chargaff**: C=G y T=A.

Composición porcentual del ADN en varias especies

	Purinas		*Pirimidinas*	
Fuente del ADN	***Adenina***	***Guanina***	***Citosina***	***Timina***
Ser humano	30.4 %	19.6 %	19.9 %	30.1 %
Trigo	28.1	21.8	22.7	27.4
E. Coli	24.7	26.0	25.7	23.6
Erizo de mar	32.8	17.7	17.3	32.1
Rata	28.6	21.4	21.5	28.4

Tabla 6.1 *Estos datos publicados en 1950 por Chargaff, muestran que aunque la composición de bases nitrogenadas varía de especie a especie, en una misma especie la C=G y la T=A.*

A partir de estos datos, Watson y Crick se dieron a la tarea de construir modelos tridimensionales a escala de la molécula del ADN. Para esto, utilizaron materiales como alambre, hojalata y cartón. Tras varios intentos, llegaron a un modelo que estaba de acuerdo con los datos existentes. A continuación se describirá este modelo.

El ADN consta de dos hebras de polinucleótidos asociadas que se entrelazan entre sí para formar una doble hélice o escalera en caracol. En bioquímica, el sustantivo hélice se refiere a una cadena en forma de espiral.

Cada unidad de construcción del ADN es un nucleótido que consiste en un azúcar pentosa, la **desoxirribosa**, un **fosfato**, y **una de las cuatro bases nitrogenadas**. Las bases incluyen dos puri-

nas, **adenina (A)** y **guanina (G)**, y dos pirimidinas, **timina (T)** y **citosina (C)**. La parte variable del ADN es el orden en que se acomodan las bases.

Los nucleótidos se unen mediante **enlaces covalentes** para formar un esqueleto de azúcar-fosfato alternado. El carbono 3' de un azúcar se une al fosfato 5' del azúcar adyacente para formar un **enlace 5' fosfodiéster**. Aquí, cabe aclarar que es usual en la química orgánica numerar los átomos de una molécula usando cierto sistema. En este caso, los carbonos de los azúcares se numeran con el símbolo prima ('), por ejemplo 1' (se lee "uno prima"), 2' (dos prima), 3' (tres prima), etc. Observa en la figura 6.5 como la base nitrogenada está unida al carbono 1' del azúcar, y el fosfato está unido al carbono 5'.

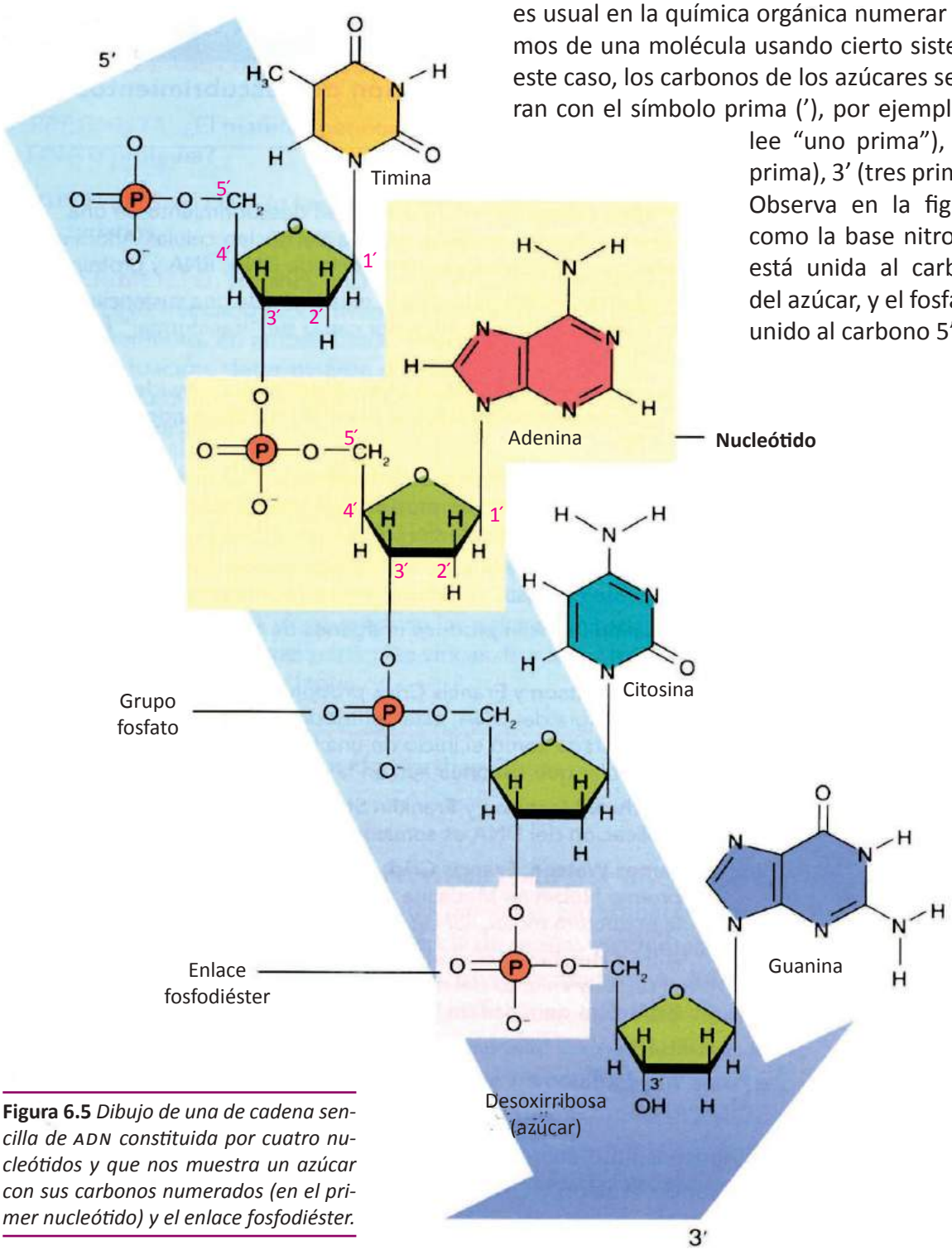


Figura 6.5 *Dibujo de una de cadena sencilla de ADN constituida por cuatro nucleótidos y que nos muestra un azúcar con sus carbonos numerados (en el primer nucleótido) y el enlace fosfodiéster.*

Los dos esqueletos de azúcar-fosfato se ubican en la parte exterior de la doble hélice y las bases se proyectan hacia el interior. Donde A está apareada con T a través de **dos enlaces de hidrógeno** y G está apareada con C a través de **tres enlaces de hidrógeno**. Esta correspondencia entre los nucleótidos A-T y G-C se llama **apareamiento de bases**. La presencia de miles de estos enlaces de hidrógeno contribuye en gran medida a la estabilidad de la doble hélice. La doble hélice tiene un diámetro constante de 2 nanómetros (nm) en toda la longitud de la molécula. Cada par de bases está exactamente a 0.34 nm de los pares adyacentes arriba y abajo. Puesto que en cada vuelta completa de la hélice hay exactamente 10 pares de bases, cada vuelta mide 3.4 nm de largo. En la parte exterior del ADN los espacios entre las cadenas entrelazadas forman dos hendiduras helicoidales de distinto ancho, descritas como **surco mayor** y **surco menor**. Las secuencias de bases en las dos cadenas son **complementarias** entre sí, es decir, la secuencia de nucleótidos en una cadena determina la secuencia de nucleótidos complementaria en la otra. Por ejemplo, si una cadena tiene la siguiente secuencia: AGCTAC entonces la otra cadena tiene la secuencia complementaria: TCGATG. Además, las dos cadenas están dispuestas en sentidos opuestos, es decir, la dirección desde el extremo 5' a 3' de una es opuesta a la de la otra, ésta es la razón por lo que se dice que son **antiparalelas** la una respecto a la otra.

El tamaño de las moléculas de ADN es variable y va desde algunos cientos de nucleótidos en algunos virus hasta 10^6 residuos en bacterias (1 mm de largo) o 10^9 nucleótidos en el ADN cromosómico humano (8.2 cm de longitud). Por esta razón es difícil aislar moléculas intactas de ADN.

En abril de 1953, Watson y Crick conmovieron a la comunidad científica al publicar en la revista Nature un pequeño pero histórico artículo de solo dos páginas en el que describían su modelo molecular del ADN. Además, sugirieron un posible método de replicación para el ADN, el cual se deducía de su estructura.

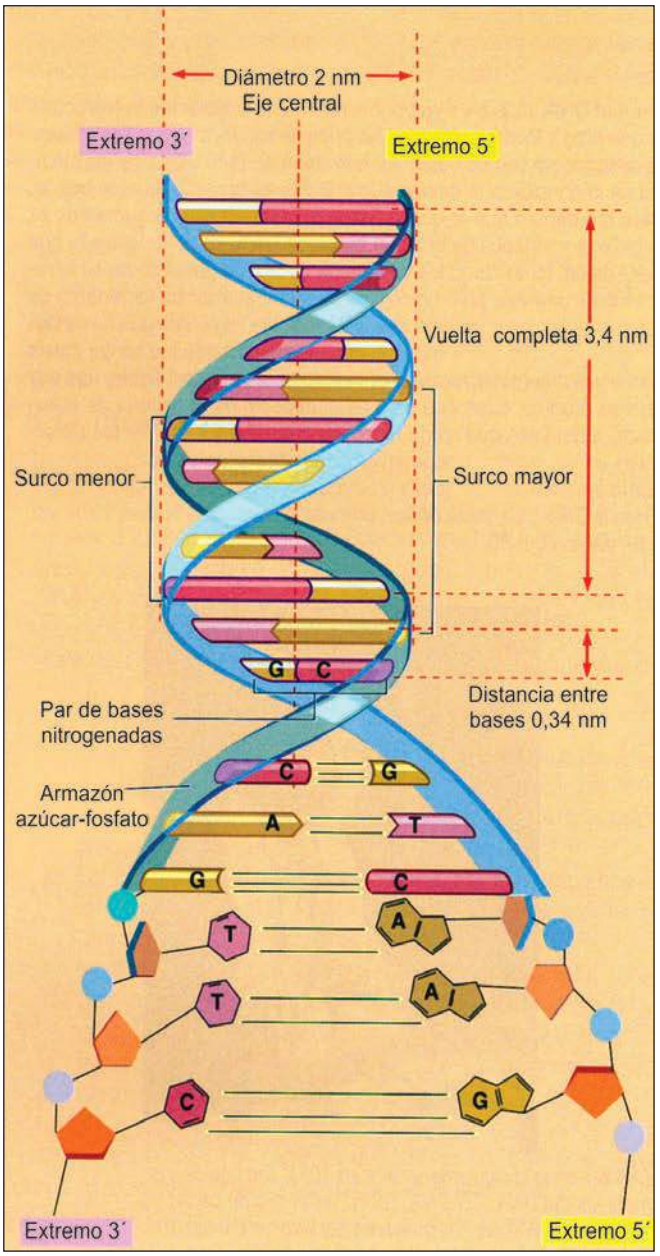


Figura 6.6 *Modelo de la doble hélice del ADN. Las medidas son las obtenidas de las fotografías de difracción de rayos X tomadas por Rosalind Franklin.*

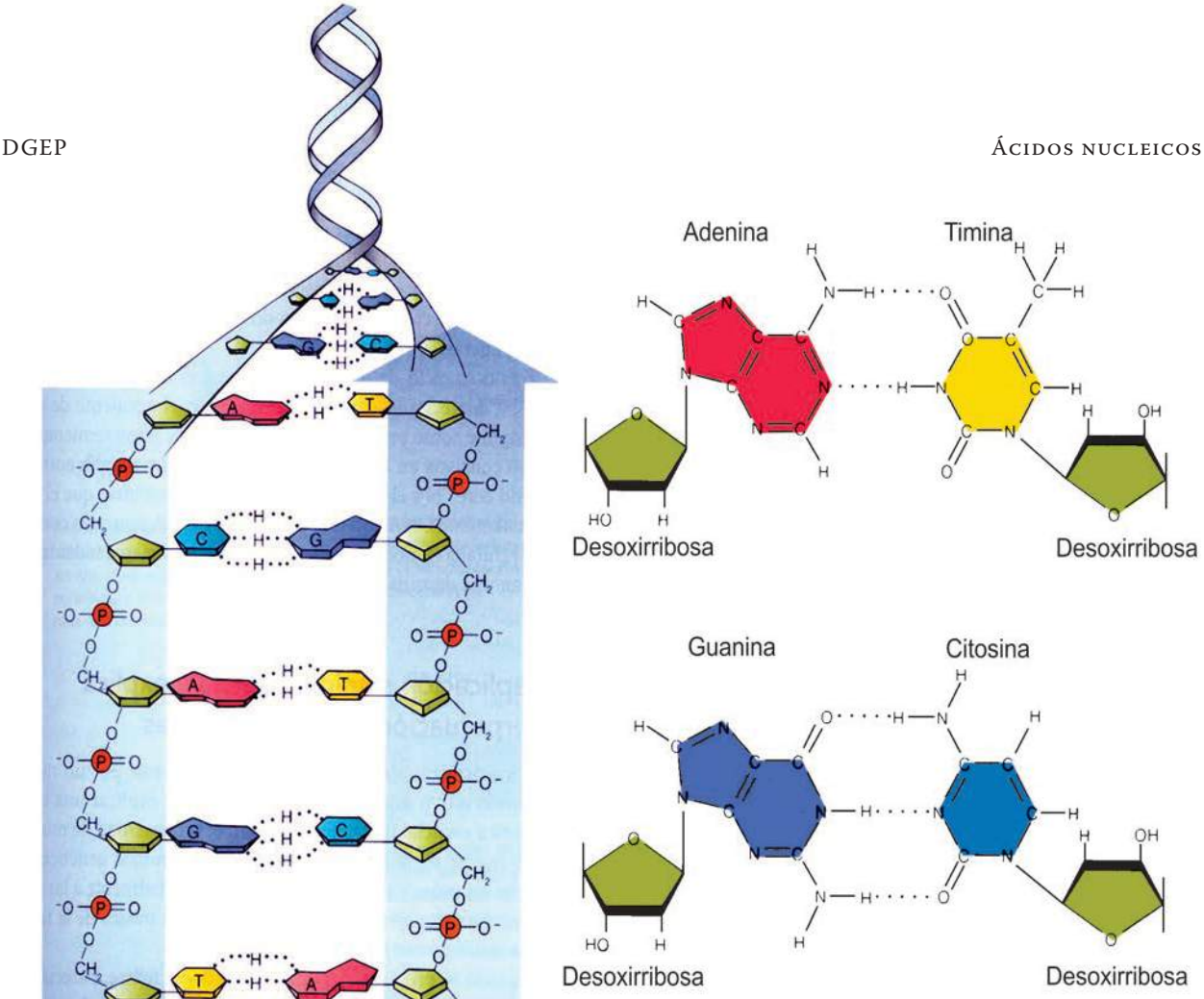


Figura 6.7 *a) Estructura química de la doble hélice de ADN. Este esquema extendido muestra los dos esqueletos de azúcar-fosfato que se unen entre los pares de bases; b) Apareamiento de bases. Enlaces o puentes de hidrógeno entre los pares de bases adenina (A) y timina (T) y guanina (G) y Citosina (C). El par A-T presenta dos puentes de hidrógeno; el par G-C contiene tres. Observa que las cadenas son antiparalelas.*

En 1962, Watson, Crick y Wilkins recibieron el Premio Nobel "por sus descubrimientos concernientes a la estructura molecular de los ácidos nucleicos y su importancia en la transferencia de información en la materia viva". Lamentablemente, Rosalind Franklin merecedora a todas luces de este importante premio, murió de cáncer en 1958 a la edad de 37 años. A pesar de lo importante de sus estudios de difracción de rayos X, Franklin tuvo muy poco reconocimiento público.

Función del ADN

El ADN constituyente de los cromosomas es la molécula donde se encuentra codificada toda la información genética de un organismo. La información genética en el ADN se encuentra en la secuencia de los cuatro nucleótidos que lo componen. La información genética dicta la síntesis de proteínas, que son las verdaderas encargadas de construir las estructuras biológicas y de desarrollar las funciones de un ser vivo.

Dado que un organismo tiene de millones (en las bacterias) a miles de millones (en las plantas y animales) de nucleótidos, las moléculas de ADN son capaces de codificar una cantidad muy grande de información.

Actualmente, se conoce que el número de pares de bases es de aproximadamente 3.000 millones en los 46 cromosomas humanos. El genoma humano se decodificó por completo en el año 2003, luego de más de 10 años de trabajo continuo, y ahora se sabe que contiene información correspondiente a unos 30,000 genes.

El **genoma humano** es la totalidad de la información genética en las células humanas; incluye el contenido de ADN, tanto del núcleo como de la mitocondria. En el genoma está codificada la información necesaria para la expresión del fenotipo. El fenotipo de un organismo es la apariencia externa, por ejemplo, el color de la piel, de ojos, tipo de cabello, lacio o rizado, etc.

Otros nucleótidos libres que no forman parte de los ácidos nucleicos

Además de ser los constituyentes de los ácidos nucleicos, los nucleótidos y sus derivados cumplen otras funciones primordiales en las células. Cuando un nucleótido se modifica por la unión de dos grupos fosfato, se convierte en un transportador de energía, necesario para que se produzcan numerosas reacciones químicas celulares. El **trifosfato de adenosina** o **ATP**, que se compone de adenina, ribosa y tres grupos fosfato, es la molécula biológica proveedora de energía química más importante. El ATP es conocida como la "moneda energética" de las células, ya que es un depósito de energía química utilizada por las células en casi todos los procesos biológicos. Al igual que el ATP, el trifosfato de guanosina (**GTP**), un nucleótido que contiene la base guanina, puede transferir energía al transferir un grupo fosfato y también participa en la señalización celular. Además las células contienen varios dinucleótidos como el **FAD** (flavin adenin dinucleótido) y el **NAD** (dinucleótido de nicotinamida y adenina), coenzimas involucradas en reacciones de óxido-reducción.

Replicación del ADN

Un aspecto que distingue a los seres vivos es la herencia de sus características anatómicas y fisiológicas a su descendencia. La información se localiza en el genoma o conjunto de cromosomas constituidos por el ADN. Es necesario que esta información pueda copiarse y transmitirse de padres a hijos a fin de preservar las características de las especies. El proceso por el que el ADN de una célula se copia o se duplica se denomina **replicación**.

Watson y Crick propusieron un mecanismo de **replicación semiconservativa** según el cual, en el momento de la replicación cromosómica, la molécula de ADN se abre por el medio y las bases apareadas se separan al nivel de los puentes de hidrógeno. A medida que se separan, las dos cadenas actúan como moldes, cada una dirigiendo la síntesis de una nueva cadena complementaria a lo largo de toda su extensión, utilizando las materias primas de la célula. Recuerda que la complementariedad de las bases solo permite dos tipos de apareamiento: timina con adenina y guanina con citosina. De esta manera, cada cadena forma una copia de su cadena complementaria original y se producen dos réplicas exactas de la molécula. El mecanismo se denomina de repli-

cación semiconservativa porque cada molécula hija conserva una cadena original de la molécula progenitora y sirve de molde para la síntesis de una cadena nueva.

Replicación semiconservativa

Este mecanismo de replicación del ADN fue comprobado experimentalmente por los biólogos estadounidenses **Matthew Meselson** y **Franklin Stahl** en 1958.

La replicación del ADN es un proceso que ocurre sólo una vez en cada generación celular. En la mayoría de las células eucarióticas, este proceso ocurre durante la **fase S del ciclo celular**, antes de que se realice la división celular (mitosis y la meiosis). El proceso de replicación semiconservativa implica diversas enzimas, proteínas y ARN cebadores y ocurre en tres etapas principales: desenrollado, apareamiento de bases y ensamblado.

- **Desenrollado**. La replicación del ADN empieza en lugares específicos de la molécula de ADN, llamados **orígenes de replicación**, donde se desenrollan pequeños tramos de la doble hélice. Las **ADN helicasas** son enzimas responsables del desenrollado y la apertura de la doble hélice. Las ADN helicasas se unen al ADN en el origen de replicación y rompen los puentes de hidrógeno, separando por tanto las dos cadenas. Una vez que las ADN helicasas separan las cadenas, las proteínas, denominadas **proteínas de unión a cadena sencilla** se unen a las cadenas de ADN de cadena sencilla y las estabilizan; esto evita que la doble hélice se vuelva a formar hasta que se hayan replicado las cadenas. Al desenrollarse la hélice, otra enzima, la **ARN primasa**, añade un corto segmento de ARN llamado **ARN cebador**, en cada hebra de ADN.
- **Apareamiento de bases**. Las dos cadenas de ADN se replican a la vez en el punto de unión entre las cadenas separadas, que es una estructura en forma de Y, denominada **horquilla**

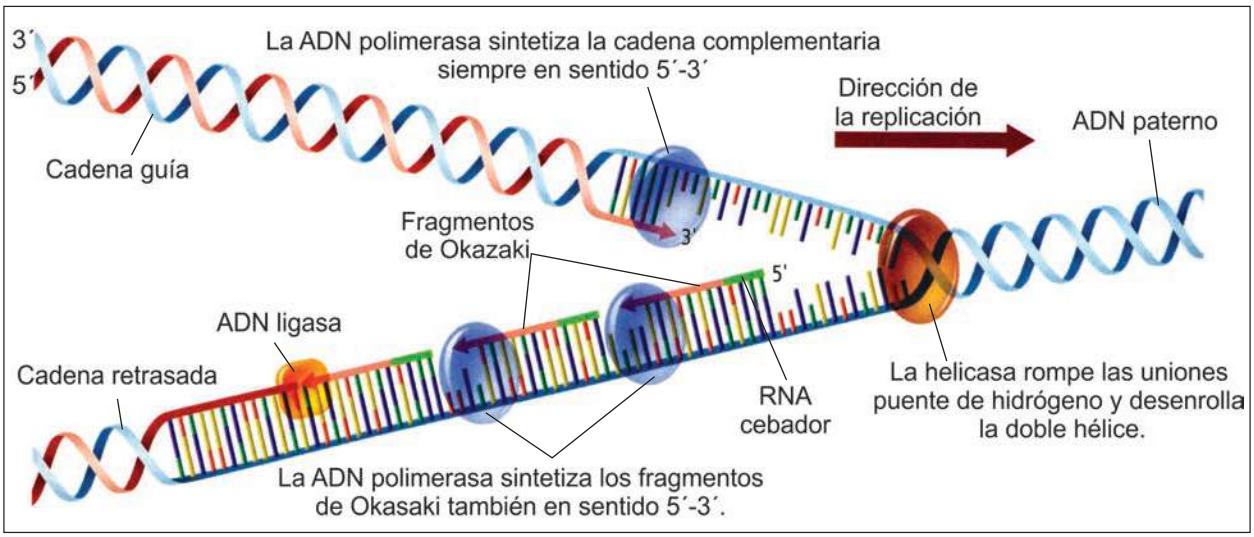


Figura 6.8 *Replicación del ADN. Las cadenas de ADN se separan durante la replicación a medida que cada cadena original sirve de plantilla para nuevas cadenas.*

de replicación. La posición de la horquilla de replicación se mueve constantemente a medida que avanza la replicación. Dos moléculas de **ADN polimerasa** idénticas catalizan la replicación (o sea la adición de nucleótidos). Una de ellas añade nucleótidos al extremo 3' de la nueva cadena que crece siempre hacia la horquilla de replicación. Dado que esta cadena se sintetiza de forma continua y uniforme, se le llama **cadena líder**.

