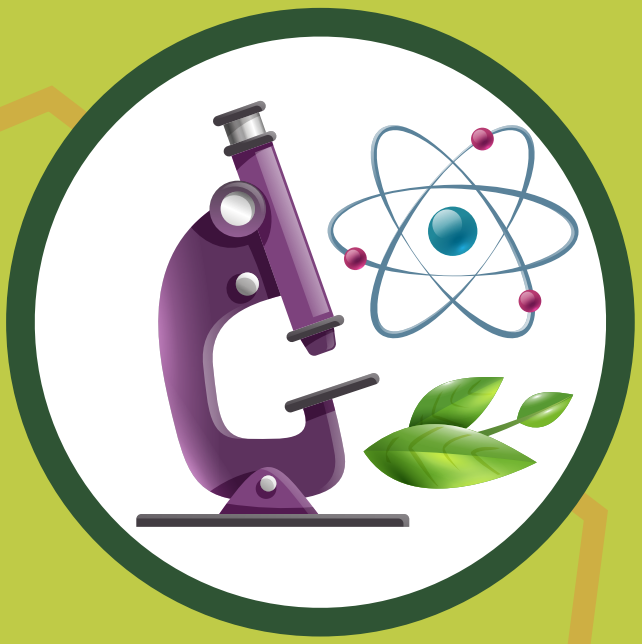
Universidad Autónoma
del Estado de México



Bioquímica

Libro de texto basado en competencias

Leticia Gómez Contreras · Blanca Esther Benhumea Rangel
José Manuel Romero Esquivel · Fernando Becerril Morales
Gerardo Enciso Prado

5°
Semestre

Bioquímica

Libro de texto basado en competencias

Dirección de Publicaciones Universitarias
Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México

Doctor en Ciencias e Ingeniería Ambientales
Carlos Eduardo Barrera Díaz
Rector

Doctora en Humanidades
María de las Mercedes Portilla Luja
Secretaria de Difusión Cultural

Doctor en Administración
Jorge Eduardo Robles Alvarez
Director de Publicaciones Universitarias

Doctora en Investigación Educativa
Eva Lilia García Escobar
Directora de Estudios de Nivel Medio Superior



BIOQUÍMICA

Libro de texto basado en competencias

Leticia Gómez Contreras
Blanca Esther Benhumea Rangel
José Manuel Romero Esquivel
Fernando Becerril Morales
Gerardo Enciso Prado

Primera edición, julio 2021
Primera reimpresión, julio 2023

BIOQUÍMICA
Libro de texto basado en competencias

Autores
Leticia Gómez Contreras
Plantel “Dr. Ángel Ma. Garibay Kintana”, de la Escuela Preparatoria de la UAEM
Blanca Esther Benhumea Rangel
Plantel “Cuauhtémoc”, de la Escuela Preparatoria de la UAEM
José Manuel Romero Esquivel
Plantel “Cuauhtémoc”, de la Escuela Preparatoria de la UAEM
Fernando Becerril Morales
Plantel “Dr. Pablo González Casanova”, de la Escuela Preparatoria de la UAEM
Gerardo Enciso Prado
Plantel “Texcoco”, de la Escuela Preparatoria de la UAEM

Universidad Autónoma del Estado de México
Av. Instituto Literario 100 Ote.
Toluca, Estado de México
C.P. 50000
Tel: (52) 722 277 38 35 y 36
http://www.uaemex.mx

El contenido de este material es responsabilidad de los autores, así como el tratamiento basado en competencias realizado a los libros de texto. Queda prohibida la reproducción o transmisión total o parcial del contenido de la presente obra, sin el consentimiento previo y por escrito del editor. La Universidad Autónoma del Estado de México se deslinda de cualquier acción legal derivada de este material.

® Derechos reservados, 2018

ISBN: 978-607-633-320-4

Hecho en México

Responsable del Programa de Diseño y Producción Editorial: L.D.G. Miguel Angel Conzuelo Endeje
Corrección de estilo: Ana Rosa Reyes
Interiores: Karla López
Imágenes: Shutterstock.com. Portada: freepick.com

Mensaje

A través de su historia, la Universidad Autónoma del Estado de México ha tenido como uno de sus objetivos fundamentales lograr que el estudiantado reciba una educación basada en el libre pensamiento, apelando a un sentido científico. La Escuela Preparatoria de la UAEM continuará mostrándose como un punto de inflexión para la comunidad estudiantil por la calidad de la educación que se ofrece al tiempo que se enseña a adquirir conocimientos, valores, habilidades y destrezas que favorezcan el entendimiento de nuestro entorno social y ambiental.