Una segunda molécula de ADN polimerasa añade nucleótidos al extremo 3' de la otra cadena nueva llamada **cadena retrasada**, la cual crece siempre en sentido opuesto (antiparalelo) a la horquilla de replicación. La ADN polimerasa la sintetiza discontinuamente en pequeños segmentos llamados **fragmentos de Okazaki** en honor a su descubridor, el biólogo molecular japonés Reiji Okasaki. Ambas cadenas (líder y retrasada) se sintetizan cerca de la horquilla en sentido 5'- 3'.

- **Ensamblaje**. Cuando la ADN polimerasa se acerca al ARN cebador en el ADN, degrada y reemplaza al cebador con nucleótidos de ADN. La **ADN ligasa** une entonces las dos secciones formando los enlaces fosfodiéster. La terminación de la replicación resulta en la formación de dos moléculas hijas, cada una con una cadena vieja y una cadena nueva (recien sintetizada).

Al observar el ADN eucariótico en replicación con el microscopio electrónico, la zona de síntesis aparece como un "ojo", llamado **burbuja de replicación**. Como el ADN de un cromosoma eucariota tiene muchos orígenes donde la replicación puede iniciarse de manera simultánea, se forman múltiples burbujas de replicación. La replicación avanza en forma **bidireccional**, es decir, la síntesis y las dos horquillas de replicación se producen en direcciones opuestas desde un origen único. Estas burbujas crecen a medida que la replicación del ADN avanza, hasta que, finalmente, las burbujas se encuentran y se fusionan, quedando así el cromosoma replicado. El cromosoma ahora es un **cromosoma doble**.

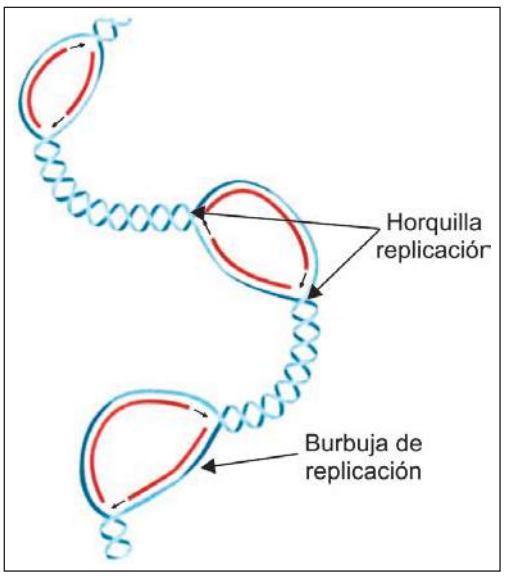


Figura 6.9 *En la replicación del ADN eucariota se forman múltiples "burbujas" de replicación.*

Estructura del ácido ribonucleico (ARN)

Al igual que el ADN, el **ARN**, es un polímero de nucleótidos, sin embargo, existen tres diferencias importantes entre ellos.

- El azúcar en el ARN es **ribosa** en lugar de desoxirribosa.
- El ARN por lo general tiene **una sola cadena** y no cadenas dobles.
- El ARN contiene **uracilo** en lugar de timina.

Hay tres clases principales de ARN: ARN mensajero (ARNm), ARN ribosomal (ARNr) y ARN de transferencia (ARNt). Estos tres tipos de ARN existen tanto en células procariotas como en eucariotas. Cabe aclarar, que existen otros tipos de ARN tales como el ARN mitocondrial, el ARN cebador, el ARN viral, etc.

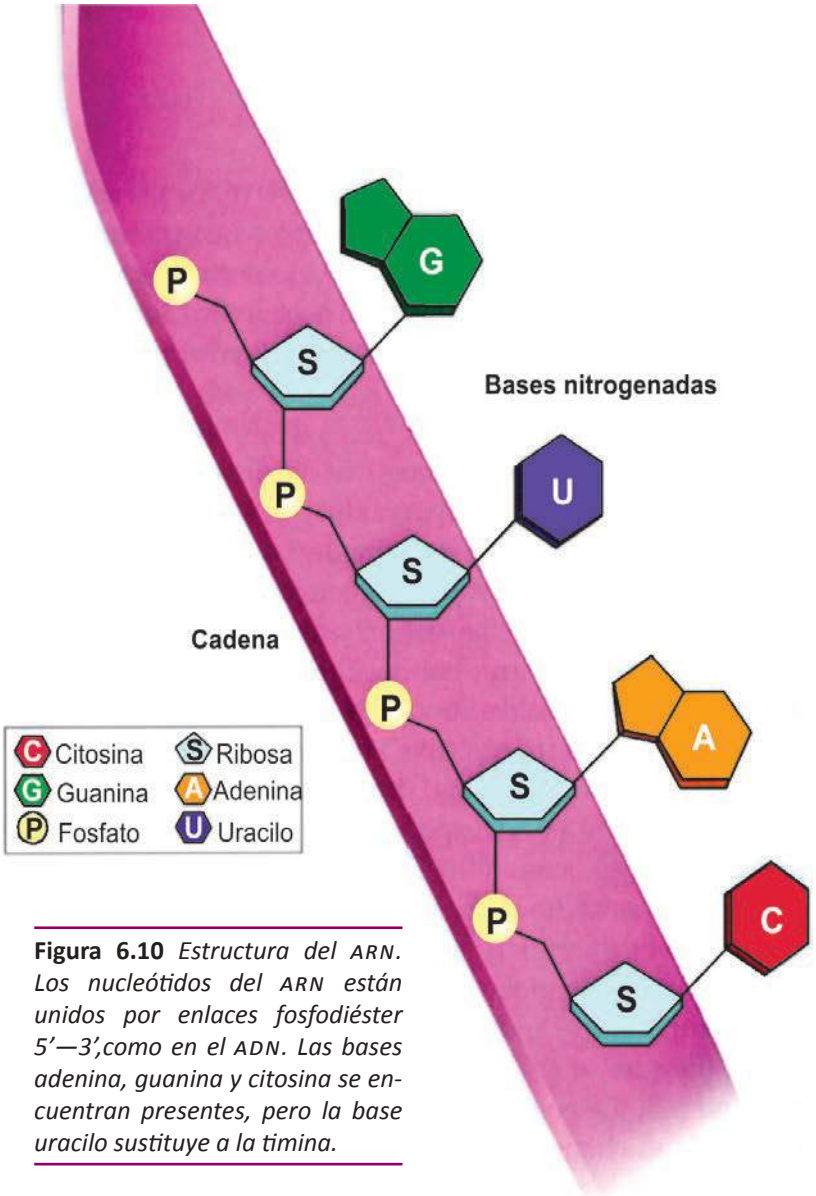


Figura 6.10 *Estructura del ARN. Los nucleótidos del ARN están unidos por enlaces fosfodiéster 5'—3',como en el ADN. Las bases adenina, guanina y citosina se encuentran presentes, pero la base uracilo sustituye a la timina.*

ARN mensajero (ARNm)

Es una cadena larga de ARN que se forma de manera complementaria a una cadena de ARN. El **ARN mensajero** codifica las secuencias de los aminoácidos en la síntesis proteíca, es decir, dirige la síntesis de las proteínas. Viaja del núcleo hacia el ribosoma en el citoplasma, transportando la información genética, la cual se encuentra en su secuencia de bases.

ARN ribosomal (ARNr)

El **ARN ribosomal** es el componente principal de los ribosomas, organelos donde se sintetizan las proteínas. El ARN ribosomal constituye hasta un 65 % del peso del ribosoma, el resto está constituido por proteínas.

ARN de transferencia (ARNt)

El **ARN de transferencia** como su nombre lo indica transfiere, transporta o lleva aminoácidos al ribosoma durante la síntesis de proteínas. EL ARNt consiste en una cadena sencilla de ARN que se pliega sobre sí misma adquiriendo una forma específica. Cada uno de los 20 aminoácidos que constituyen a las proteínas tiene uno o más ARNt correspondiente, a los que se une para ser transportado a los ribosomas.

Comparación de la estructura del ADN y de la estructura del ARN		
	ADN	ARN
Azúcar	Desoxirribosa	Ribosa
Bases	Adenina, guanina, timina, citosina	Adenina, guanina, uracilo, citosina
Cadenas	Doble cadena, con bases apareadas	Una cadena
Hélice	Sí	No

Tabla 6.2 *Comparación de la estructura del ADN y ARN.*

Comparación de tres tipos de ARN			
Nombre	**ARNm**	**ARNr**	**ARNt**
Función	Lleva información genética del ADN nuclear a los ribosomas en el citoplasma, para dirigir la síntesis de proteínas	Se asocia con la proteína para formar el ribosoma	Transporta aminoácidos al ribosoma
Ejemplo			

Tabla 6.3 *Comparación de los tres tipos de ARN.*

Síntesis de ARN (transcripción)

Actualmente los genetistas aceptan que el mecanismo básico de lectura y expresión de los genes es del ADN al ARN a la proteína. Los científicos se refieren a este mecanismo como el **dogma central de la biología (ADN → ARN → proteína):** el ADN dirige la síntesis de ARN, el cual sirve de guía para la producción de proteínas. Ellas ayudan a determinar las características de los organismos. Estos procesos son universales ya que ocurren en todos los seres vivos, desde las bacterias hasta los seres humanos (observa la figura 6.11).

El primer paso del dogma central es la síntesis de ARNm a partir del ADN, en un proceso llamado **transcripción**. El ADN no participa de forma directa en la síntesis de las proteínas, ya que no sale nunca del núcleo. La instrucción del emsamblaje ordenado de los aminoácidos para constituir una proteína la lleva el ARNm. Éste es una copia complementaria de la secuencia de bases de una de las cadenas de ADN del gen que codifica a dicha proteína.

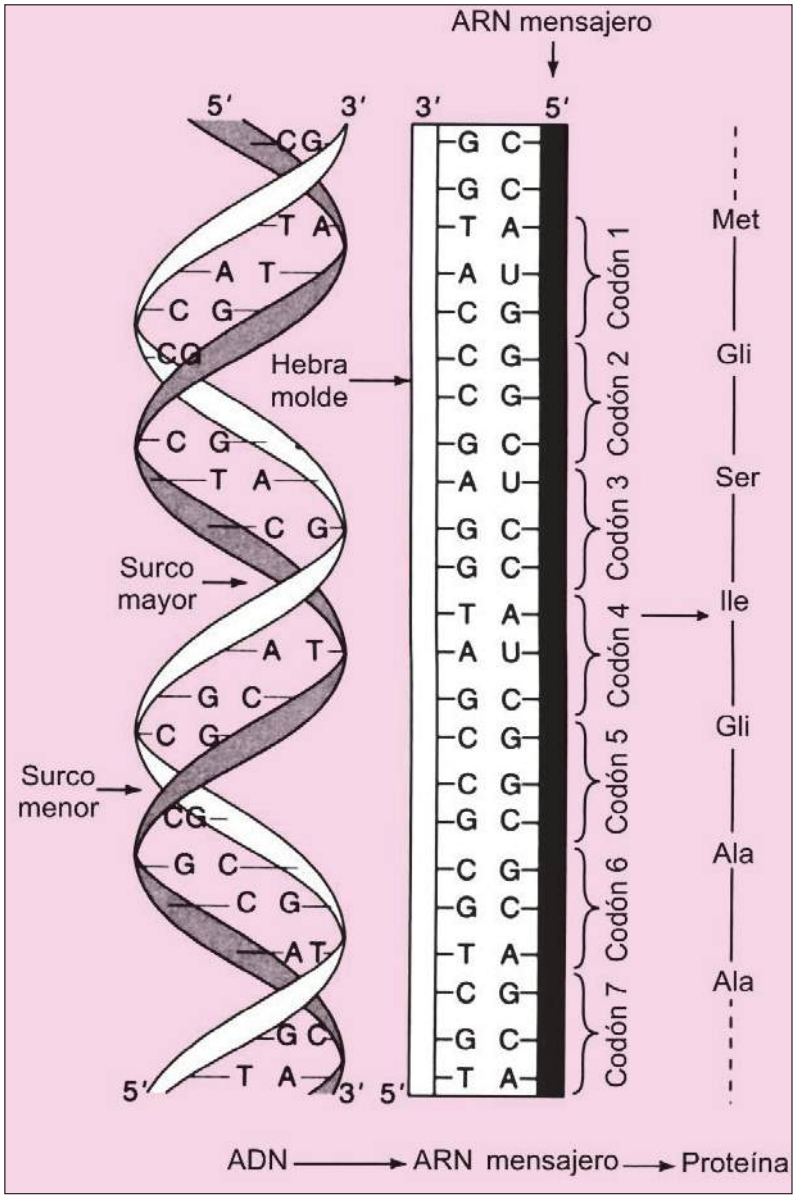


Figura 6.11 *En la secuencia de nucleótidos del ADN reside la información genética que contienen los cromosomas; a partir del ADN se sintetiza ARN mensajero que se traduce finalmente en proteínas.*

Al igual que con la replicación, las dos cadenas de ADN primero deben separarse en el lugar donde iniciará el proceso. En la transcripción, sin embargo, sólo una de las cadenas de ADN sirve como **plantilla** o **molde** o **patrón** para la molécula de ARN que se está formando. La transcripción requiere la enzima **ARN polimerasa** que regula la síntesis del ARN. La ARN polimerasa se une al ADN durante la transcripción y separa las cadenas del ADN. Después, usa una de las cadenas de ADN como plantilla para ensamblar nucleótidos en una cadena complementaria de ARN. La ARN polimerasa no se une a cualquier parte del ADN, se une solamente a **promotores**, que son regiones de ADN con una secuencia de bases específica que actúan como señales que le enseñan a la ARN polimerasa cuando empezar exactamente la síntesis de ARN. Lo mismo sucede al final de la síntesis, existe otra señal que le indica a la enzima cuando terminar, la señal **stop**, o **alto** en español.

Los nucleótidos que integran la nueva molécula de ARN ocupan sus lugares, uno a la vez a lo largo de la cadena molde del ADN, al formar enlaces de hidrógeno con las bases de los nucleótidos ahí existentes. Los nucleótidos del ARN siguen las mismas reglas de apareamiento de bases que en la replicación del ADN, excepto que uracilo (U), en lugar de la timina (T), se aparea con la adenina (A). La ARN polimerasa se mueve a lo largo de la cadena molde del ADN en la dirección 3′—5′. Por último, se libera el ARNm y la ARN polimerasa se separa del ADN. El nuevo ARNm sale del núcleo hacia el citoplasma a través de los poros nucleares. El ARNm lleva la información genética del ADN nuclear a los ribosomas en el citoplasma, para dirigir la síntesis de proteínas.

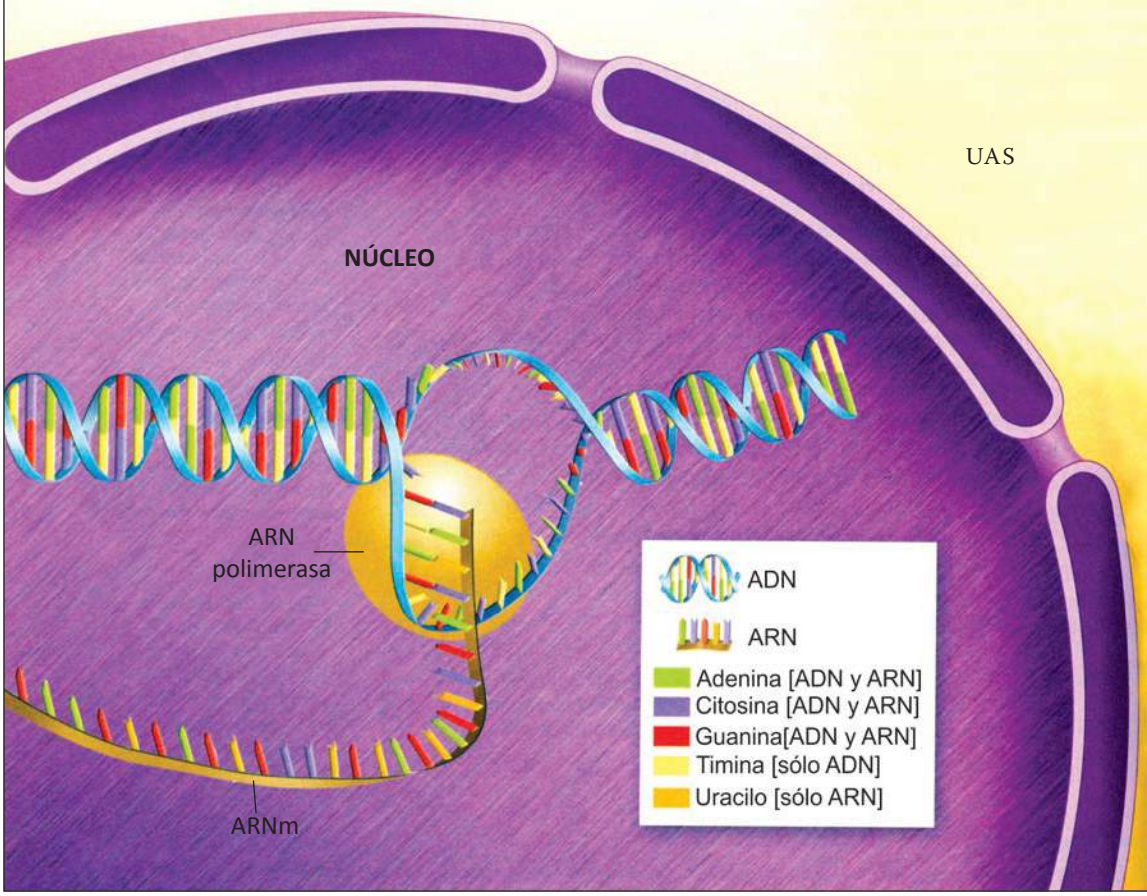


Figura 6.12 *Dibujo que nos muestra la síntesis del ARNm o transcripción que se lleva a cabo en el núcleo celular. Observa los poros nucleares que es por donde el ARNm recién sintetizado sale hacia el citoplasma.*

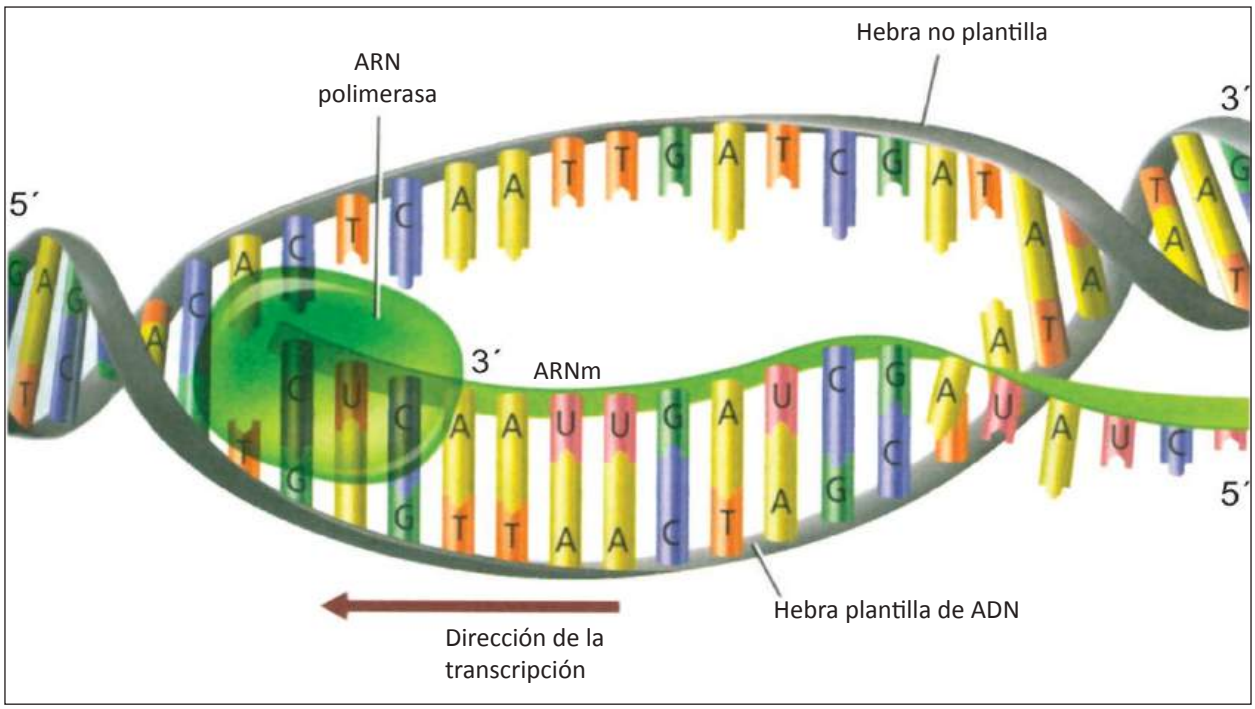


Figura 6.13 *Durante el proceso de transcripción, la enzima ARN polimerasa usa una cadena de ADN como molde para ensamblar nucleótidos complementarios en una cadena de ARNm.*

El siguiente proceso es la **síntesis de proteínas** o **traducción** que se lleva a cabo, como ya sabes, en los ribosomas del citoplasma dirigidos por el ARNm. Este proceso será estudiado en el sexto semestre en la asignatura de Biología celular.

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. ¿Qué pistas ayudaron a los científicos Watson y Crick a resolver la estructura del ADN?

   _____

   _____

   _____

2. ¿Cuáles son los componentes químicos del ADN?

   _____

   _____

3. Dibuja la estructura general de un nucleótido. ¿Qué partes son idénticas en todos los nucleótidos y cuáles pueden variar?

   _____

   _____

   _____

   _____

4. ¿Cuáles bases son complementarias entre sí? ¿Cómo se mantienen unidas estas bases en la doble hélice del ADN?

   _____

   _____

5. ¿Por qué son tan esenciales los enlaces de hidrógeno para la estructura del ADN?

   _____

6. A lo largo de la doble hélice, está la secuencia de nucleótidos GGCATAGGT. ¿Cuál es la secuencia complementaria para la otra cadena de ADN?

   _____

7. ¿Cuáles son los tres tipos principales de ARN? ¿Cuál es la función de cada uno de ellos?

   _____

   _____

   _____

8. La secuencia que aparece a continuación, ¿pertenece a una molécula de ADN o de ARNm? ¿Cómo lo sabes? CUAAUGCCCUAGGGCACU

   _____

9. ¿Cuál es el significado del término apareamiento de bases? ¿De qué manera interviene el apareamiento de bases en la replicación del ADN?

_____

_____

10. ¿Cómo una célula produce el ARN?

_____

_____

11. ¿Por qué los procesos de replicación y transcripción se consideran universales?

_____

_____

12. ¿Cuál es el "dogma central" de la biología molecular?

_____

_____

_____

Indica cuál de las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

1. El trabajo de Watson, Crick, Franklin y Wilkins, probó la existencia de la estructura de doble hélice del ADN. ( )
2. La regla de Chargaff anuncia que, en el ADN la cantidad de citosina iguala la cantidad de adenina y la cantidad de timina iguala la cantidad de guanina. ( )
3. Las enzimas ADN helicasa, ADN polimerasa y ADN ligasa participan en la replicación de ADN. ( )
4. La cadena guía se sintetiza continuamente, pero la cadena retrasada se sintetiza discontinuamente y forma fragmentos de Okazaki. ( )
5. La síntesis de ARNm de la plantilla del ADN se llama traducción. ( )
6. El ADN se replica al hacer una cadena que es complementaria a cada cadena original. ( )
7. Las bases púricas son la citosina, la timina y el uracilo. ( )
8. La afirmación "el ADN se replica mediante un mecanismo semiconservativo" significa que cada doble hélice consiste en una cadena antigua y una recién sintetizada. ( )
9. El ARNr forma una parte importante del ribosoma. ( )
10. El ADN codifica el ARN, el que sirve luego de guía para la síntesis de proteínas. ( )

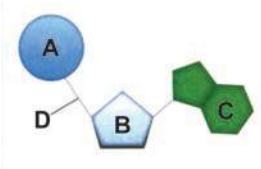
Elige la opción correcta para responder a la pregunta:

1. Si una sección de ADN tiene 27% timina, ¿cuánta citosina tiene?

   a) 23 %
   b) 27 %
   c) 46 %
   d) 54 %
   e) 95 %

2. En base a la siguiente figura ¿qué rótulo representa la parte codificadora del ADN?

   a) A
   b) B
   c) C
   d) D
   e) A y B son correctas



3. ¿Qué técnica utilizó Franklin para determinar muchas de las características físicas del ADN?

   a) La difracción de rayos X
   b) La transformación
   c) La microscopia electrónica de transmisión
   d) El marcaje con radioisótopos
   e) La microscopía electrónica de barrido

4. ¿Cuál es la enzima responsable de la separación de la cadena de ADN durante la replicación?

   a) ADN helicasa
   b) ADN ligasa
   c) ADN polimerasa
   d) ARN primasa
   e) ARN isomerasa

5. En los eucariotas, casi todo el ADN se encuentra en:

   a) El citoplasma
   b) Las histonas
   c) El núcleo
   d) Los ribosomas
   e) Los cloroplastos

6. ¿Cuál es la secuencia del ARNm para la cadena plantilla en la siguiente figura?

   a) 5 ’ATGTTTGATCTT 3’
   b) 5’ AUGUUUGAUCUU 3’
   c) 5’ TACAAACTAGAA 3’
   d) 5’ UACAAACUAGAA 3’
   e) Ninguna es correcta

7. En cromosomas eucariotas el ADN está firmemente enrollado alrededor de proteínas llamadas:

a) ADN polimerasas
b) Cromatinas
c) Histonas
d) Nucleótidos
e) Miosinas

8. El siguiente dibujo muestra el proceso de _____ del ADN:

a) Transcripción
b) Replicación
c) Transformación
d) Traducción
e) Ninguna es correcta

9. Cada cadena de ADN tiene un esqueleto que consiste en unidades alternantes de

a) Purinas y pirimidinas
b) Bases nucleotídicas
c) Puentes de hidrógeno
d) Desoxirribosa y fosfato
e) Azúcar y ATP

10. El ARN difiere del ADN en que la base _____ sustituye a _____.

a) Adenina; uracilo
b) Uracilo; timina
c) Guanina; uracilo
d) Citosina; guanina
e) Guanina; adenina

11. En la siguiente figura, las esferas azules más grandes, corresponden a:

a) Grupo fosfato
b) Desoxirribosa
c) Ribosa
d) Base nitrogenada
e) ADP

Anota cinco diferencias entre el ADN y el ARN:

ADN	ARN
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Construye en equipo un modelo de un segmento corto de ADN con diversos materiales. Presenten su modelo ante el grupo y expliquen sus componentes.

En la siguiente sopa de letras, localiza los nombres de tres procesos celulares y el nombre de los organelos donde se llevan a cabo. Anótalos abajo, explicando cada uno de ellos:

S	E	M	I	C	O	N	T	S	E	R	V	A	T	I
G	O	L	G	I	D	E	R	I	B	O	S	O	M	A
L	I	S	E	S	T	R	A	D	U	C	C	I	O	N
A	E	R	U	X	I	S	N	D	O	P	L	A	S	M
C	I	T	O	P	L	A	S	M	A	R	E	T	I	C
D	U	P	L	I	C	A	C	I	O	N	C	L	O	R
R	E	A	C	C	I	O	R	E	T	I	N	O	S	O
L	I	T	I	O	N	H	I	D	R	O	G	E	N	V
E	S	C	L	O	R	O	P	L	A	S	T	O	S	B
V	O	L	M	I	T	O	C	O	N	D	R	I	A	S
P	L	A	S	M	A	T	I	C	A	L	A	N	I	N
C	O	N	U	C	L	E	O	R	G	A	N	E	L	O
A	C	O	N	D	I	C	N	O	R	M	A	L	E	S

_____

_____

_____

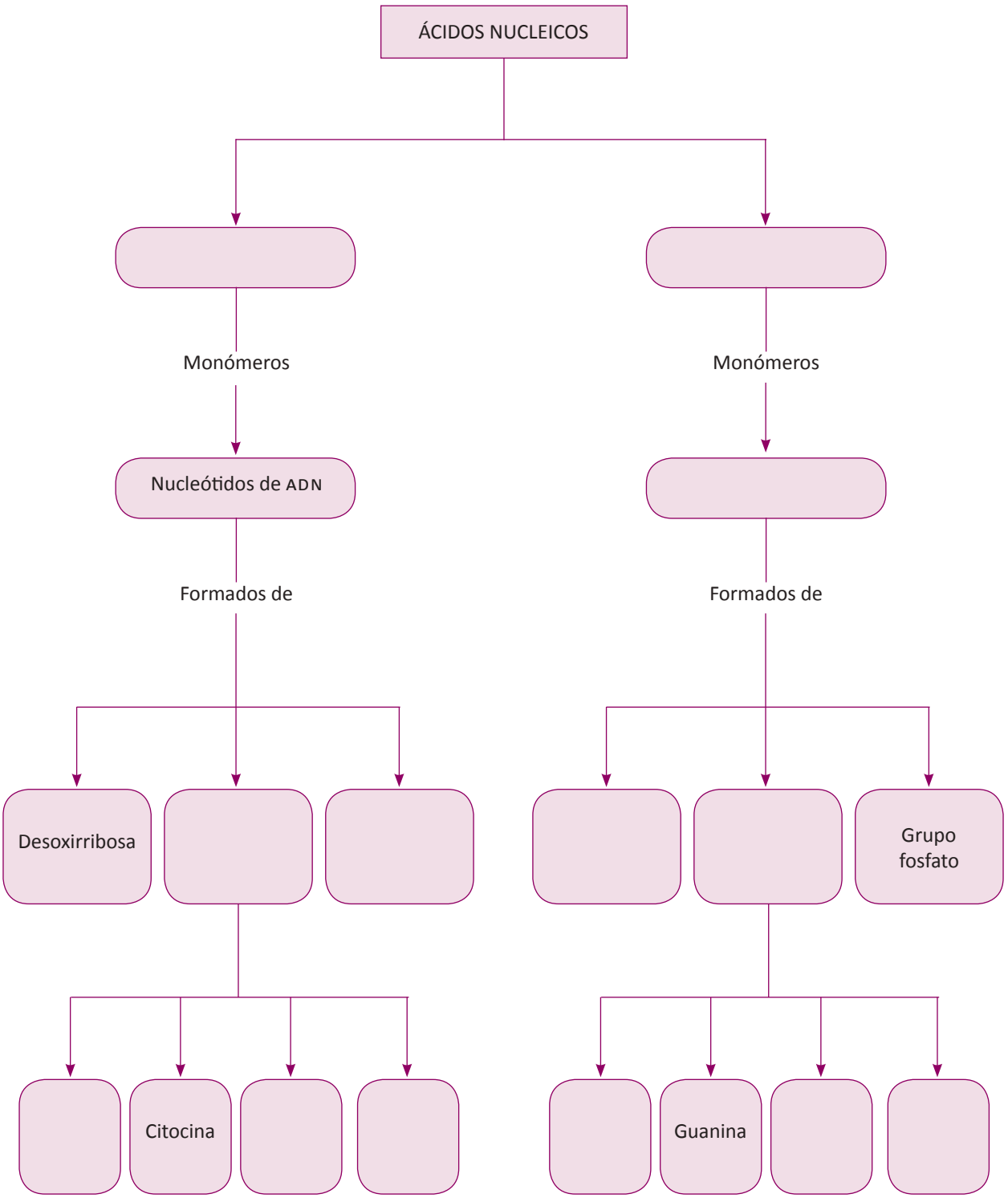
_____

_____

_____

_____

Completa el siguiente mapa conceptual de ácidos nucleicos:



Energía y metabolismo

UNIDAD 7

Bioquímica

Introducción

La **energía** es la capacidad para realizar un trabajo, lo cual incluye sintetizar moléculas, mover objetos, generar luz, etc. Casi todas las actividades de la sociedad moderna dependen de alguna forma de energía. Cuando a un auto se le termina el combustible, es decir, la energía química de la gasolina, no puede seguir funcionando. Sin la energía eléctrica dejarían de funcionar los aparatos domésticos, computadoras, focos, etc.

Todos los seres vivos ya sean unicelulares o pluricelulares, llevamos a cabo una serie de funciones como nutrición, reproducción, excreción, etcétera, y para que la célula las efectúe necesita energía. Esta energía proviene de los alimentos que ingerimos y la energía contenida en los alimentos proviene a su vez, del Sol.

Uno de los requisitos indispensables para la vida es la **capacidad que tienen los seres para captar del exterior la energía necesaria**, a fin de realizar el trabajo que su misma existencia exige. El trabajo en el mundo biológico o en nuestro organismo es de lo más variado. Se necesita energía para realizar todas nuestras actividades diarias como son caminar, reir, comer, nadar, hablar, etc., es decir, los seres vivos dependemos de la energía.

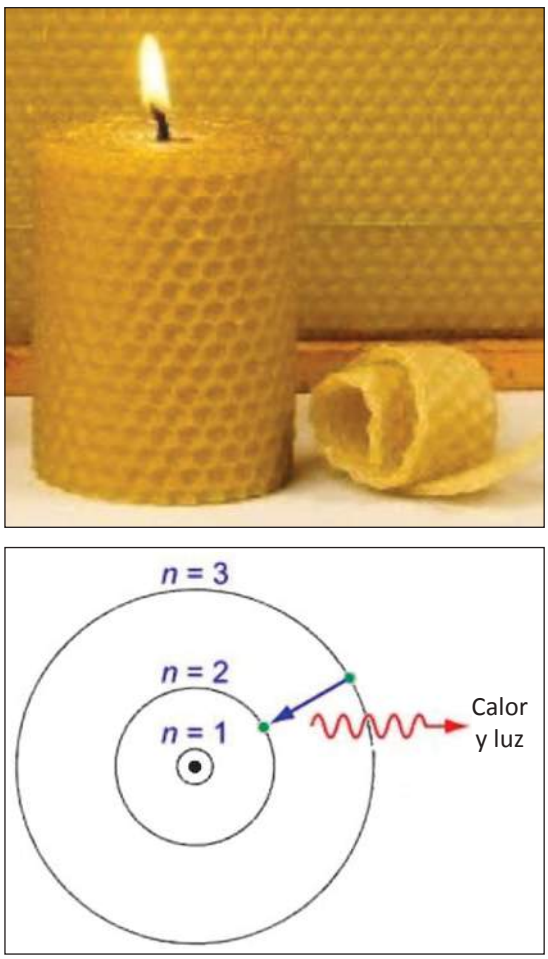


Figura 7. 1 *Cuando los electrones (en verde) del enlace C-H de la cera, cambian de niveles de energía superiores a niveles de energía inferiores, la energía adicional se libera como calor y luz.*

A veces, no es fácil percibir la necesidad de energía. Por ejemplo, mientras duermes, las células de tu organismo están utilizando energía para producir nuevas proteínas y aminoácidos, tu riñón forma orina, tu corazón sigue latiendo gracias a que las células que lo constituyen emplean energía para su contracción e impulsar la sangre al resto de tu cuerpo.

En la naturaleza existen otros muchos tipos de energía: **calorífica**, **solar**, **atómica**, **geotérmica**, **hidráulica**, **radiante**, **mecánica**, **eléctrica**, entre otras. Además, todas las moléculas poseen cierta cantidad de energía que está almacenada en los enlaces que la forman. Cuando estos enlaces se rompen o se transforman, se libera cierta cantidad de energía; este es el tipo de energía que se conoce como **energía química**. Por ejemplo, cuando enciendes una vela, la cera se derrite, empapa la mecha y arde, liberando energía en forma de luz y calor. Mientras arde la vela, se rompen los enlaces químicos de alta energía entre los átomos de carbono e hidrógeno que componen la cera. Cuando los electrones del enlace cambian de niveles de energía superiores a niveles de energía inferio-

res, la energía adicional se libera como calor y luz. Tal vez te parezca extraño describir una vela, en términos de los niveles de energía de los electrones, pero eso es precisamente lo que sucede, cuando se quema cualquier combustible.

Leyes de la termodinámica

Las **leyes de la termodinámica** definen las propiedades básicas y el comportamiento de la energía.

Primera ley de la termodinámica

Esta ley es conocida también como **"ley de la conservación de la energía"** y dice que si no hay aporte de energía, la cantidad total de energía se mantiene constante. Los procesos ordinarios no pueden crear ni destruir energía, pero si pueden cambiarla de una forma a otra. Por ejemplo de energía solar a energía química, de energía química a energía térmica. Cuando conducimos un automóvil, es convertida la energía potencial química de la gasolina en energía cinética de movimiento y calor. La cantidad total de energía no cambia, aunque su forma si ha cambiado. Asimismo una tenista está convirtiendo la energía potencial química (de lo que comió) en la misma cantidad total de energía de movimiento y de calor.

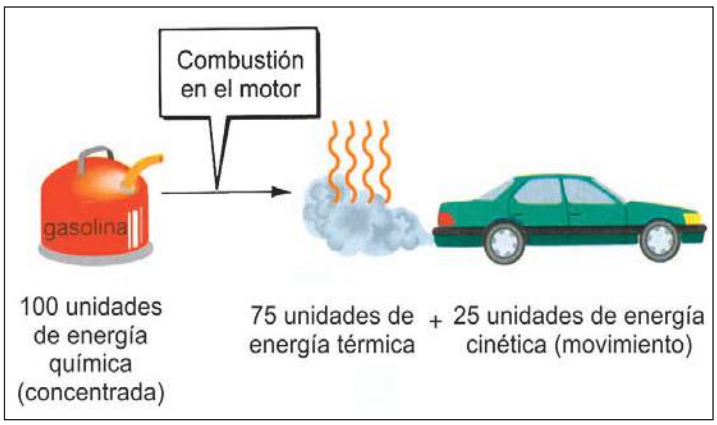


Figura 7.2 *Las 100 unidades de energía química contenida en la gasolina son transformadas en 75 unidades de energía térmica y 25 unidades de energía cinética (movimiento). La cantidad de energía química que es transformada en energía cinética y calorífica en esta deportista, se mantiene constante. La primera ley de la termodinámica nos dice que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma.*

Segunda ley de la termodinámica

La **segunda ley de la termodinámica** dice que cuando la energía se convierte de una forma a otra, la cantidad de energía útil disminuye. Para ilustrar la segunda ley,

examinemos un motor de automóvil que utiliza como combustible gasolina. La energía cinética del vehículo en movimiento (25 unidades), es mucho menor que la energía química que contenía el combustible contenía (100 unidades) originalmente. Según la primera ley de la termodinámica, la cantidad total de energía se mantiene constante y es verdad, sólo que al quemarse la gasolina, no sólo impulsó el vehículo, sino que también calentó el motor, el sistema de escape y el aire en torno al automóvil. La fricción de las llantas contra el pavimento también calentó un poco la carretera, así que, como lo estipula la primera ley no se ha perdido energía. Sin embargo, la energía en forma de calor es menos utilizable.

De la misma manera, la energía térmica que los corredores liberan al aire cuando "queman" alimentos en sus células no puede aprovecharse para correr más rápidamente o más lejos. Según la segunda ley de la termodinámica, esto quiere decir que ningún proceso, ni siquiera los que se efectúan en el organismo humano, es 100% eficiente, ya que la energía que se disipa no es útil para efectuar un trabajo en ese organismo.

Reacciones exergónicas, endergónicas y acopladas

Una reacción química es un proceso que forma y rompe enlaces químicos que mantienen unidos a los átomos. Las reacciones químicas convierten un grupo de sustancias, los reactivos, en otro grupo, los productos. Las reacciones químicas pueden ser **exergónicas**, **endergónicas** y **acopladas**.

Reacción exergónica

El término exergónica proviene del griego y significa "sale energía". Se le llama **reacción exergónica** a aquella en la que los reactivos contienen más energía que los productos. Por ejemplo, la glucosa que los cuerpos de los corredores utilizan como combustible contiene más energía que el dióxido de carbono y el agua que se produce cuando ese azúcar se descompone. La energía extra se libera como movimiento muscular y calor. El azúcar de cocina (sacarosa) también puede arder, como todo cocinero sabe. Cuando el azúcar se quema en una flama, de forma similar a como se quema en el cuerpo, reaccio-

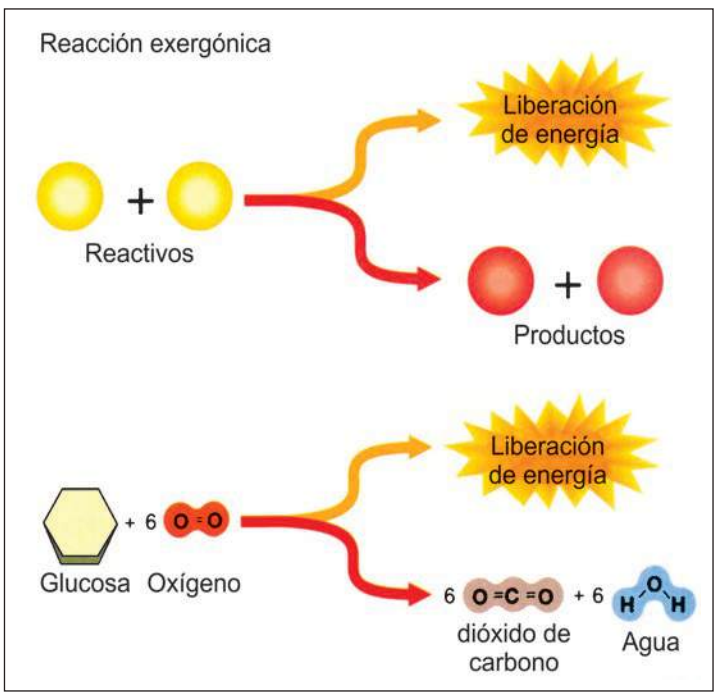


Figura 7.3 *Representación general de una reacción exergónica (arriba) y un ejemplo de este tipo de reacción, la respiración celular (abajo).*

na con oxígeno (O_2) para producir dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y energía. Esta reacción ilustra que las moléculas de azúcar y oxígeno contienen mucha más energía que las moléculas de dióxido de carbono y agua, por lo tanto, este tipo de reacción **libera energía**.

La respiración celular es un ejemplo de reacción exergónica debido a que al reaccionar el O_2 con la glucosa, se libera la energía contenida en ella. Los productos (CO_2 y H_2O) poseen menos energía que los reactivos.

Reacción endergónica

El término endergónica significa "entra energía". Una **reacción endergónica** es aquella en la que los productos contienen más energía que los reactivos. Según la segunda ley de la termodinámica las reacciones endergónicas **requieren un aporte de energía** de alguna fuente externa.

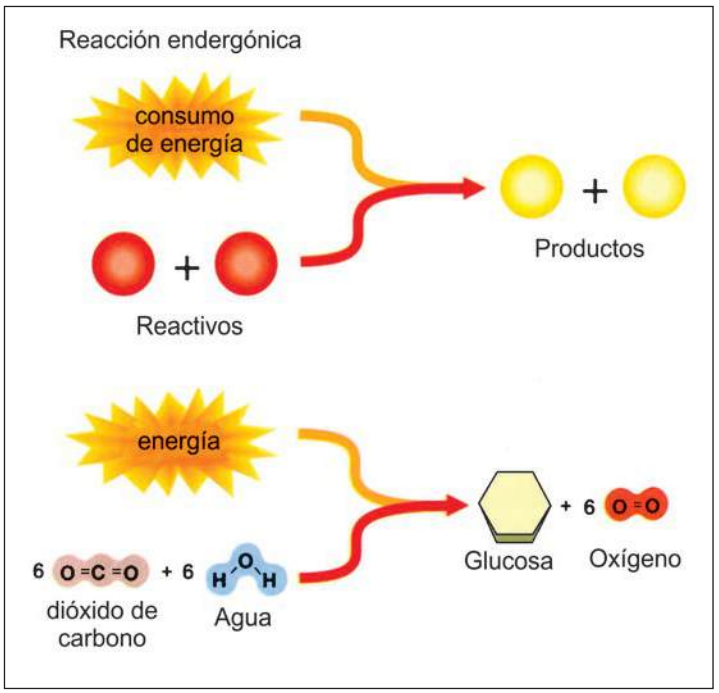


Figura 7.4 *Representación general de una reacción endergónica (arriba) y un ejemplo de este tipo de reacción, la fotosíntesis (abajo).*

Muchas reacciones de los seres vivos dan como resultado productos que contienen más energía que los reactivos. El azúcar que se produce en los organismos fotosintéticos contiene mucha más energía que el dióxido de carbono y agua a partir de los cuales se forma (reactivos). Las proteínas de una célula muscular contienen más energía que los aminoácidos individuales que se unieron para sintetizarla. Dicho de otra forma, la síntesis de moléculas biológicas complejas requiere un aporte de energía. La fotosíntesis utiliza agua y dióxido de carbono, bajos en energía y produce a partir de ellos oxígeno y un compuesto de alta energía, la glucosa que es un azúcar.

La fotosíntesis requiere energía que las plantas, algunas algas y algunos tipos de bacterias obtienen de la luz solar.

Reacciones acopladas

En realidad no hay una separación entre las reacciones anabólicas y las catabólicas. Por el contrario, hay una relación sumamente estrecha entre ellas, de manera que no es posible la existencia independiente de unas, sin la realización de las otras. Las **reacciones acopladas** son las que enlazan reacciones endergónicas y exergónicas. Una reacción exergónica proporciona la energía ne-

cesaria para que se efectúe una reacción endergónica.

La reacción exergónica de la combustión de la gasolina en un automóvil, proporciona la energía para la reacción endergónica de poner en movimiento el automóvil; en el proceso se pierde gran cantidad de energía en forma de calor. Los organismos vivos utilizan continuamente la energía producida por reacciones exergónicas (como la descomposición química de azúcares) para impulsar reacciones endergónicas indispensables (como la actividad cerebral, la contracción muscular o la síntesis de moléculas complejas). Las reacciones endergónicas no pueden llevarse a cabo si no se ha realizado ya en otra parte del cuerpo una reacción exergónica que proporcione la energía necesaria. Cabe aclarar que debido a que algo de energía se pierde en forma de calor cada vez que se transforma (segunda ley de la termodinámica), la energía proporcionada por las reacciones exergónicas debe exceder a la necesaria para impulsar a las reacciones endergónicas. En las reacciones acopladas que se llevan a cabo dentro de las células, la energía por lo regular se transfiere de un lugar a otro mediante **moléculas portadoras de energía**, de las cuales la más común es el **ATP**, es decir la conexión entre reacciones exergónicas y endergónicas del metabolismo celular está dada por las moléculas de ATP.

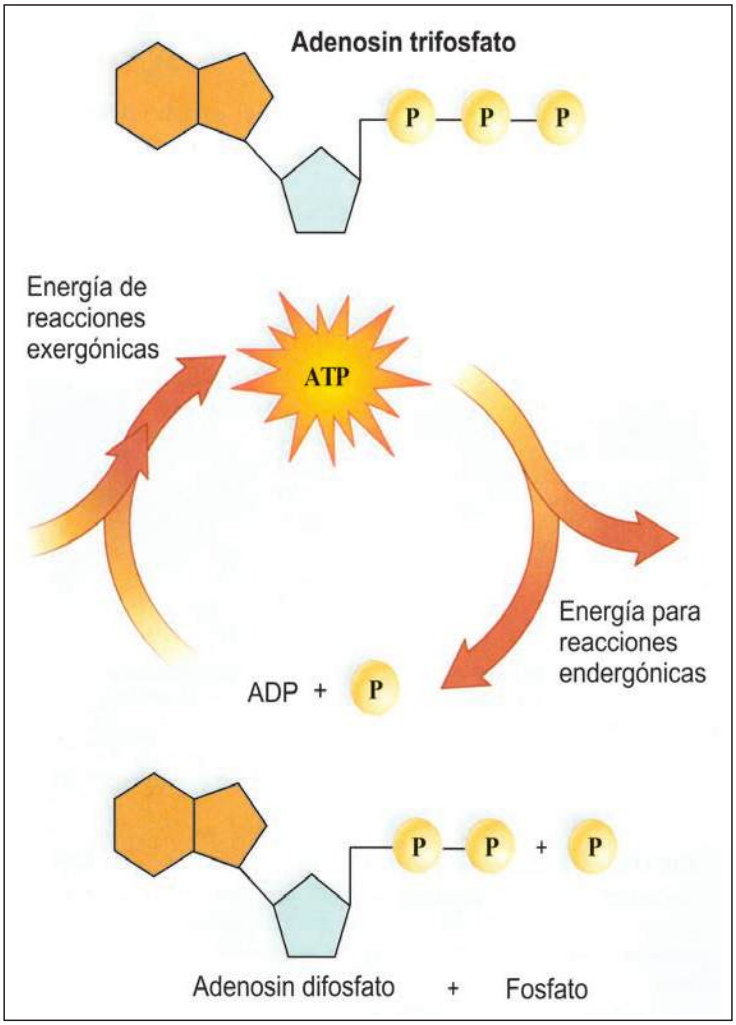


Figura 7.5 *En las reacciones acopladas, el ATP transfiere energía desde un proceso exergónico a un proceso endergónico en la célula.*

Estructura y función del ATP

Los seres vivos también utilizamos combustibles químicos para obtener energía biológica. Uno de los compuestos químicos más importantes que usan las células para almacenar y liberar energía es el **trifosfato de adenosina** o **adenosin trifostato**, conocido como **ATP** por sus siglas en inglés (Adenosine Triphosphate).

Recuerda que un nucleótido es una molécula constituida por una base nitrogenada, un azúcar y un fosfato. Existe un nucleótido llamado **adenosin monofosfato** (**AMP**) que está formado por adenina (una base), ribosa (un azúcar) y un fosfato. Cabe aclarar que el término **adenosin** resulta de la unión de la **adenina** y la **ribosa**. El AMP es el precursor del ATP y su fórmula es la siguiente:

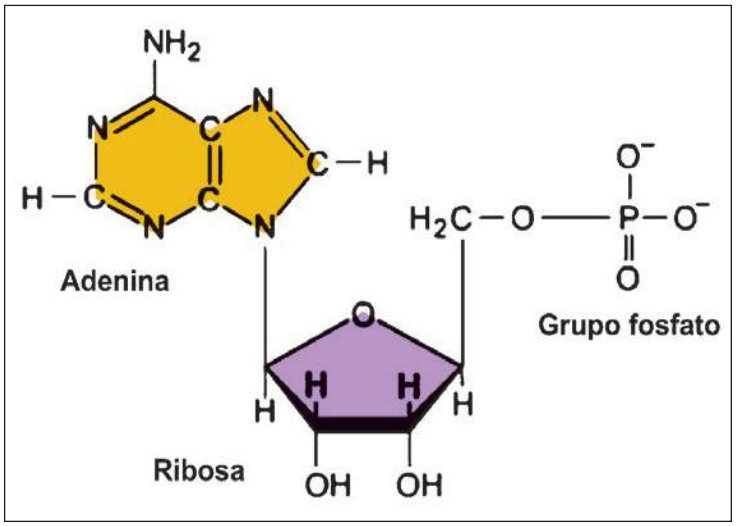


Figura 7.6 *Estructura de una molécula de adenosin monofosfato (AMP).*

A esta molécula de AMP se le agrega otro grupo fosfato a través de un enlace de alta energía para formar **adenosin difosfato** (**ADP**) que presenta la siguiente estructura:

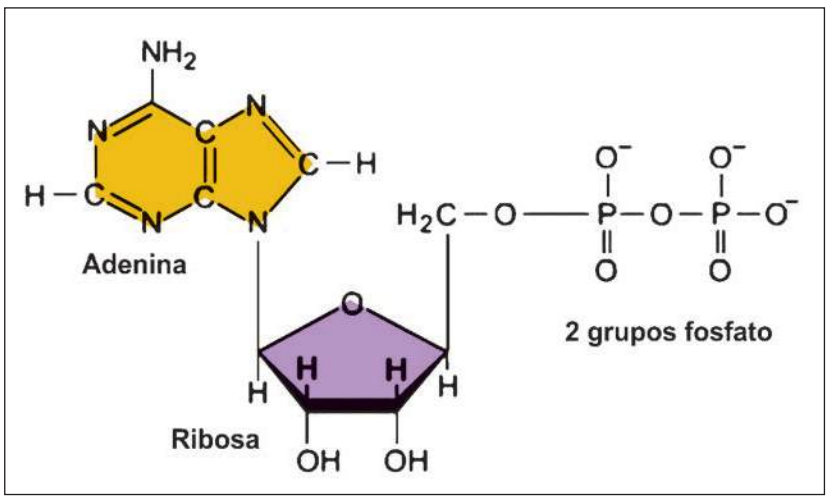


Figura 7.7 *Estructura de una molécula de adenosin difosfato (ADP).*

Finalmente si se une otro grupo fosfato más, tendremos una molécula de ATP. Esto significa que la molécula de ATP está formada de la base nitrogenada **adenina**, de un azúcar de 5 átomos de carbono, la **ribosa** y de **tres grupos fosfato**. Estos tres grupos fosfato son fundamentales para que el ATP pueda almacenar o liberar energía.

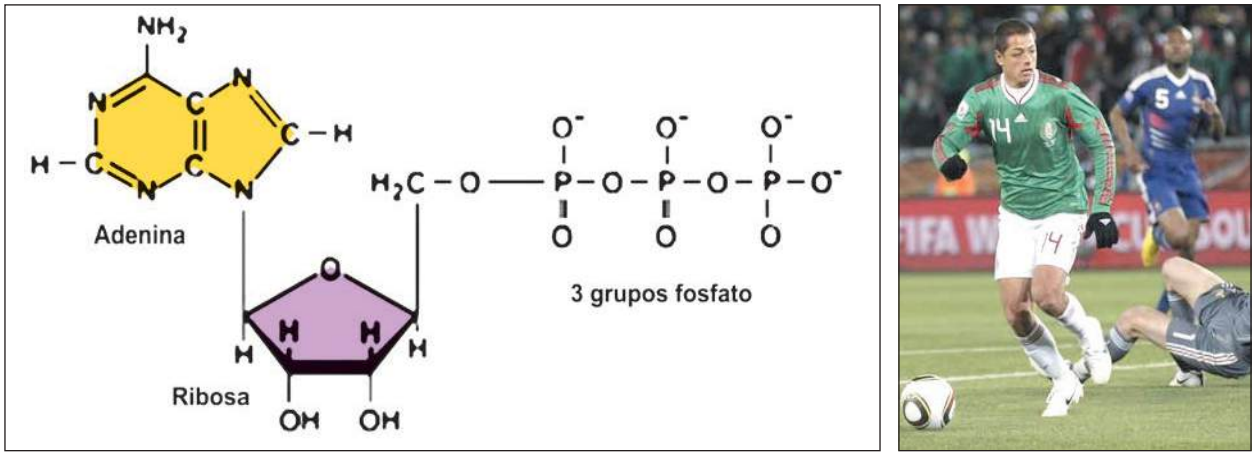


Figura 7.8 *Las células de cualquier tipo, utilizan ATP como fuente de energía básica. La energía que necesitan las células de este futbolista para desempeñarse como tal, se deriva del ATP.*

Almacenamiento y liberación de energía

Cuando la célula sintetiza una molécula de ATP, se forman dos enlaces de alta energía, ya que al AMP se le adicionan dos grupos fosfato durante el proceso. La energía así almacenada se libera a través de la hidrólisis del ATP. En casi todos los casos, al separarse el último grupo fosfato se libera la energía contenida en el último enlace.

El ATP es capaz de liberar y proporcionar una cantidad considerable de energía (7,500 calorías por cada mol) a otras moléculas o sistemas, perdiendo por hidrólisis su fosfato terminal:

$$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + Pi + \text{7,500 calorías por cada mol}$$

La hidrólisis de la molécula de ATP es un **proceso exergónico** porque libera energía. Esta energía es necesaria para que se lleven a cabo las reacciones endergónicas dentro de las células.

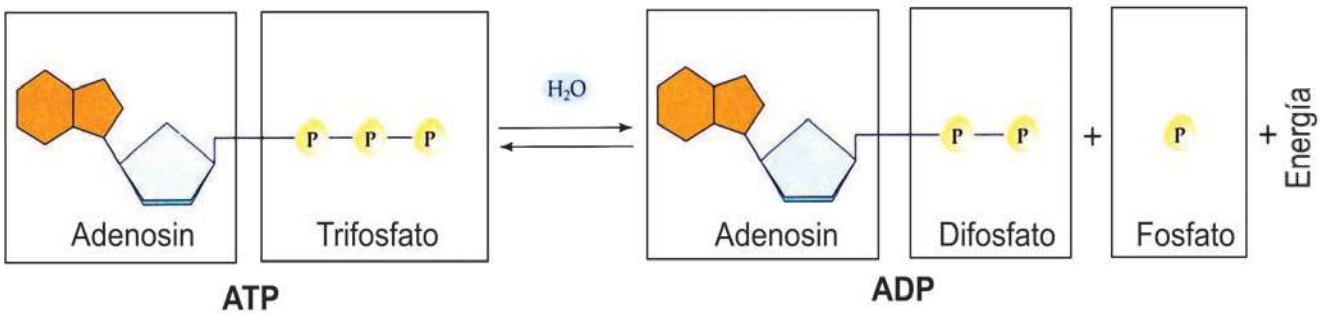


Figura 7.9 *Al ser hidrolizada la molécula de ATP, se separa el último grupo fosfato y se libera la energía contenida en el último enlace. Además se forma ADP.*

Estas calorías que provienen de la hidrólisis del ATP es la energía que las células del organismo necesitan para mantenerse vivas: para que el corazón siga bombeando sangre, para respirar, mantener la temperatura corporal, digerir el alimento, se realice el transporte activo a través de las membranas celulares, transmisión nerviosa, secreción hormonal, síntesis de proteínas y de

ácidos nucleicos, la respuesta a las señales químicas en la superficie celular, la contracción muscular, incluso mientras lees estas páginas, las células nerviosas en tu cerebro están utilizando la energía química del ATP, energía que tus células obtuvieron antes a partir de las moléculas del alimento.

En cada momento, así estemos durmiendo o en actividad, la mayoría de las células están ocupadas en la respiración celular, produciendo ATP para mantener al organismo.

Figura 7.10 *La molécula de ATP provee la energía necesaria para que se realicen todas las actividades celulares.*

La energía del ATP incluso sirve para producir luz. De hecho, el titileo de una luciérnaga se debe a una enzima que funciona con la energía que le proporciona el ATP. Las características del ATP le confieren una utilidad excepcional como la fuente de energía básica de todas las células. Además de generar luz, las luciérnagas al igual que todos los animales, deben encontrar, ingerir y digerir alimento; escaparse de los predadores; reparar cualquier daño en su cuerpo, crecer y reproducirse. Todas estas actividades requieren energía, la cual se obtiene de la glucosa y de otras moléculas del alimento, por medio de reacciones exergónicas en la respiración celular.

Figura 7.11 *El titileo o centellar de luz de esta luciérnaga por la noche se debe a una enzima que funciona con ATP.*

Las células pueden almacenar energía, añadiendo dos grupos fosfato a las moléculas de AMP o un grupo fosfato al ADP y producir nuevamente ATP. De esta forma, el ATP es como una pila completamente recargada, lista para impulsar la maquinaria de la célula.

A pesar de que la reacción del ADP con el fosfato para formar ATP es imposible en forma espontánea, ya que requiere 7.500 calorías por cada mol que se forme, aún así, la célula puede formar grandes cantidades de ATP a partir de ADP y Pi.

$$ADP + Pi + 7{,}500 \text{ calorías} \longrightarrow ATP$$

La síntesis de la molécula de ATP es un **proceso endergónico** debido a que consume energía.

En nuestros alimentos ingerimos moléculas de carbohidratos, lípidos y proteínas que nos proporcionan energía. Los sistemas enzimáticos de nuestro organismo son capaces de romper estas moléculas para originar moléculas más simples como CO_2 y H_2O en el caso de los carbohidratos y lípidos. En el caso de las proteínas originan CO_2, H_2O y NH_3. Cuando esto sucede, la energía que se encuentra en los enlaces químicos que mantienen la estructura de esta molécula, se libera, es entonces cuando la célula la aprovecha para realizar trabajo. Sin embargo, la célula no utiliza directamente este tipo de energía; es necesario que ésta se transforme en otro tipo utilizable por los sistemas enzimáticos que la requieren en nuestras células, es decir, la energía contenida en los alimentos es utilizada por las células para formar ATP a partir de ADP y fosfato.

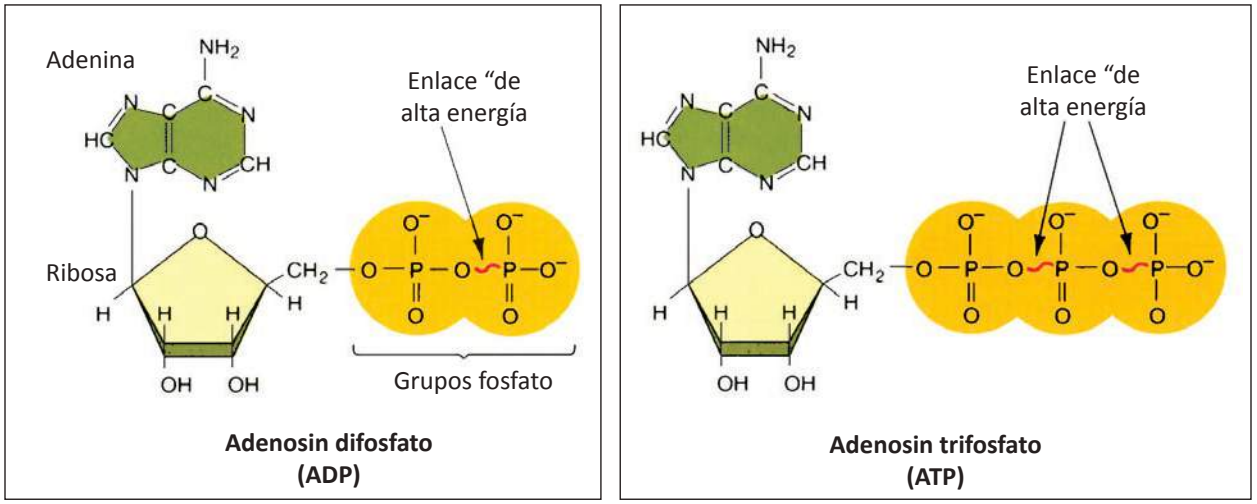


Figura 7.12 *El ATP posee dos enlaces de alta energía, mientras que el ADP posee solamente uno.*

El ATP es una fuente de energía tan útil, pero aún así, las células no están repletas de esta molécula para funcionar todo el día. De hecho, la mayoría de las células tienen sólo una pequeña cantidad de ATP, suficiente para unos segundos de actividad. Aunque el ATP es una molécula útil para transferir energía, no es adecuada para almacenar grandes cantidades de energía a largo plazo. Para las células es más eficiente tener sólo una pequeña reserva de ATP, ya que lo pueden regenerar a partir del ADP, según sus necesidades, utilizando la energía de alimentos como la glucosa.

El ATP es la molécula rica en energía que más se conoce, pero existen otras, por ejemplo, CTP, GTP, UTP, TTP, que también son nucleótidos y cuya función es parecida a la del ATP, es decir, también captan, transportan y ceden energía. Todas ellas se muestran en la siguiente tabla:

Abreviatura	Nombre	Base	Azúcar	No. de fosfatos
ATP	Adenosín trifosfato	Adenina	Ribosa	3
ADP	Adenosín difosfato	Adenina	Ribosa	2
AMP	Adenosín monofosfato	Adenina	Ribosa	1
GTP	Guanidín trifosfato	Guanina	Ribosa	3
GDP	Guanidín difosfato	Guanina	Ribosa	2
CTP	Citidín trifosfato	Citocina	Ribosa	3
CDP	Citidín difosfato	Citocina	Ribosa	2
UTP	Uridín trifosfato	Uracilo	Ribosa	3
UDP	Uridín difosfato	Uracilo	Ribosa	2
TTP	Timidín trifosfato	Timina	Ribosa	3
TMP	Timidín monofosfato	Timina	Ribosa	1

Tabla 7.1 *El ATP es el compuesto rico en energía más conocido. En esta tabla se muestran otras moléculas que también son ricas en energía.*

Anabolismo y catabolismo

Cada una de las células en funcionamiento de cualquier ser vivo, desarrolla miles de reacciones exergónicas y endergónicas que en conjunto se conocen como **metabolismo celular**. Las células son diminutas fábricas químicas increíblemente complejas. El metabolismo de una célula es el total de sus reacciones químicas. Muchas de estas reacciones se encadenan en sucesiones llamadas **vías metabólicas**. En las vías metabólicas intervienen los **reactivos** que son las sustancias que participan en una reacción, los **intermediarios** (sustancias que se forman en curso de la reacción) y los **productos** que son las sustancias que quedan al final de la reacción. Ejemplos de estas vías son la fotosíntesis y la glucólisis. Diferentes vías metabólicas podrían utilizar las mismas moléculas, por esta razón, todas las reacciones y todas las moléculas de una célula están interconectadas en una sola vía metabólica de gran complejidad.

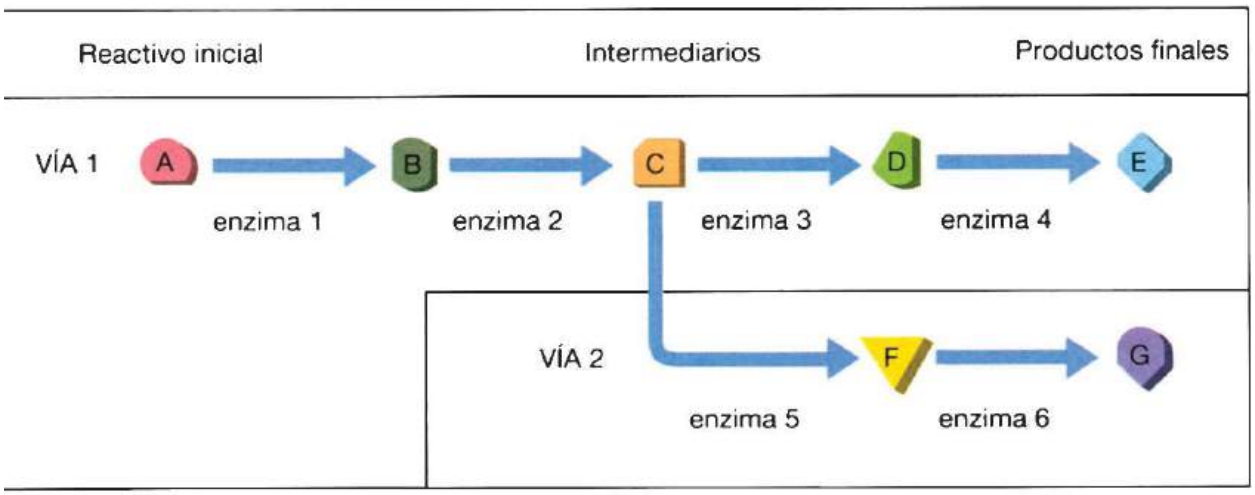


Figura 7.13 *Perspectiva simplificada de las vías metabólicas. El producto de cada reacción sirve como reactivo para la siguiente reacción de la vía. Cada reacción es catalizada por una enzima específica.*

Las reacciones químicas en las células se rigen por las mismas leyes de la termodinámica que controlan otras reacciones. La bioquímica de las células se regula de tres formas:

- Las células regulan las reacciones químicas utilizando proteínas llamadas enzimas.
- Las células sintetizan moléculas portadoras de energía que transfieren energía dentro de las células.
- Las células acoplan moléculas portadoras de energía que capturan de reacciones exergónicas y la transportan a reacciones endergónicas.

Las vías metabólicas se dividen en **vías anabólicas** (anabolismo) y **vías catabólicas** (catabolismo).

Anabolismo

Incluye las reacciones que intervienen en la **biosíntesis de moléculas**. Las vías anabólicas implican la formación de enlaces químicos entre átomos de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, etc., con la consiguiente formación de sustancias más complejas a partir de otras más simples. Son ejemplos de estas reacciones: la fotosíntesis, la síntesis de ácidos nucleicos, la síntesis de proteínas, la síntesis de las reservas de combustible de triglicéridos y carbohidratos complejos (glucógeno y celulosa), etc. Para que se unan moléculas pequeñas y formen una molécula grande es necesario un suministro de energía, es decir, las reacciones anabólicas son **endergónicas**.

Catabolismo

Son las reacciones que intervienen en la **descomposición de moléculas** grandes para ser transformadas en los monómeros que las constituyen, es decir, se ocupan siempre de la transformación de moléculas más complejas en moléculas más sencillas. La energía de enlace que existe en las moléculas más complejas, se transforma ahora en la energía de moléculas como el ATP, con la consecuente desaparición de tales enlaces. El ATP sirve de "puente" energético entre el catabolismo (donde se produce) y el anabolismo (donde se consume). Las reacciones catabólicas son **exergónicas**. Los cambios energéticos de las vías catabólicas son los que impulsan a las vías anabólicas. Son ejemplos de catabolismo: la respiración celular, la hidrólisis de un triglicérido, la hidrólisis de la sacarosa en fructosa y glucosa, etc.

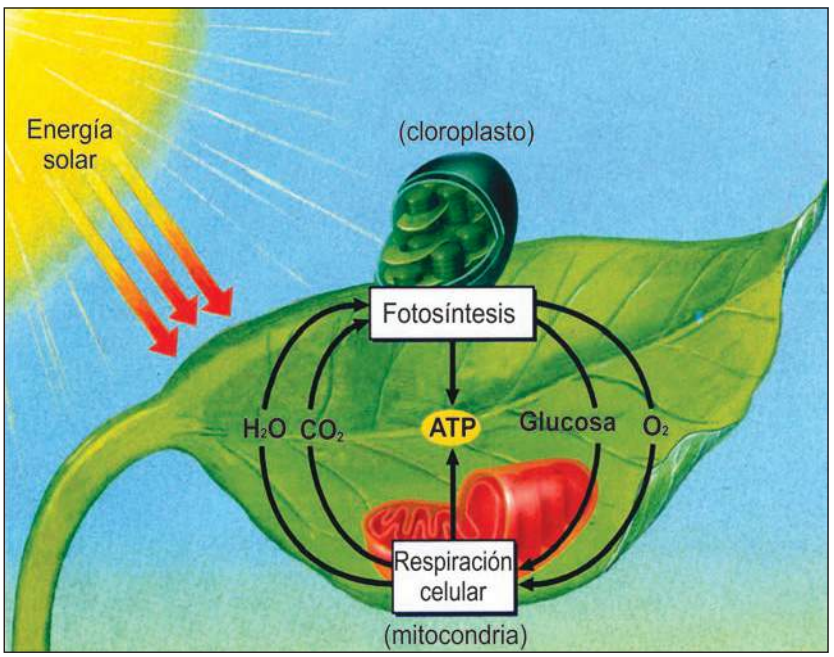


Figura 7.14 *Interconexiones entre la fotosíntesis (anabolismo) y la respiración celular (catabolismo). Los cloroplastos de las plantas verdes utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos de carbono de alta energía, como la glucosa, a partir de las moléculas de baja energía (CO_2 y H_2O). Las plantas mismas y otros organismos que se alimentan de plantas o se comen entre sí, extraen energía de estas moléculas orgánicas por respiración celular la cual produce nuevamente H_2O y CO_2. A su vez, esta energía impulsa todas las reacciones de los seres vivos.*

¿Cómo se metaboliza la glucosa?

La mayor parte de las células metabolizan diversas moléculas para producir ATP. Estudiaremos el metabolismo de la glucosa por tres razones.

- Primero, prácticamente todas las células catabolizan la glucosa para obtener energía. Ciertas células como las neuronas del cerebro dependen principalmente de glucosa como fuente de energía.
- Segundo, el catabolismo de la glucosa es menos complejo que el de casi todas las demás moléculas orgánicas.
- Tercero, cuando las células utilizan otras moléculas orgánicas como fuente de energía, por lo común, esas moléculas son convertidas en glucosa.

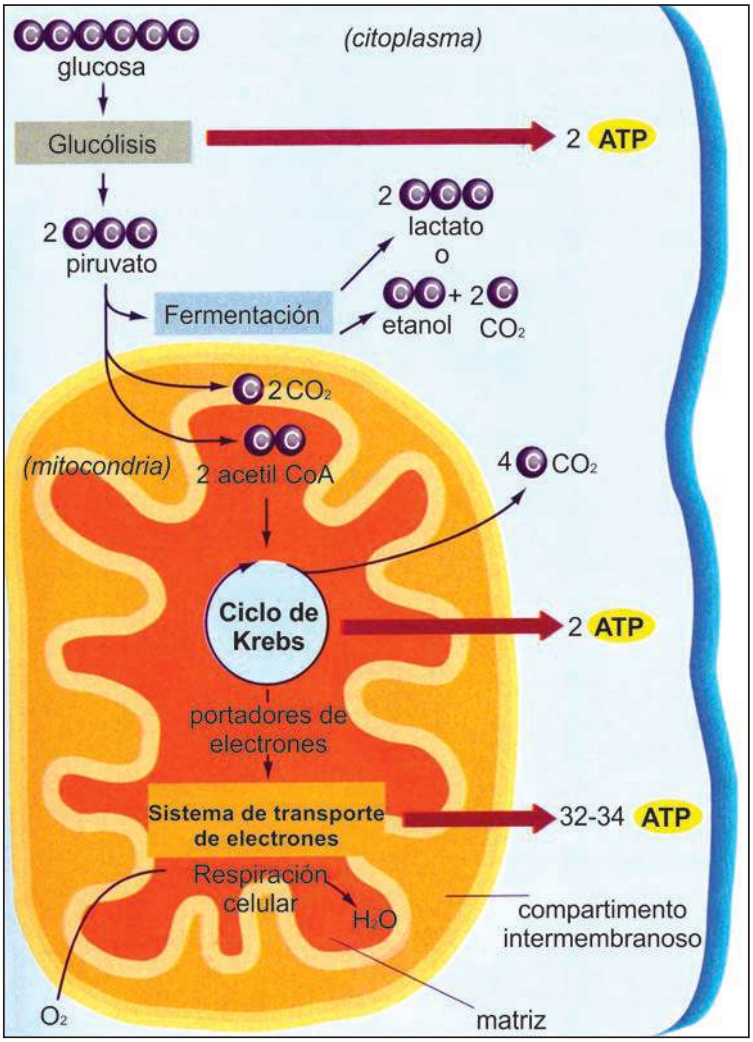


Figura 7.15 *Resumen del catabolismo de la glucosa. La glucólisis se efectúa en el citosol (en azul) y la respiración celular en las mitocondrias (amarillo-naranja).*

Los organismos fotosintéticos capturan la energía de la luz solar y la almacenan en la molécula de glucosa. Cuando es catabolizada la glucosa, se libera esa energía y se utiliza para producir ATP.

Una célula eucariota es capaz de extraer mucha energía de la glucosa (36 – 38 ATP), siempre y cuando la molécula de glucosa se descomponga totalmente en CO_2 y H_2O.

La figura 7.15 resume las etapas principales del metabolismo de la glucosa en las células eucariotas. La primera etapa, la **glucólisis**, no requiere oxígeno y se lleva a cabo exactamente de la misma manera en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno) y anaeróbicas (sin oxígeno). La glucólisis es una vía catabólica en la que la **glucosa** (monosacárido de 6 carbonos) se descompone en **dos moléculas de piruvato** (molécula de 3 átomos de carbono). Esta división libera una pequeña fracción de la energía química almacenada en la glucosa.

El rendimiento neto de energía de la glucólisis es de **2 ATP** por molécula de glucosa. En **condiciones anaeróbicas**, habitualmente el piruvato producido en la glucólisis, se convierte por fermentación en lactato (fermentación láctica), o bien, en alcohol etílico (fermentación alcohólica).

Tanto la glucólisis, como los dos tipos de fermentación, se realizan en la parte semilíquida del citoplasma, el citosol.

En **condiciones aeróbicas**, el piruvato producido por la glucólisis entra a las mitocondrias. Ahí, la respiración celular utiliza el oxígeno para descomponer totalmente el piruvato en dióxido de carbono y agua y generar 34 o 36 moléculas adicionales de ATP (la cantidad depende según la célula que se trate). Como puedes observar, casi todo el ATP se produce en las mitocondrias, lo que justifica su sobrenombre "centrales de energía de la célula". Estos ATP producidos por la respiración celular son tan importantes para la mayoría de los organismos, que cualquier cosa que obstaculice su producción, como el tóxico cianuro o la falta de oxígeno, provoca la muerte rápidamente.

Glucólisis

La **glucólisis** es la primera etapa de las vías de liberación de energía en las células, es decir, el inicio del catabolismo de la glucosa.

El término *glucólisis* deriva del griego y significa "separar lo dulce". Esta serie de reacciones iniciales que descomponen a la glucosa la utilizan todos los seres vivos de este planeta. La glucólisis es el proceso universal de obtención de energía de la materia viva. Se lleva a cabo en la parte líquida del citoplasma, el **citosol** y da por resultado la ruptura de una molécula de glucosa en 2 moléculas de piruvato. La glucólisis produce relativamente poca energía: 2 moléculas de ATP y 2 moléculas del portador de electrones NADH (portador energizado de dinucleótido de nicotinamida y adenina); pero sin ella la vida se extinguiría rápidamente. La glucólisis se compone de dos partes principales (cada una con varias etapas): activación de glucosa y recolección de energía.

Durante la **activación de la glucosa**, una molécula de glucosa sufre dos transformaciones catalizadas por enzimas, cada una de las cuales consume energía de ATP. La primera es una fosforilación de la glucosa para convertirla en **glucosa-6-fosfato**, esta sufre una isomerización en **fructosa-6-fosfato** (la fructosa y la glucosa poseen la misma fórmula molecular), y una nueva fosforilación par convertir a este último derivado en **fructosa-1,6-difosfato**. Estas reacciones transforman una molécula de glucosa relativamente estable en una molécula activada, sumamente inestable, de fruc-

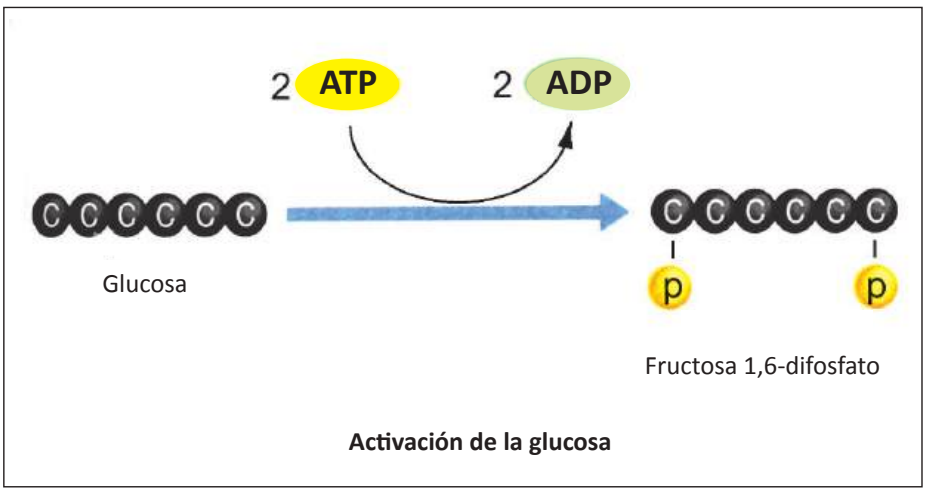


Figura 7. 16 *La energía de 2 moléculas de ATP se usan para convertir la glucosa en fructosa 1,6- difosfato.*

tosa 1,6-difosfato. Recuerda que el término difosfato se refiere a los dos grupos fosfato adquiridos de las dos moléculas de ATP. Este consumo inicial de energía es necesario para producir rendimientos de energía muchos mayores a la larga.

En las etapas de **recolección de energía**, la fructosa 1,6-difosfato que es altamente reactiva se separa en dos intermediarios de tres carbonos: una de **gliceraldehído-3-fosfato (G3P)** y otra de **fosfato de dihidroxiacetona (PDHA)**. Estas triosas pueden convertirse la una en la otra con gran facilidad. El PDHA sufre una transposición a G3P, por lo tanto ahora son 2 moléculas de G3P que presentan idénticas reacciones.

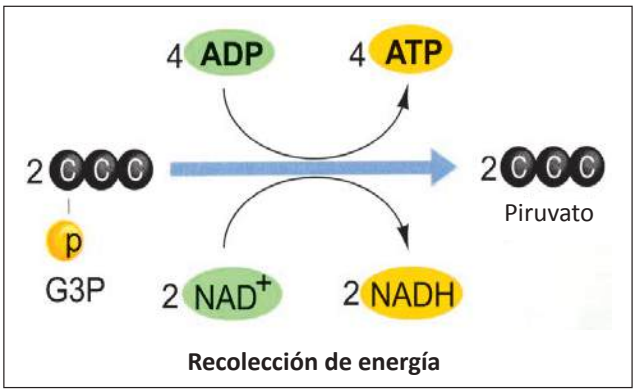


Figura 7.17 *La glucólisis da por resultado la recolección neta de 2 moléculas de ATP y 2 de NADH por molécula de glucosa.*

Cada molécula de G3P experimenta una serie de cuatro reacciones que la convierten en piruvato. Durante estas reacciones se generan **2 ATP por cada G3P**, para generar un total de **4 ATP**, pero debido a que se utilizaron **2 ATP** para activar la molécula de glucosa, hay una **ganancia neta de sólo 2 ATP** por molécula de glucosa. En otra etapa en la vía de G3P a piruvato se agregan dos electrones de alta energía y un ión hidrógeno (H^+) al portador de electrones "vacío", NAD^+ (dinucleótido de nicotinamida y adenina) para formar el portador de electrónes "energizado" NADH. Se producen 2 moléculas de G3P por molécula de glucosa, por lo tanto **se forman 2 moléculas del portador NADH** cuando esas moléculas de G3P se transforman en piruvato.

A continuación se describirá el proceso de la glucólisis. Para facilitar el seguimiento de las reacciones, se muestran solo los esqueletos de carbono de la glucosa y de las moléculas que se producen durante la glucólisis. Cada flecha azul representa una reacción catalizada por al menos una enzima.

Fermentación láctica y alcohólica

Las moléculas portadoras como el NAD^+ capturan energía (aceptando electrones de alta energía) y pueden transportar electrones a los lugares donde se utiliza su energía para formar ATP. Una diferencia importante entre la descomposición aeróbica y anaeróbica de la glucosa es el modo como se utilizan estos electrones de alta energía. En ausencia de oxígeno, el piruvato actúa como receptor de electrones de NADH y produce etanol y CO_2 o lactato; este proceso se llama **fermentación**. Durante la respiración celular, que se realiza en presencia de oxígeno, el oxígeno es el receptor de electrones, lo cual permite descomponer totalmente al piruvato y capturar su energía en forma de ATP.

Existen dos tipos de fermentaciones: láctica y alcohólica.

1. Se energiza una molécula de glucosa por adición de un fosfato de alta energía del ATP, para formar la glucosa-6-fosfato.

2. La molécula de glucosa sufre una isomerización para formar fructosa-6-fosfato.

3. A continuación, se incorpora a la fructosa-6-fosfato un segundo fosfato de otro ATP, formándose fructosa-1,6-difosfato

4. La fructosa-1,6-difosfato, se divide en dos triosas: una de DHAP (fosfato de dihidroxiacetona) y otra de G3P (gliceraldehído-3-fosfato).

5. El DHAP sufre una transposición a G3P. A partir de este punto, hay dos moléculas de G3P que sufren idénticas reacciones.

6. Cada G3P sufre dos reacciones casi simultáneas. Se donan dos electrones y un ion hidrógeno al NAD^+ para formar el portador "energizado" NADH, y se une un fosfato inorgánico (P) al esqueleto de carbono mediante un enlace de alta energía. Las moléculas resultantes de 1,3-difosfoglicerato tienen dos fosfatos de alta energía.

7. Se transfiere un fosfato de cada difosfoglicerato al ADP, para producir dos ATP netos. Esta transferencia compensa los dos ATP iniciales consumidos en la activación de la glucosa.

8. Luego de una transposición más, se transfiere el segundo fosfato de cada fosfoenolpiruvato a ADP para formar ATP, quedando piruvato como producto final de la glucólisis. Hay una ganancia neta de 2 ATP por cada molécula de glucosa.

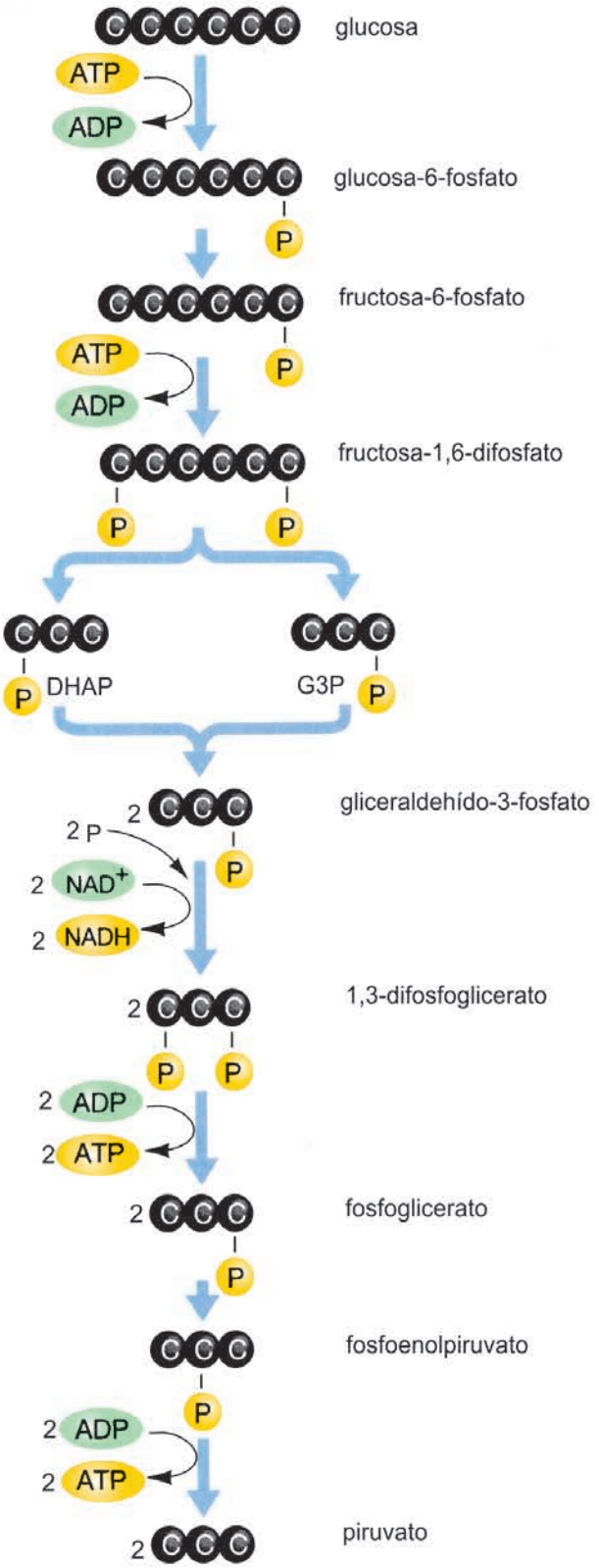


Figura 7.18 *La glucólisis es una serie de reacciones catalizadas por enzimas que descomponen una molécula de glucosa en 2 moléculas de piruvato, 2 de ATP y 2 de NADH.*

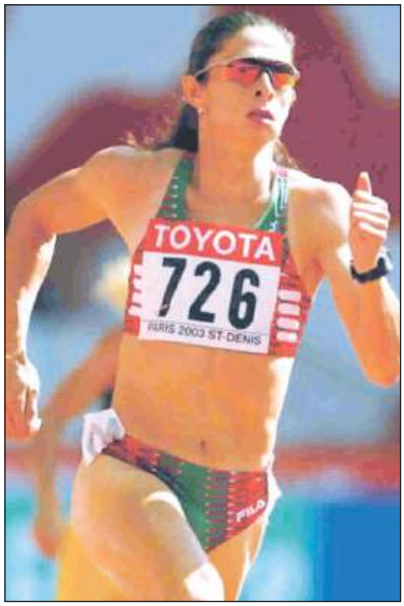


Figura 7.19 *Los sistemas respiratorio y circulatorio de un atleta no pueden suministrar oxígeno a los músculos de sus piernas con la rapidez suficiente para satisfacer la demanda de la energía (mediante la respiración celular) por lo que la glucólisis y la fermentación láctica proveen el ATP.*

Fermentación láctica

Este tipo de fermentación se lleva acabo en nuestros músculos al hacer un ejercicio vigoroso, como por ejemplo correr. Los músculos que trabajan necesitan ATP en abundancia. Este ATP lo debe proporcionar la respiración celular porque genera mayor número que la glucólisis, pero como la respiración celular está limitada por la capacidad del organismo para administrar oxígeno (respirando), entonces, cuando se hace este ejercicio vigoroso no es posible introducir suficiente oxígeno en los pulmones y por consiguiente, no existe la concentración de oxígeno necesaria en la sangre para suministrar a las mitocondrias de las células musculares, el oxígeno necesario para que la respiración celular satisfaga todas las necesidades de energía.

Cuando se les priva a las células musculares del oxígeno necesario, no dejan de trabajar de inmediato, sino que la glucólisis prosigue por un tiempo para suministrar sus 2 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa y generar piruvato y NADH. Después, para regenerar el NAD^+ las células musculares fermentan moléculas de piruvato a **lactato** usando los electrones y iones del NADH.

Sin embargo, el lactato en altas concentraciones es tóxico para las células y pronto provoca malestar intenso y fatiga que obliga al corredor a detenerse o al menos a reducir su velocidad. Al descansar, respirando rápidamente después de la carrera final, nuevamente hay oxígeno disponible y el lactato es transformado nuevamente en piruvato. Es interesante el hecho de que la conversión del lactato a piruvato no ocurre en las células musculares debido a que no poseen las enzimas necesarias, sino en el hígado. Este piruvato es descompuesto entonces por medio de la respiración celular en CO_2 y H_2O.

Tal vez hayas oído que al lactato también se le llama "ácido láctico", esta es la razón por lo que este proceso

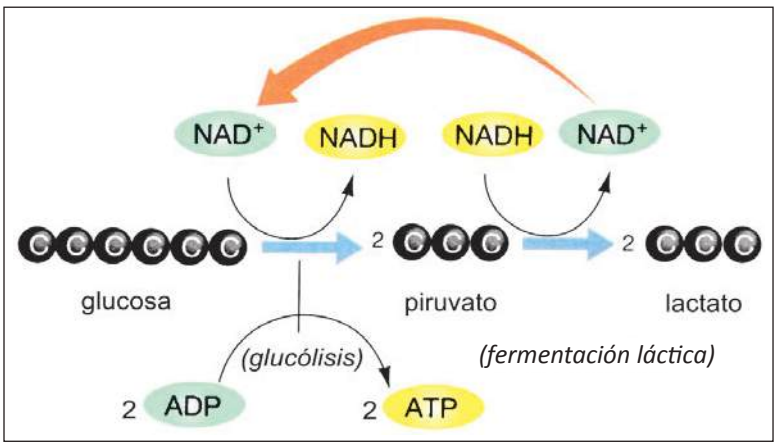


Figura 7. 20 *Fermentación láctica.*

recibe el nombre de **fermentación láctica**. Cabe aclarar que el lactato es la forma ionizada del ácido láctico que está disuelto en el citoplasma.

Diversos microorganimos, entre ellos las bacterias que producen el yogurt, la crema agria y el queso también realizan la fermentación láctica. El ácido láctico (agrio) contribuye al sabor característico de estos alimentos.

Fermentación alcohólica

Muchos microorganismos utilizan otro proceso para regenerar NAD$^+$ en condiciones anaeróbicas, produciendo etanol y CO_2 (en lugar de lactato), usando iones hidrógeno y electrones de NADH. A este proceso se le conoce como **fermentación alcohólica** debido a la producción de alcohol etílico (etanol).

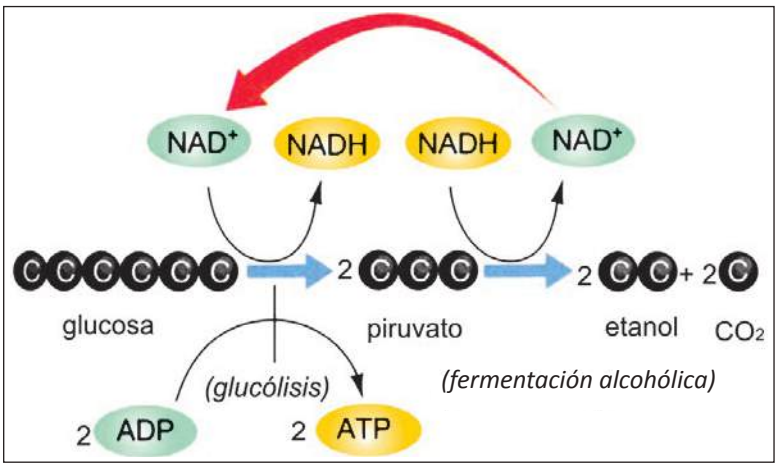


Figura 7.21 *Fermentación alcohólica.*

Las levaduras que los panaderos añaden a la masa produce CO_2 que provoca que el pan se esponje; el alcohol generado por las levaduras se evapora mediante el horneado del pan.

El tepache (de piña), la tuba (de coco), el tejuino (de maíz), el pulque (del maguey), etc., son bebidas que se elaboran mediante fermentación alcohólica.

Los vinos espumosos, como el champaña, son embotellados mientras las levaduras están aún vivas. Cuando se retira el corcho de la botella, se desprende CO_2 con sobrepresión, a veces de forma explosiva.

Figura 7. 22 *La fermentación alcohólica que llevan a cabo las levaduras libera burbujas de gas, el CO_2 en la masa de los panaderos provoca el esponjado del pan. El champaña contiene levaduras vivas que provocan la sobrepresión ejercida por el CO_2 al tapón de corcho.*

Autoevaluación

Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas:

1. Explica qué es el metabolismo celular.

_____

2. Menciona las diferencias que existen entre catabolismo y anabolismo.

_____

_____

3. Explica cómo la molécula de ATP libera y proporciona energía.

_____

_____

4. Menciona el nombre de algunas moléculas que son ricas en energía (además del ATP).

_____

_____

5. A continuación se te muestra una lista de reacciones, escribe sobre la raya una **A** cuando se trate de anabolismo y una **C** para catabolismo.

- Síntesis de ARN mensajero _____
- Respiración celular _____
- Descomposición de la lactosa en glucosa y galactosa _____
- Unión de aminoácidos para formar proteínas _____
- Fotosíntesis _____
- Formación de glucógeno a partir de moléculas de glucosa _____
- Degradación de almidón _____

6. Menciona el nombre de la estructura de la célula donde se realiza la glucólisis.

_____

7. Explica por qué se les llama a las mitocondrias “centrales de energía de la célula”.

_____

8. ¿Cuál es la primera etapa de las vías de liberación de energía en las células y cuáles son las dos partes principales que la constituyen?

_____

_____

9. Explica la importancia de la glucólisis.

_____

_____

10. Explica la diferencia entre fermentación láctica y fermentación alcohólica.

_____

_____

_____

Indica cuál de las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas:

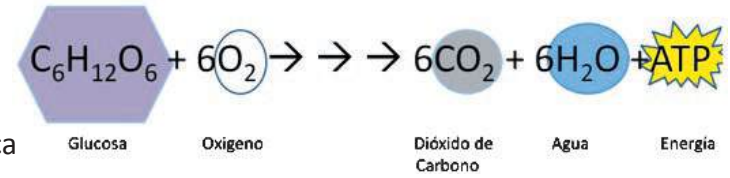
1. Las células regulan las reacciones químicas utilizando proteínas llamadas enzimas. ( )
2. El titileo de una luciérnaga en una noche de verano, es una reacción exergónica. ( )
3. A la segunda ley de la termodinámica se le conoce como “ley de la conservación de la energía”. ( )
4. En las reacciones endergónicas hay liberación de energía. ( )
5. La energía contenida en los alimentos es utilizada por las células para formar ATP a partir de ADP y fosfato. ( )
6. EL ATP transfiere energía desde un proceso exergónico a un proceso endergónico en la célula. ( )
7. Los cambios energéticos de las vías catabólicas son los que impulsan la marcha de las vías anabólicas. ( )
8. En las reacciones exergónicas, los reactivos contienen más energía que los productos. ( )
9. La molécula de ATP es un nucleótido de timina. ( )
10. Las células sintetizan moléculas portadoras de energía que transfieren energía dentro de las células. ( )

Selecciona la respuesta correcta:

1. Incluye las reacciones que intervienen en la biosíntesis de moléculas.

   a) Metabolismo
   b) Mutualismo
   c) Anabolismo
   d) Catabolismo
   e) Ninguna es correcta

2. La siguiente reacción:



a) Es una reacción exergónica
b) Es un ejemplo de vía catabólica
c) Es una reacción endergónica
d) Es un ejemplo de vía anabólica
e) a y b son correctas

3. Cuando la energía se transforma de una forma a otra, la cantidad de energía útil:

a) No se altera
b) Algunas veces aumenta
c) Disminuye
d) Algunas veces disminuye
e) a y b son correctas

4. El piruvato es descompuesto por medio de la respiración celular en:

a) CO_2 y O_2
b) CO_2 y H_2
c) O_2 y H_2
d) O_2 y H_2O
e) H_2O y CO_2

5. Molécula que durante las etapas de recolección de energía, se separa en gliceraldehído-3-fosfato y fosfato de didhidroxicetona:

a) Glucosa -6-fosfato
b) Fructosa-6-fosfato
c) Fructosa-1-6-difosfato
d) Fosfoenolpiruvato
e) Fosfoglicerato

6. La glucólisis:

a) Se realiza en células eucariotas
b) Se lleva a cabo en células procariotas
c) Es sólo el inicio del catabolismo de la glucosa
d) Produce 2 piruvatos, 2 ATP y 2NADH
e) Todas las anteriores son correctas

7. La fermentación láctica y la fermentación alcohólica se llevan a cabo en:

a) Mitocondrias
b) Ribosomas
c) Citosol
d) Membrana plasmática
e) Ninguna es correcta

8. Es una vía catabólica en la que la glucosa se descompone en 2 moléculas de piruvato:

a) Glucogenólisis
b) Gluconeogénesis
c) Glucólisis
d) Glucosídica
e) a y b son correctas

9. El rendimiento neto de energía de la glucólisis es de:

a) 2 moléculas de AMP
b) 2 moléculas de ATP
c) 4 moléculas de ATP
d) 4 moléculas de GTP
e) Ninguna es correcta

10. En la glucólisis, además de la formación de 2 moléculas de ATP, se forman:

a) 2 moléculas de NADH
b) 2 moléculas de NAD^+
c) 2 moléculas de ARN
d) 2 moléculas de ADN
e) Ninguna es correcta

En la siguiente sopa de letras, localiza los nombres de seis sustancias que se forman mediante los procesos metabólicos y describe la reacción mediante la cual se forman:

B	A	D	P	R	I	A	R	I	A	S	U	T	I	L
C	G	L	I	C	E	R	A	L	D	E	H	I	D	O
E	T	U	R	I	W	E	T	A	N	O	L	B	C	V
S	I	M	U	S	A	R	P	I	R	I	M	I	D	I
B	A	L	V	A	L	I	N	A	L	A	N	I	N	A
M	E	J	A	L	D	H	E	D	M	E	T	I	L	I
L	A	C	T	A	T	O	Ñ	T	E	N	S	E	C	U
A	G	U	O	P	R	I	N	C	I	P	A	L	E	S
P	O	L	A	R	I	D	A	D	N	E	G	A	T	L

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

5. _____

6. _____

Mediante un diagrama de flujo, esquematiza la glucólisis, anotando los nombres de las enzimas que participan en ella:

Actividades de laboratorio

Bioquímica

Actividad 1

Medición del pH

Habilidades

Manipular, observar, comparar y contrastar.

Problema

¿Cuál es el pH de la orina, de la saliva, de la sangre, de la coca-cola, etc?

Estrategia

Durante esta actividad, medirás el pH al agua, solución diluida de hidróxido de sodio (NaOH), solución diluida de ácido clorhídrico (HCl), a la orina, a la saliva, a la sangre, a diversas bebidas, shampoos, cremas faciales, alimentos, etc.

Hipótesis

El pH es **neutro** cuando la concentración de iones hidrógeno y la concentración de iones hidroxilo son iguales, el agua contiene la misma concentración de ambos iones, por lo tanto su pH es igual a 7. Cuando la concentración de iones hidroxilo es mayor que la concentración de iones hidrógeno, el pH aumenta, es decir se hace básico o **alcalino**. Al contrario, cuando la concentración de iones hidrógeno predomina, el pH disminuye, se hace ácido. Por lo tanto, la acidez es proporcionada por los iones hidrógeno y la alcalinidad por los iones hidroxilo.

Materiales

- Tiras de papel para medir el pH
- Vasos de precipitado de 50 ml.

Reactivos

- Agua destilada
- HCl
- NaOH

Material biológico

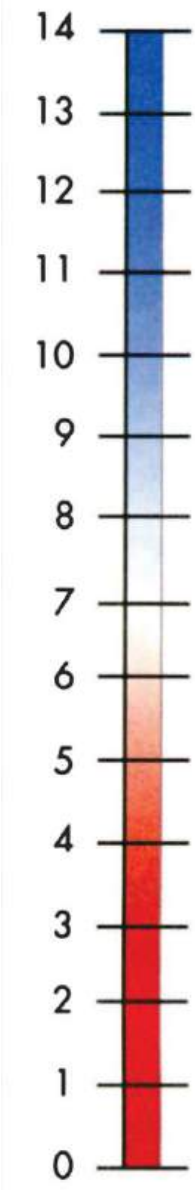
- Orina
- Sangre
- Saliva
- Refrescos variados
- Jugos
- Shampoos
- Cremas faciales
- Alimentos, etc.

Procedimiento

1. Introduce la tira de papel para medir pH en el agua destilada, compara las coloraciones de la tira con las de la cajita donde se guardan las tiras, el color más parecido indica el pH.
2. Haz lo mismo con todas las muestras.

Análisis

Anota al lado derecho de la siguiente escala de pH, el nombre de la sustancia a la que se lo midas. Escríbelo en el lugar que corresponda según los resultados obtenidos. Delante del nombre de la sustancia entre paréntesis escribe una N si es neutra, una A si es ácida o una B si es básica.



Conclusión

En base a tus mediciones y observaciones, redacta tu conclusión.

_____

_____

_____

_____

Actividad 2

Identificación de azúcares

Habilidades

Manipular, observar y contrastar.

Problema

¿Cómo identificas azúcares en los alimentos?

Estrategia

Durante esta actividad, realizarás reacciones y mediante las coloraciones características, verificarás si los azúcares están presentes en algunos alimentos.

Hipótesis

Los azúcares son moléculas de carbohidratos que se encuentran en diversos alimentos y se pueden identificar mediante una reacción química.

Materiales

- Gradillas
- Tubos de ensayo
- Pipetas
- Mechero
- Pinza para tubo de ensayo

Reactivos

- Fehling A
- Fehling B.

Material biológico

- Leche
- Jugo de naranja
- Jugo de manzana
- Miel de abeja
- Clara de huevo
- Carne
- Cualquier alimento al que quieras investigar si contiene azúcares

Procedimiento

1. Deposita en un tubo de ensayo, 2 ml de leche, enseguida agrégale 1 ml de Fehling A y 1 ml de Fehling B y mezcla. Ayudándote con la pinza para tubo de ensayo, calienta el tubo a la flama del mechero. Una coloración **amarilla** indica una baja concentración de azúcares mientras que un color **rojo-ladrillo** indica una elevada concentración de azúcares.
2. Repite la reacción para cada alimento al que le desees investigar si contiene azúcares.

Análisis

1. De los alimentos investigados, ¿cuáles no contienen azúcares?

_____

_____

_____

2. Escribe los nombres de los alimentos a los que sí les comprobaste la presencia de azúcares.

_____

_____

_____

3. ¿Qué alimentos contienen más azúcares, las de origen vegetal o animal?

_____

Explica:

_____

_____

_____

_____

Conclusión

Elabora una conclusión, auxiliándote de las reacciones que llevaste a cabo.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Actividad 3

Clases de almidones y su identificación

Habilidades

Manipular, observar, comparar y contrastar.

Problema

¿Qué diferencias se observan entre los almidones?

¿Cómo se identifican los almidones en los productos biológicos?

Estrategia

Durante esta actividad, observarás al microscopio los gránulos de almidón de diversos alimentos: papa, plátano, arroz, maíz, etc. Además identificarás el almidón en dichos productos.

Hipótesis

Los gránulos de almidón muestran por lo general, en sus diversas formas, capas concéntricas de crecimiento. La forma es muy variada y específica de cada tallo, fruto o semilla.

Los almidones se pueden identificar mediante una sencilla reacción química.

Materiales

- Microscopio
- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Navaja
- Vidrio de reloj
- Gotero.

Reactivos

- Lugol

Material biológico

- Plátano
- Papa
- Maicena
- Maseca
- Harina de arroz
- Jícama
- Salchicha
- Pan
- Clara de huevo
- Carne, etc.

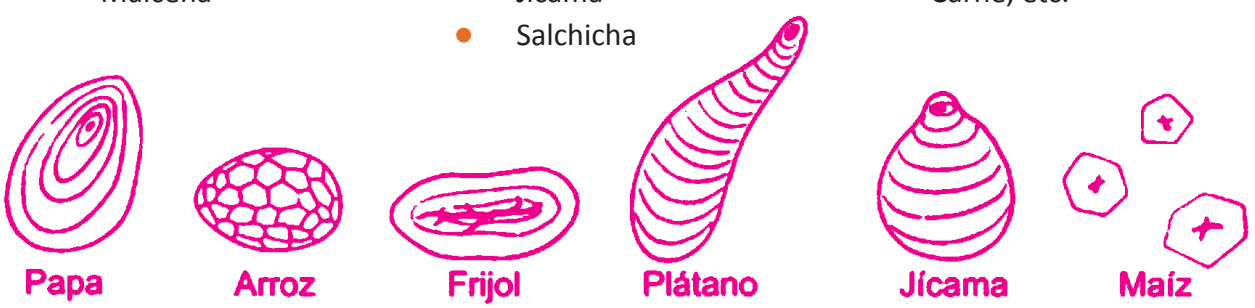
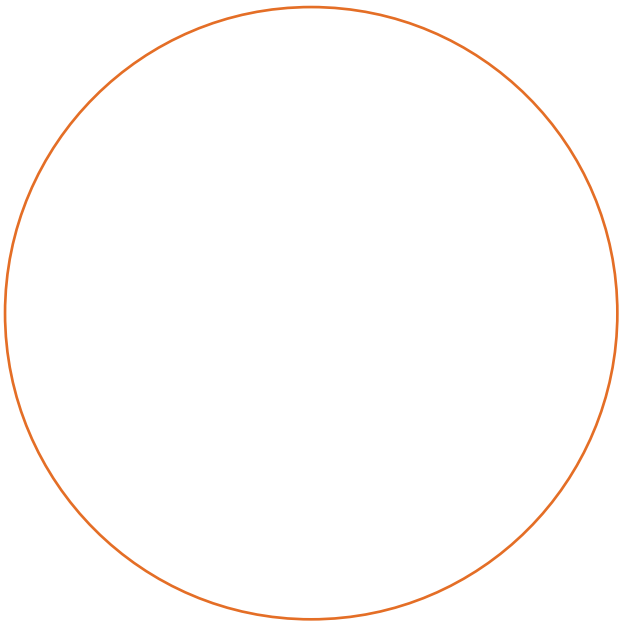


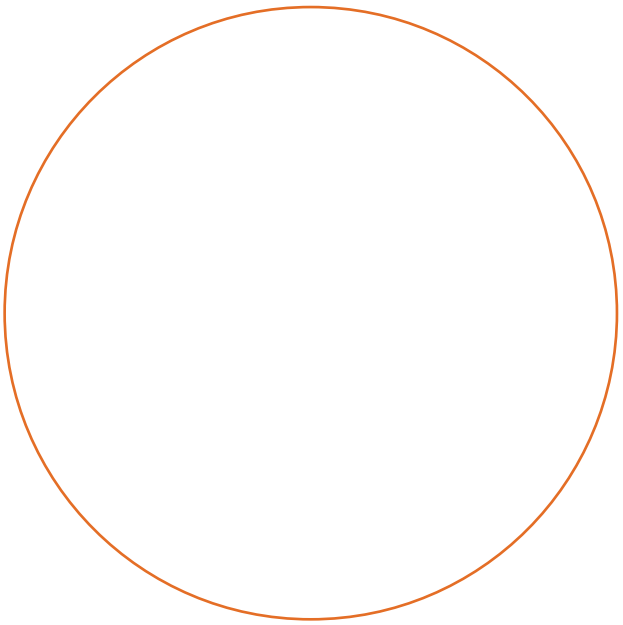
Figura 3.1 *Gránulos de almidón de diversas plantas.*

Procedimiento

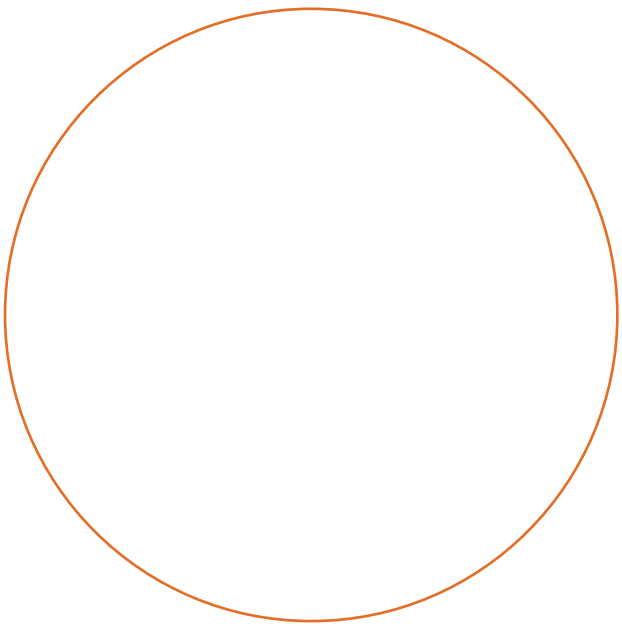
1. Con la navaja realiza un delgado corte de plátano, deposítalo sobre un portaobjetos, presiónalo con el cubreobjetos y observa al microscopio.
2. Repite el paso 1 con la papa.
3. Deposita una pequeña cantidad de harina de arroz sobre el portaobjetos, agrega una gota de lugol, coloca el cubreobjetos y observa al microscopio.
4. Ejecuta el paso 3 con harina de trigo, maíz, etc.
5. Dibuja los gránulos de almidón que observaste al microscopio.



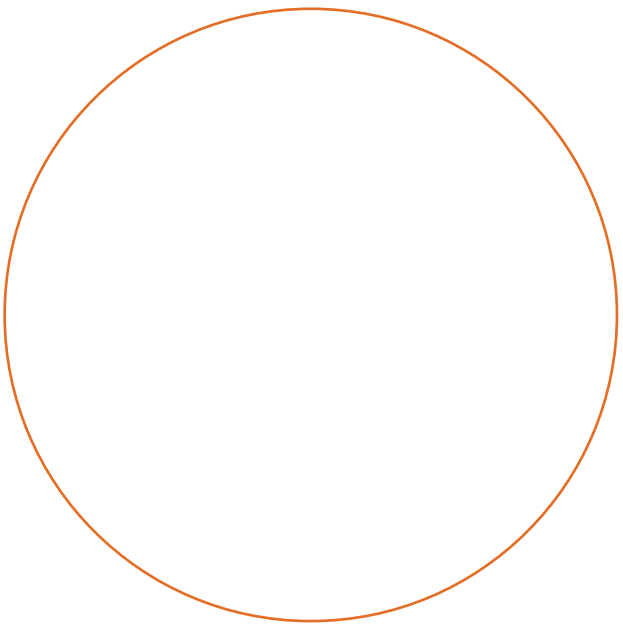
Dibujo 3.1 Papa



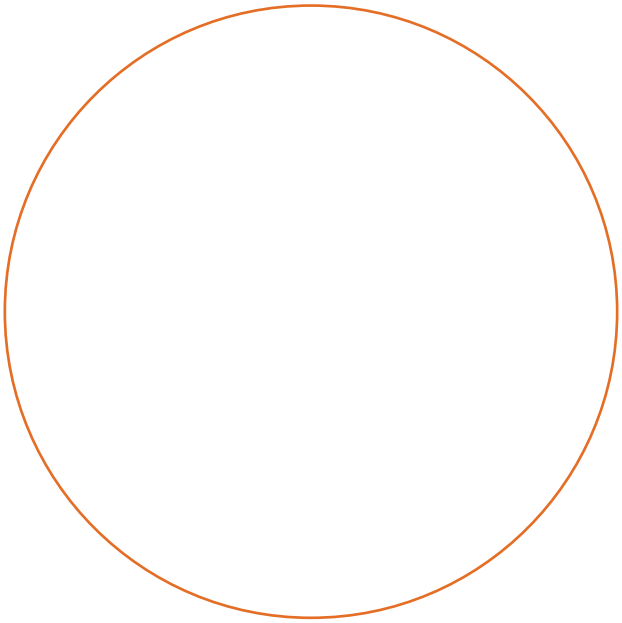
Dibujo 3.2 Plátano



Dibujo 3.3 Arroz



Dibujo 3.4 Maíz



Dibujo 3.5 Trigo

6. Deposita una pequeña porción (1cm^3 aproximadamente) de papa sobre un vidrio de reloj y agrégale unas gotas de lugol. Un color **azul-negro** indica la presencia de almidón.
7. Repite lo mismo con el plátano, salchicha, carne, jícama, pan, clara de huevo, etc.

Análisis

1. ¿En qué alimentos encontraste almidón? Anótalos en orden de mayor a menor según su concentración de almidón.

_____

_____

2. ¿Cómo explicas la presencia de almidón en la salchicha?

_____

_____

Conclusión

De acuerdo a los resultados que obtuviste, redacta tu conclusión.

_____

_____

_____

_____

_____

Actividad 4

Clases de lípidos y proteínas

Habilidades

Manipular, observar y contrastar.

Problema

¿Cómo se identifican los lípidos y las proteínas en alimentos?

Estrategia

Durante esta actividad, realizarás reacciones y mediante las coloraciones características, verificarás si los lípidos y las proteínas están presentes en algunos alimentos.

Hipótesis

Tanto los lípidos como las proteínas se pueden identificar mediante reacciones que presentan coloración característica.

Materiales

- Gradilla
- Tubos de ensayo
- Pipetas
- Goteros.

Reactivos

- Sudan III
- NaOH
- $CuSO_4$

Material biológico

- Carne molida o finamente picada de res, cerdo o pollo
- Jamón y salchicha picada
- Leche
- Jícama
- Maicena
- Tortilla
- Aceite comestible
- Clara de huevo

Procedimiento

1. Deposita en un tubo un poco de carne molida, agrégale unas gotas de sudan III, mezcla y déjalo reposar durante cinco minutos. Una coloración **anaranjada-rojiza** indica la presencia de lípidos.
2. Repite la misma reacción para cada uno de los alimentos y anota tus resultados.

3. Deposita en un tubo una pequeña cantidad de carne de pollo, agrégale 2 ml de NaOH, mezcla y agrega gota a gota $CuSO_4$. Una coloración **violeta** indica la presencia de proteínas.
4. Repite la misma operación a cada uno de los alimentos y anota tus observaciones.

Análisis

1. ¿Cuáles alimentos contienen lípidos?

_____

_____

2. ¿Cuáles contienen proteínas?

_____

_____

3. ¿Qué productos biológicos contienen tanto lípidos como proteínas?

_____

_____

4. ¿Qué alimentos carecen de lípidos y proteínas?

_____

_____

Conclusión

_____

_____

_____

_____

_____

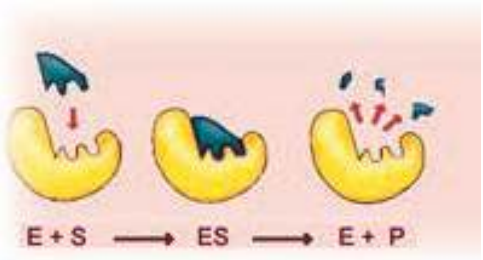
_____

Actividad 5

Actividad enzimática

Habilidades

Observar, comparar y determinar.



Problema

¿En qué condiciones actúan las enzimas?

Estrategia

Durante esta actividad, investigarás la temperatura y el pH óptimos de la enzima catalasa, así como también la relación entre la concentración de enzima y la velocidad de la reacción. Además, comprobarás que la enzima se reutiliza.

Hipótesis

La **catalasa** es una enzima que se encuentra en las células desdoblando el peróxido de hidrógeno (producto tóxico para la célula), en agua y oxígeno (productos inofensivos). La catalasa no se destruye sino que vuelve a actuar sobre el peróxido de hidrógeno.

Materiales

- Gradilla
- Tubos de ensayo
- Agitador de vidrio
- Soporte universal
- Anillo (aro)
- Malla de asbesto
- Pipetas
- Pinzas para tubo de ensayo
- Arena y hielo.
- 3 vasos de precipitado de 1000 ml
- 2 vasos de precipitado de 250 ml
- Palillos o astillas de madera largas

Nota:

El peso molecular del hidróxido de sodio (NaOH) es 40, por lo tanto para preparar un litro de solución 1M se disuelven los 40 gramos en agua y se afora hasta 1000 ml. Si la solución es 0.1M, solo se pesan 4 gramos y se afora a 1L.
En caso de preparar solo 100 ml de NaOH 0.1M, se pesan 0.4 gramos y se aforan a 100 ml.
Para preparar el ácido clorhídrico (HCl) 1M, lee en el frasco la densidad y el % en peso que trae indicado.
Si por ejemplo la densidad fuera 1.18 y 35.39 % en peso.
El peso molecular del HCl es de 36.5
35.39 – 100 %
36.5 – X X = 36.5 x 100/35.39 = 103.13g

Los 103.13g se convierten a ml porque es líquido.
V = peso/densidad = 103.13/1.18 = 87.5ml.
87.5ml se miden para cuando se va a preparar un litro de solución 1M.
Si se va a preparar solución 0.1M son 8.75ml.
Si se va a preparar solamente 100ml de una solución 0.1M de HCl, se miden 0.875ml y se aforan a 100ml de solución.

Reactivos

- Peróxido de hidrógeno al 3 %
- Papel para medir pH
- Solución de NaOH 0.1M
- Solución de HCl O.1M.

Material biológico

- Hígado

Procedimiento

1. Coloca en 2 tubos de ensayo, una porción de hígado del tamaño de un grano de arroz. A uno de ellos, agrega una pequeña cantidad de arena y con el agitador de vidrio muele el hígado.
2. Agrega 2 ml de peróxido de hidrógeno a cada uno de los tubos y observa.
3. Deposita la misma cantidad de hígado en 3 tubos de ensayo, agrégale arena y tritúralo. Coloca el primer tubo en baño de agua helada, el segundo en baño de agua hirviendo y el tercero en baño de agua tibia durante 5 minutos. Sácalos de sus respectivos vasos.
4. Agrega 2 ml de peróxido de hidrógeno a cada uno de los tres tubos y observa.
5. Nuevamente, deposita la misma cantidad de hígado en 3 tubos de ensayo, agrégale arena y tritúralos. Al primero agrégale 2 ml de solución de NaOH, al segundo HCl y al tercero agua destilada, mide el pH, anota los resultados.

   El NaOH en el hígado triturado confiere un pH = _____

   El HCl en el hígado triturado confiere un pH = _____

   El agua destilada en el hígado triturado confiere un pH = _____
6. Agrega 2 ml de peróxido de hidrógeno a cada tubo y observa.
7. Agrega a los dos primeros tubos (del paso No. 1 y 2), 2 ml de peróxido de hidrógeno y observa.
8. Introduce una astilla con punto de ignición al tubo y observa la combustión.

Análisis

1. Cuando realizaste el paso número uno y dos. ¿En qué tubo se observa mayor velocidad de la reacción?

   _____

Explica:

_____

_____

_____

¿Qué le sucedió a la catalasa en el baño de agua hirviente?

_____

_____

Cuándo congelamos en nuestra casa el hígado, ¿se desnaturaliza la catalasa?

_____

Explica:_____

_____

¿A qué pH actúa mejor la catalasa?

_____

¿En cuál paso comprobaste que la enzima se reutiliza?

_____

_____

Escribe la reacción general de las enzimas:

_____

¿Por qué al introducir la astilla con punto de ignición (brasa), se observa la combustión?

_____

Conclusión

Basándote en tus anotaciones, redacta tu conclusión.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Actividad 6

Extracción de ADN

Habilidades

Manipular y observar

Problema

¿Cómo se puede extraer el ADN de las células de cebolla?

Estrategia

Durante esta actividad, extraerás el ADN de los núcleos de las células de cebolla y lo observarás a simple vista (fibras blancas).

Hipótesis

El ADN se encuentra **en el núcleo de las células**, por lo tanto, para poder extraerlo necesitamos una técnica que separe las células y que además, rompa paredes celulares, membranas celulares y nucleares.

Materiales

- Una licuadora
- Un cuchillo
- Un tripié
- Un embudo
- Papel filtro
- Pipetas
- Una gradilla
- Agitador de vidrio
- Portaobjetos
- Microscopio.
- Un tubo de ensayo
- Una tela limpiadora (magitel)
- Un triángulo de porcelana
- Un vaso de precipitado de 50 ml
- Un vaso de precipitado de 200 ml

Reactivos

- 1 gramo de sal
- 30 ml de agua
- 1 ml de detergente lavavajillas
- Alcohol de 96° muy frío.

Material biológico

- Una cebolla grande y fresca
- 2 a 3 ml de jugo de papaya.

Procedimiento

1. Corta la zona central de la cebolla en cuadros.
2. Deposítalos en la licuadora, agrégale 30 ml de agua y procede a licuar.
3. Vacía aproximadamente 30 ml de este licuado en el vaso de precipitado de 50 ml. Agrégale 1 ml de detergente lavavajillas, 1g de sal y mézclalos con el agitador.

4. Procede a filtrar, recogiendo el filtrado en el vaso de precipitado de 200 ml.
5. Al filtrado, agrégale el jugo de papaya y mézclalos.
6. Vierte al tubo de ensayo, 2 ml aproximadamente de esta mezcla y agrégale el mismo volumen de alcohol cuidando que resbale por las paredes del tubo. Deja reposar.
7. Observa la maraña de fibras blancas de ADN (en la interfase entre el alcohol y el agua).

Análisis

1. ¿Con qué finalidad moliste la cebolla?

   _____

2. ¿Qué función realizó la sal?

   _____

3. ¿Para qué se le agrega solución lavavajillas?

   _____

4. ¿Qué efecto tiene el alcohol helado cuando es agregado a la muestra?

   _____

5. Traza los puentes de hidrógeno entre las bases nitrogenadas de la figura 6.1

Conclusión

Basándote en tus observaciones, elabora tu conclusión.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

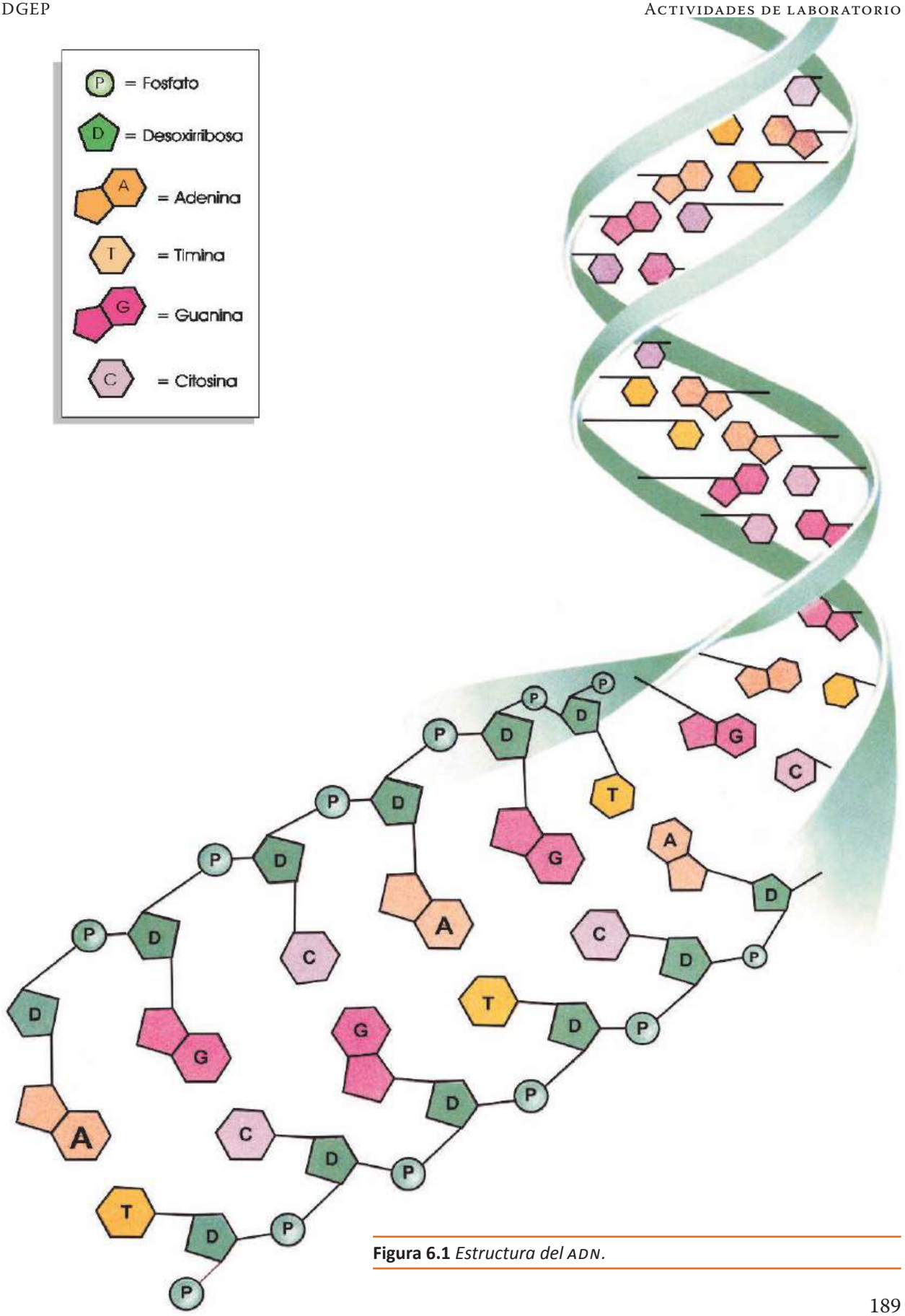


Figura 6.1 *Estructura del ADN.*

Actividad 7

Elaboración de tepache

Habilidades

Observar y manipular.

Problema

¿Cómo se produce la bebida conocida como tepache?

Estrategia

Durante esta investigación elaborarás una bebida alcohólica (tepache), usando como materia prima piña.

Hipótesis

El tepache es producido mediante una **fermentación alcohólica**. Las células de levadura llevan a cabo la fermentación que produce alcohol etílico y CO_2. La fermentación alcohólica es anaeróbica.

$C_6H_{12}O_6$	⟶	$2C_2H_5OH$	+	$2CO_2$	+	2ATP
Glucosa		Alcohol etílico		Bióxido de carbono		Energía

Materiales

- 1 olla de 3 litros
- 1 cuchara de cocina
- 1 cuchillo
- 1 servilleta de tela

Reactivos

- Azúcar o piloncillo

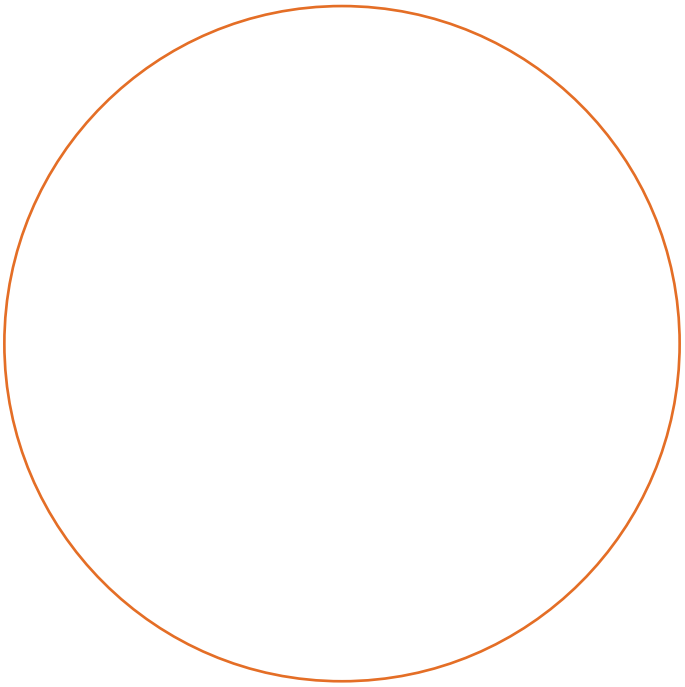
Material biológico

- 1 piña

Procedimiento

1. Lava y parte la piña en varios pedazos con todo y la cáscara.
2. Deposita los pedazos en la olla, agrégale el agua y el azúcar o piloncillo.
3. Cubre la olla con la servilleta y déjala reposar hasta que captes el sabor y el olor del alcohol (de 5 a 8 días aproximadamente).
4. Separa los sólidos de la fermentación.
5. Refrigera el tepache obtenido.
6. Elabora una preparación microscópica con una gota de tepache.

7. Dibuja los microorganismos que observes y escribe su nombre.



Dibujo 7.1

Análisis

1. ¿Por qué en invierno, el tiempo que se requiere para la elaboración de tepache es mayor que en verano?

   _____

2. ¿Para qué utilizaste la cáscara de la piña?

   _____

   _____

3. ¿Qué microorganismo son los elaboradores del tepache?

   _____

4. ¿A qué reino pertenecen?

   _____

5. ¿Por qué transforman las levaduras la glucosa en alcohol?

   _____

   _____

6. ¿Para qué le agregaste azúcar?

_____

7. ¿Cómo se llama la reacción que llevan a cabo las levaduras para elaborar tepache?

_____

_____

8. ¿Cuál es la ecuación química?

_____

Conclusión

Basándote en tu investigación, elabora tu conclusión.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Actividad 8

Elaboración de yogurth

Habilidades

Observar, manipular, experimentar, constrastar.

Problema

¿Cómo se elabora el yoghurt?

¿Cuáles son los parámetros adecuados para el proceso de fermentación en la elaboración de yoghurt?

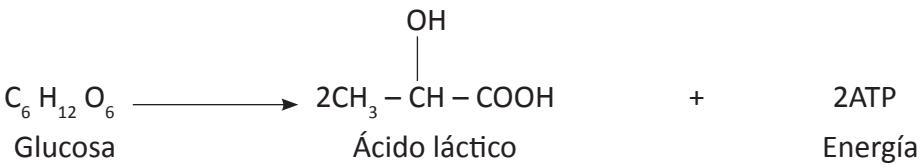
Estrategia

Durante esta investigación, conocerás el proceso para elaborar yoghurt y los parámetros a controlar para obtener un producto de buena calidad.

Hipótesis

El yoghurt es una leche fermentada que se elabora a partir de leche (entera, semidescremada o light), como consecuencia de la acidificación por las bacterias lácticas, por lo tanto, el yoghurt es el producto de la **fermentación láctica**.

La fermentación láctica es el único medio que poseen algunos seres vivientes para degradar la glucosa y poder nutrirse.



Los tres parámetros que son necesarios revisar para obtener un yoghurt de calidad son:

- Control de microflora
- Temperatura
- Acidez

Las principales especies que constituyen la microflora de los cultivos iniciadores son:

Lactobacillus bulgaricus o *Lactobacillus thermofilus* que producen mucho ácido láctico y *Streptococcus lacticus* que producen menos cantidad de ácido que los *Lactobacillus*.

Materiales

- Un termómetro
- Papel para medir pH
- Refrigerador
- Un agitador de vidrio
- Incubadora o baño maría

Material biológico

- Un litro de leche entera o semidescremada o light
- 30 gramos de cultivo iniciador (yoghurt natural)

Procedimiento

1. Calienta la leche hasta la temperatura de 50°C.
2. Incorpora el cultivo inicial y mezcla homogéneamente.
3. Mide el pH.
4. Incuba a 45°C por un tiempo aproximado de 5 horas (hasta que el producto haya alcanzado un pH de 4.5).

Nota:
Puedes vaciar la mezcla (leche y cultivo iniciador) a un termo, para que se conserve la temperatura (45°C).

5. Después de la incubación, enfría el yoghurt rápidamente por debajo de 10°C.
6. Envasa el yoghurt en un recipiente de plástico, previamente lavado con agua clorada.
7. Guárdalo a una temperatura entre 5 y 10°C.

Análisis

1. ¿Qué función tienen los 30 gramos de cultivo inicial (microflora)?

_____

_____

_____

2. ¿Cuáles son las bacterias que producen la fermentación?

_____

_____

3. ¿Qué ocurre durante la incubación y por qué debe realizarse a 45°C?

_____

_____

_____

4. ¿Por qué debe enfriarse el yoghurt después del periodo de incubación?

_____

_____

5. ¿Cómo se llama este tipo de fermentación?

_____

¿Por qué recibe este nombre?

_____

_____

6. ¿Qué pH tiene tu yoghurt?

_____

Conclusión

Basándote en las diferencias en los tipos de fermentación (para producir yogurt y para producir tepache), redacta tu conclusión.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Actividad 9

Elaboración de pan

Habilidades

Manipular, observar y comparar.

Problema

¿Qué microorganismo es necesario agregar a la harina de trigo para elaborar el pan?

Estrategia

Durante esta actividad, observarás el bióxido de carbono (CO_2) que liberan las levaduras y el efecto que ocasiona este en la harina de trigo.

Hipótesis

La levadura es un hongo unicelular heterótrofo (que no puede producir su propio alimento), y por lo tanto, se nutre de azúcar, es decir, lleva a cabo una **fermentación alcohólica**. El CO_2 producido mediante esta fermentación, es el que provoca los huecos que hacen que la masa del pan crezca y se esponje.

Materiales

- Un vaso de precipitado de 250 ml
- 1 agitador de vidrio
- 1 charola
- 200 ml. de agua

Reactivos

- 2 cucharadas de azúcar

Material biológico

- 2 cucharadas de levadura
- 1 taza de harina de trigo

Procedimiento

Parte A

1. Disuelve una cucharadita de azúcar en un vaso con agua tibia.
2. Agrega una cucharadita de levadura y mezcla la solución.
3. Coloca el vaso cerca de una ventana soleada o sácalo para que quede expuesto al calor del Sol.

Parte B

1. Adiciona una cucharada de azúcar a la taza de harina y mézclalas.
2. Vierte una cucharadita de levadura a los 200 ml de agua tibia.
3. Agrega poco a poco a lo preparado en el paso 1.
4. Mézclalos hasta que formen una masa uniforme.
5. Deja reposar y observa.

Análisis

1. ¿Qué sucedió con el volumen de la masa?_____

   ¿Por qué? _____

2. ¿De dónde proviene el CO_2?

   _____

3. ¿Por qué algunos panaderos guardan un poco de esta masa, antes de hornearla?

   _____

4. ¿Crees que al hornear la masa, se mueren las levaduras? _____ ¿Por qué? _____

   _____

5. Escribe la ecuación:

   _____

Conclusión

Basándote en esta actividad y en la actividad 7, menciona las diferencias en cuanto a utilidad de los productos de la fermentación.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Actividad 10

Elaboración de vinagre

Habilidades

Manipular, observar, comprar.

Problema

¿Cómo se elabora el vinagre?

Estrategia

Durante esta actividad, elaborarás vinagre de manzana.

Hipótesis

El vinagre se elabora mediante una **fermentación alcohólica** (levadura) seguida de una **fermentación acética** (bacteriana) en un medio adecuado: mosto de uva, zumo de manzana o malta. El vinagre suele tener 5-6 % de ácido acético y un pH = 2.5-3.5.

Materiales

- Frasco de plástico o de vidrio de 2 litros
- 1 cuchillo
- Una tela de magitel nueva

Reactivos

- ½ litro de agua

Material biológico

- Un kilogramo de manzanas

Procedimiento

1. Pica la manzana en pedazos de aproximadamente 1cm^3.
2. Deposítalos en el frasco.
3. Agrega el agua y agítalo.
4. Déjalo reposar hasta que percibas el olor del vinagre (compáralo con el vinagre comercial). De 8-15 días, aproximadamente.
5. Filtra en la tela magitel y desecha los sólidos.

Análisis

1. ¿Qué porcentaje de ácido acético contiene el vinagre?

2. ¿Qué pH tiene el vinagre que elaboraste?

_____

3. ¿En qué se basa la elaboración de vinagre?

_____

_____

_____

_____

4. ¿Qué microorganismos llevan a cabo la fermentación alcohólica?

_____

5. ¿Qué microorganismos realizan la fermentación acética?

_____

6. ¿Qué aplicación le vas a dar al vinagre?

_____

_____

_____

_____

Conclusión

Basándote en tus observaciones , redacta tu conclusión.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Bibliografía

Unidad 1

Thorpe, W. V., Bray H. G., James S. P. *Bioquímica*, México: Editorial Continenta, 1976.

Laguna, José. *Bioquímica*, México: La Prensa Mexicana, 1960.

Mahler, H.R. *Basic Biological chemistry*, Japón: Harper and Row Publishing, 1968.

Mahler, H. R., Corder E. H. *Química Biológica*, Barcelona: Editorial Omega, 1971.

Ledezma, M.I., *Historia de la Biología*, México: AGT editor, 2000.

Unidades 2, 3, 4, 5, 6 y 7

Díaz Zagoya, Juán C. y Marco Antonio Juárez Oropeza, *Bioquímica. Un enfoque básico aplicado a las ciencias de la vida*. India: McGraw-Hill/Interamericana, 2007.

Laguna, José y Enrique Piña, *Bioquímica de Laguna*, México: Editorial El Manual Moderno. UNAM, Facultad de Medicina, 2007.

Murray, Robert K., Granner Daryl K. y Victor W. Rodwell, *Harper Bioquímica ilustrada*, México: Editorial El Manual Moderno, 2007.

Peña D. A. y cols., *Bioquímica*. México: Editorial Limusa, 2009.

Zarza M. E., *Introducción a la bioquímica*. México: Editorial Trillas, 2007.

Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. *Biología*, 8ª edición. China: McGraw-Hill Interamericana, 2008.

Campbell, M. *Biología, conceptos y relaciones*. 3ª edición. México: Pearson Educación, 2001.

Curtis, H. *et al*., *Invitación a la Biología*, 6ª edición. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2006.

Lodish, Harvey, *et al. Biología celular y molecular*, 5ª edición, 3ª reimpresión. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2009.

Miller, Kenneth R. y Levine Joseph S., *Biología*, Estados Unidos de América: Pearson, 2010.

Mader, Sylvia S., *Biology,* 9ª edición. Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 2007.

Biggs, Alton, *et al. Biología*, China: Glencoe/McGraw-Hill, 2007.

Audesirk, T., Audesirk, G. y Bruce E. Byers, *Biología. Ciencia y naturaleza*. México: Pearson Educación, 2004.

Bibliografía de las actividades de laboratorio

Las actividades de laboratorio 2 (identificación de azúcares), 3 (clases de almidones y su identificación), 4 (clases de lípidos y proteínas), 5 (actividad enzimática) y 6 (extracción de ADN), fueron tomadas y adaptadas de los siguientes libros:

Biggs, Alton, *et al. Biología*, China: Glencoe/McGraw-Hill, 2007.

Vázquez Trujillo A, Aguilar Carrasco J.C. Extracción y observación directa (a simple vista) de ADN por medio de reactivos convencionales y de muy bajo costo (propuesta para el maestro) en La Actividad Experimental en el Aprendizaje de las Ciencias Naturales y Exactas. Culiacán, Sinaloa., enero del 2000.

Catalá, Rosa María, Guía del maestro "Extracción del ADN del kiwi". Revista ¿Cómo ves? México: UNAM, año 5, núm. 53, abril de 2003.

Welch Claude A y cols. Ciencias biológicas, Novena Impresión, Caracas Venezuela, 1980.

Mientras que las actividades de laboratorio 1 (medición del pH), 7 (elaboración de tepache), 8 (elaboración de yoghurt), 9 (elaboración de pan) y la 10 (elaboración de vinagre) fueron elaboradas por la profesora Amada Aleyda Angulo Rodríguez.

Procedencia de las ilustraciones

Unidad 1. Introducción a la bioquímica

Figura 1.5 y 1.6 tomadas de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones

Figuras tomadas de internet

Figura 1.1 http://www.sciencephoto.com/images/download_wm_image.html/H412199-Col_portrait _of_Antoine_Laurent_Lavoisier-SPL.jpg%253Fid%253D724120199

Figura 1.2 http://2.bp.blogspot.com/_wbFzUlSJRLA/TOz3kz-m4BI/AAAAAAAAAAQ/TeO7OAC_-CI/s1600/pasteu32.jpg

Figura 1.3 http://image.absoluteastronomy.com/images/topicimages/c/ca/carl_neuberg.gif

Figura 1.4 http://history.nih.gov/exhibits/nirenberg/images/photos/03_chargaff_sm2.jpg
http://media-3.web.britannica.com/eb-media/96/21096-004-031BB928.jpg
http://images.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/watson_postcard.jpg, http://images.nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1962/wilkins.jpg

Figura 1.7 http://2.bp.blogspot.com/_ctdVCycPP2c/SFBnVJwDNRI/AAAAAAAAAKM/cZyj8QAlpP0/s400/bac1.gif

Unidad 2. Agua, pH y electrólitos

Figura 2.7 tomada de Harper (PENDIENTE)

Figura 2.11 tomada de Laguna, José y Enrique Piña, Bioquímica de Laguna.

Figura 2.15 y 2.25 tomada de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones.

Figuras tomadas de internet

Figura 2.1 http://zuleykamercado4681.files.wordpress.com/2007/11/tierra01.jpg (el planeta azul)
http://anny7989.wikispaces.com/file/view/000385110.png/170955129/000385110.png (el agua en los seres humanos_ pareja)

Figura 2.2 http://www.ucm.es/centros/webs/d351/cont/descargas/fotocat1987.gif

Figura 2.3 http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST264ZI50761&id=50761 (medusa)
http://elguille-uigv.com/wp-content/uploads/2010/10/100310_0633_Neuroplasti41.jpg (neuronas azules)
http://www.saberia.com/wp-content/uploads/2009/12/curiosidades_huesos.jpg (esqueleto)
http://www.jennydemalaga.es/wp-content/uploads/2009/07/Margarita-gerbera-Gerbera-jamesonii.jpg (gerbera)

Figura 2.4 http://www.corona.com.co/cv/admin/imagenes/oso%20de%20agua.jpg

Figura 2.5 http://4.bp.blogspot.com/_kzbh1ADhcNw/StyfflE3P7I/AAAAAAAAACM/tMDQcK7s2-E/s320/moleculilla.jpg

Figura 2.6. http://img.webme.com/pic/c/cibercuaderno-delosfmq/agua.png

Figura 2.8. http://img.webme.com/pic/c/cibercuaderno-delosfmq/agua.png

Figura 2.9. http://imagenes.mailxmail.com/cursos/imagenes/4/8/la-composicion-del-agua_38284_2_2.jpg

Figura 2.10 http://www.google.com.mx/images?um=1&hl=es&client=safari&rls=en&biw=1280&bih=874&tbs=isch%3A1&sa=1&q=cubo+de+hielo&aq=f&aqi=g3&aql=&oq=&gs_rfai=

Figura 2.12 http://p2.trrsf.com/image/get?src=http%3A%2F%2Fvgn-live-mia.terra.com%2Fwebimg%2FPeru%2FImagenes%2FVida+y+Estilo%2FD6%2F0D%2FE9%2F50140311202039528_e5fb09carrorecalentado01g.jpg (carro)
http://uploads.blogia.com/blogs/b/bi/bio/biodieselchile/upload/20071010201948-alicante-solar1.jpg (calefacción de edificios)

Figura 2.13 http://www.sacha.org/envir/bosques/images/1556_06.jpg

Figura 2.14 http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29701428/salud/images/anacircu2.gif

Figura 2.16 http://2.bp.blogspot.com/-MuIxC3u4c2o/TZrvuwzKTCI/AAAAAAAAAF4/nUSEU9RTwhM/s1600/Invernadero.jpg (invernadero)
http://2.bp.blogspot.com/-MuIxC3u4c2o/TZrvuwzKTCI/AAAAAAAAAF4/nUSEU9RTwhM/s1600/Invernadero.jpg (hielo)

Figura 2.17 http://www.natureduca_com/images_geog_fot/geogFOT_aguas_termales.jpg

Figura 2.18 http://2.bp.blogspot.com/-MuIxC3u4c2o/TZrvuwzKTCI/AAAAAAAAAF4/nUSEU9RTwhM/s1600/Invernadero.jpg (sudoración)

Figura 2.19 http:/farm2.static.flickr.com/1312/1204120446-3 (mosquito).
http://ciencia.nasa.gou/headlines/y (tensión superficial).

Figura 2.20 http://www.profesorenlinea.cl/imagenciencias/agua03.png (el agua asciende a través del tubo capilar)

Figura 2.21 http://www.doschivos.com/trabajos/quimica/viscte7.jpg (3 capilares)

Figura 2.22 http://www.zenzi.org/blog-imagen/noviembre-2010/arbol-alto-sequoia-gigante.jpg (sequoia)

Figura 2.23 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/17/Na%2BH2O.gif/250px-Na%2BH2O.gif

Figura 2.24 http://www.tareaescolar.net/tareaescolar/naturales/el%20agua%20archivos/image020.jpg

Figura 2.25 http://www.ehu.es/biomoleculas/ph/jpg/escala2.jpg

Figura 2.26 http://www.sanborns.com.mx/sanborns/assets/product_images/images_big/7501165002906.jpg (tabletas)
http://www.sanborns.com.mx/sanborns/assets/product_images/images_big/7501072310392.jpg (suspensión)

Figura 2.27 http://bligoo.com/media/users/2/103545/images/public/13339/phtiras.jpg (tiras para medir pH)
http://www.metostep.com/es/wp-content/uploads/30050-ph-fix-in-aktion-150x150.jpg (tira dentro de la sustancia)

Figura 2.28 http://orbita.starmedia.com/~hidroparano/img32.jpg

Figura 2.29 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.jano.es/ficheros/images/20/20v27n04/grande/20v27n04-

Figura 2.30 http://www.mensencia.com/tag/agua

Figura 2.31 http://1.bp.blogspot.com/_fWgE78nXdyU/TNFnJ2soxFI/AAAAAAAAAbo/SNsYn5LCCrs/s1600/CANILLA+GOTEANDO.jpg

Unidad 3. Carbohidratos

Figura 3.1 tomada de Biggs, Alton et al. Biología.

Figura 3.7 tomada de Peña D.A. y Cols., Bioquímica.

Figura 3.8 tomada de Ondarza R. N., Biología moderna.

Figuras 3.9, 3.10, 3.12, 3.15, 3.17, 3.21, 3.25, 3.26 y 3.31 tomadas de Laguna, José y Enrique Piña, Bioquímica de Laguna.

Figuras 3.13, 3.22, 3.25, 3.26 y 3.30 tomadas de Mader, Sylvia S. Biology.

Figuras 3.6, 3.11, 3.14, 3.16, 3.20, 3.24 y 3.30 Murray, R.K. et al. Harper Bioquímica ilustrada.

Figuras tomadas de internet

Figura 3.2 http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200709/24/fisicayquimica/20070924klpcnafyq_165.les.SCO.jpg (papas)
http://www.visitapenasco.com.mx/wp-content/uploads/2010/11/calabacitas-con-camaron370.jpg (camarón)
http://recetasdelujo.com/wp-content/uploads/2011/02/guiso-de-carne-de-vacuno.jpg (carne)
http://2.bp.blogspot.com/-OfR9hMlh8I8/TVPEhzZgUxI/AAAAAAAAAFk/yVskQ35aU70/s1600/colesterol.jpg (colesterol)
http://www.elcoloquiodelosperros.net/numero13/adn.jpg (ADN)
http://2.bp.blogspot.com/_I-2zG0fvaZs/SrqNeC-J2qI/AAAAAAAAAdk/ftdDzkiNbU0/s400/AMILOSA.jpg (amilosa)
http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/impacto/image170.gif (amilopectina)
http://1.bp.blogspot.com/_iTcZbbl8vBQ/TLxiONIylaI/AAAAAAAAAFY/YhIQil340qA/s1600/hemoglobin.jpg (estructura de la hemoglobina)

Figura 3.3 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://tuvidasana.murke.net/files/2009/02/frutas.jpg&imgrefurl=http://tuvidasana.murke.net/tag/alim (frutas)
http://2.bp.blogspot.com/_VDKtHivups8/Se83QRYvFsI/AAAAAAAABJY/RGgIUR2C2Yg/s400/remolacha-5234.jpg (remolacha azucarera)
http://www.dietasyalimentos.com/wp-content/uploads/2008/08/leche.jpg (leche)
http://www.rediex.gov.py/beta/userfiles/image/cana-de-azucar2.jpg(caña azucarera)

Figura 3.4 http://reflexionesdiarias.files.wordpress.com/2010/04/manzano.jpg?w=300&h=252 (árbol de manzana)
http://img.bebesymas.com/2009/10/bebe-comiendo-manzana.jpg (niño comiendo manzana)
http://www.elblogalternativo.com/wp-content/uploads/2009/05/sol.jpg (el sol)

Figura 3.5 http://globedia.com/imagenes/usuarios/noticias/18718/1271426349.jpg

Figura 3.19 http://img.directindustry.es/images_di/press/press-g/mcp-modular-circular-polarimeter-P36197.jpg (polarímetro digital)
http://www.iaspectra.com/archivos/Polarimetro%20de%20Disco.jpg (polarímetro manual)

Figura 3.23 http://2.bp.blogspot.com/_MbpZ44iWpr0/RulnF4mLoXI/AAAAAAAAAMM/ciRjjJcpk9I/s400/milkshakes.jpg

Figura 3.27 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://galeon.hispavista.com/francyyesenia/img/FlorAlgodon.jpg&imgrefurl=http://francyyesenia.galeon (algodón)

http://www.neuropool.com/newimages/alcachofa.jpg (hojas secas de árboles)

http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.tiar.cl/catalogo/images/arbol.jpg&imgrefurl=http://www.tiar.cl/catalogo/index.php%3Fmain (celulosa de los pinos)

Figura 3.29 http://plantas-medicinales.tv/wp-content/uploads/2011/05/33.jpg (agave)

http://www.neuropool.com/newimages/alcachofa.jpg (alcachofa)

http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.victa.it/img/inulina.gif&imgrefurl=http://www.victa.it/engcosucra.asp&usg=__UrHSPuxOMO7Cd5f08EpdFL70dsc=&h=281&w=233&sz=4&hl=en&start=0&zoom=1&tbnid=Rx5K8nME7j- (inulina)

Figura 3.32 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://3.bp.blogspot.com/_NobkK3-DKpc/SuTX-Ni-SfaI/AAAAAAAAGQQ/jkaVXEf3Z4I/s400/REMBRANDT%2BDE%2BLA%2BFOTOGRAFIA%2BMEDICA4.jpg&imgrefurl (leucocito y bacterias)

Unidad 4. Lípidos

Figuras 4.1, 4.2, 4.14, 4.21, 4.22, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 tomados de Laguna, José y Enrique Piña, Bioquímica de Laguna.

Figuras 4.3, 4.6, 4.7 y 4.9 tomados de Zarza Meza E. Introducción a la bioquímica.

Figuras 4.8, 4.13 y 4.18 tomados de Mader, Sylvia S. Biology.

Figura 4.19 tomado de Curtis, H. et al., Invitación a la Biología.

Figura 4.31 tomado de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones.

Figuras tomadas de internet

Figura 4.4 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.alfinal.com/Salud/omega3and6.gif&imgrefurl=http://www.alfinal.com/Salud/omega3.php&usg

Figura 4.10 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://eleconomista.com.mx/files/imagecache/nota_completa/niño-obeso-ok.jpg&imgrefurl=http (niño obeso)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.anuncioses.com/adpics/edible_oil_products388.jpg&imgrefurl=http://www.anuncioses.com/8/posts/13_Equipamiento_y_Maquinaria/ (aceites vegetales)

Figura 4.11 http://deanne105.wordpreshttp://deanne105.wordpress.com/s.com/(mantequilla de maní)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.nutricion.pro/wp-content/uploads/2008/10/mantequilla.jpg&imgrefurl=http://www.infojardin.com/foro/showthread.php%3Ft%3D157009%26page%3D2&usg (margarina)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.nestle.com.uy/images/productos/prod_coffee_mate.jpg&imgrefurl=http://www.nestle.com.uy/productos/producto.aspx%3Fprod_id%3D41&usg=__UIjXBOh- (sustituto de crema)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.lealsa.com/images/productos/inca.gif&imgrefurl=http://www.infojardin.com/foro/showthread.php (manteca vegetal hidrogenada)

Figura 4.12 http://pkts.files.wordpress.com/2008/05/play-mantequilla.jpg (mantequilla)

Figura 4.15 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://iesmonre.educa.aragon.es/alumnos/jabon/elabor3.jpg&imgrefurl=http://iesmonre.educa.aragon.es/alumnos/jabon/elaboraci%25F3n_de_jab%25F3n.htm&usg (dibujo elaboración de jabón)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://bp2.blogger.com/_ANww4jg3kZ0/SC9tdh7vBwI/AAAAAAAAASQ/M9rMAlLGpf0/s400/1Jabón%2B.jpg&imgrefurl=http (elaboración de jabón en casa)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://3.bp.blogspot.com/_WEaCJgCxJt8/S7Jdwa0t7KI/AAAAAAAAAAc/3rCH0OoWdEY/s200/images2.jpg (jabón)

Figura 4.16 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.educa.madrid.org/web/cc.nsdelasabiduria.madrid/Ejercicios/2b/Biologia/Lipidos/figuras_lipidos/ceras.jpg

Figura 4.17 http://www.entrepucheros.com/wp-content/uvas.jpg

Figura 4.20 http://www.monografias.com/trabajos17/margarina/Image1792.gif

Figura 4.32 http://www.educa.madrid.org/web/cc.nsdelasabiduria.madrid/Ejercicios/2b/Biologia/Lipidos/figuras_lipidos/prosta.gif (prostaglandina)

Unidad 5. Proteínas

Figuras 5.1, 5.3 y 5.6 tomadas de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones.

Figuras 5.2 y 5.7 tomadas de Mader, Sylvia S. Biology.

Figura 5.4 tomada de Curtis, H. et al., Invitación a la Biología.

Figura 5.5 tomada de Laguna, José y Enrique Piña, Bioquímica de Laguna.

Figura 5.8 tomada de Miller, Kenneth R. y Levine Joseph S. Biología.

Unidad 6. Ácidos nucleicos

Figura 6.1 tomada de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones.

Figuras 6.2 y 6.11 tomadas de Mader, Sylvia S. Biology.

Figuras 6.3, 6.6 y 6.8 tomadas de Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. Biología.

Figuras 6.4, 6.9, 6.10 y 6.14 tomadas de Biggs, Alton, et al. Biología.

Figura 6.7 tomada de Curtis, H. et al., Invitación a la Biología.

Figura 6.12 tomada de Díaz Zagoya, Juan C. y Marco Antonio Juárez Oropeza, Bioquímica. Un enfoque básico aplicado a las ciencias de la vida.

Figura 6.13 tomada de Miller, Kenneth R. y Levine Joseph S. Biología.

Unidad 7. Energía y metabolismo

Figuras 7.3. 7.4, 7.12, 7.14, 7.15, 7.16, 7.17, 7.18, 7.19, 7.21 y 7.22 tomadas de Audesirk, T., Audesirk G. y B.E. Byers. Biología. Ciencia y naturaleza.

Figura 7.9 tomada de Mader, Sylvia S. Biology.

Figuras tomadas de internet

Figura 7.1 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/66/Bohr-atom-PAR.svg&imgrefurl=http (fotones)
http://3.bp.blogspot.com/_6AA7vqfN-6g/TFHSY6I8gdI/AAAAAAAAAIw/qwvAiWFimH8/S220/vela.jpg

Figura 7.2 Adaptada de Audesirk e internet.
http://www.atriunfar.net/Notas/1252340166_gisela-dulko-tenis.jpg (tenista)

Figuras 7.6 y 7.7 http://www.netxplica.com/figuras_netxplica/exanac/porto.editora/atp.1.png (ATP)

Figura 7.8 http://4.bp.blogspot.com/-XTXEObXpfkU/TcRI8xyJcwI/AAAAAAAAAB0/czGpIq8jckQ/s1600/Kaka_Leite_5_Footballpictures.net.jpg (futbolista)
http://www.netxplica.com/figuras_netxplica/exanac/porto.editora/atp.1.png (ATP)

Figura 7.10 http://2.bp.blogspot.com/_L54XLc6X6IY/S3ljN8sbuRI/AAAAAAAAABQ/LxV28lglpso/s320/ATP-1e.png

Figura 7.11 http://4.bp.blogspot.com/_bnPQivufiSc/ScLmoZ9-RcI/AAAAAAAABFw/Tn1k5GUIKOk/s400/luciernaga3.jpg

Figura 7.20 http://www.aqa.org.mx/eventos/2006/carrerasderuta/noviembre/carreraanaguevara.html

Figura 7.23 http://www.cursodepanaderia.com.ar/wp-content/uploads/P1090435.jpg (harina para pan con burbujas de CO2)
http://www.elarcadigital.com.ar/modules/revistadigital/thumb_articulo.php?id=1229 (destapar champaña)

BIOQUÍMICA,
de Amada Aleyda Angulo Rodríguez, Alma Rebeca Galindo Uriarte,
Roberto C. Avendaño Palazuelos y Carolina Pérez Angulo.
Se terminó de imprimir en el mes de agosto del 2011,
en los talleres de SERVICIOS EDITORIALES ONCE RÍOS,
Río Usumacinta # 821, Industrial Bravo,
Culiacán, Sin.

Tiraje: 2,500 ejemplares.