La responsabilidad de la Universidad Autónoma del Estado de México es asegurar que la educación que se imparte en la Escuela Preparatoria contribuya a ampliar el horizonte personal y profesional de los estudiantes. El enfoque para la apropiación del conocimiento parte de aprovechar la experiencia de vida y desde la autonomía de pensamiento y la reflexión lograr una comprensión más amplia de la realidad.

El material educativo que tienes en tus manos ha sido elaborado colegiadamente entre especialistas de cada una de las áreas del conocimiento. La creatividad, el pensamiento crítico y reflexivo, así como el espíritu científico del claustro de docencia e investigación se reúne en esta antología con el fin de que te acerques al conocimiento con una mirada crítica. Este ejemplar ha sido elaborado con el fin de establecer un aprendizaje dialógico que estimule tu curiosidad, que te sirva como guía, y que invariablemente te provoque pasión por el conocimiento.

El objetivo es lograr que recibas una educación integral e incluyente que incida de manera positiva en tu trayectoria escolar. Por ello es importante que asumas un compromiso personal, empeño y dedicación que te permita apropiarte del conocimiento.

Patria, Ciencia y Trabajo
Doctor en Ciencias e Ingeniería Ambientales
Carlos Eduardo Barrera Díaz
Rector

ÍNDICE

Introducción 8

Módulo 1. Carbohidratos 9

1.1 Generalidades 10
1.1.1 Origen (fotosíntesis) 10
1.1.2 Clasificación y propiedades 14
1.2 Nomenclatura 26
1.2.1 IUPAC para monosacáridos 26
1.2.2 Nomenclatura común 27
1.3 Propiedades químicas 28
1.3.1 Reacciones de fermentación (glucólisis) 28
1.3.2 Reacciones de oxidación 30
1.4 Metabolismo y ciclo de Krebs 34

Módulo 2. Lípidos 43

2.1 Generalidades 44
2.1.1 Concepto de lípidos 44
2.1.2 Clasificación, estructura química y función 44
2.1.2.1 Lípidos simples 45
2.1.2.2 Lípidos complejos 48
2.1.2.3 Lípidos asociados 50
2.2 Reacciones de interés 53
2.2.1 Hidrólisis 53
2.2.2 Saponificación 54
2.2.3 Enranciamiento 54
2.2.4 Hidrogenación 55
2.3 Metabolismo 55
2.3.1 Digestión y absorción 55

Módulo 3. Proteínas 65

3.1 Aminoácidos 66
3.1.1 Concepto y esctructura 66
3.1.2 Clasificación de los aminoácidos 72
3.1.3 Enlace peptídico 74
3.2 Generalidades de las proteínas 75
3.2.1 Concepto 75
3.2.2 Estructuras y desnaturalización 76
3.2.3 Funciones 79
3.3 Metabolismo y nutrición 80
3.3.1 Digestión y absorción 83

Módulo 4. Ácidos nucleicos 89

4.1 Generalidades 90
4.1.1 Antecedentes históricos 90
4.1.2 Nucleótidos 92
4.2 ADN 98
4.2.1 Estructura 98
4.2.2 Función biológica 98
4.3 ARN 100
4.3.1 Estructura 101
4.3.2 Tipos y función biológica 105

Anexos 119

Módulo 1 120
Módulo 2 122
Módulo 3 125
Módulo 4 128

Bibliografía 134

INTRODUCCIÓN

El plan curricular 2015 del nivel medio superior de la Universidad Autónoma del Estado de México se basa en tres fases de formación: introductoria, transición y propedéutica. La fase de formación propedéutica corresponde al último año de preparatoria, durante la que el alumno tiene la oportunidad de elegir cuatro materias optativas vinculadas con el nivel superior. La asignatura de Bioquímica corresponde al grupo de materias en las que el estudiante podrá realizar un análisis reflexivo de contenidos relacionados con el acontecer contemporáneo que le permitan integrar y aplicar los conocimientos adquiridos.

Bioquímica es un curso optativo que corresponde al núcleo de las Ciencias Naturales y Experimentales, al cual anteceden dos cursos obligatorios de Química I y II. El contenido está orientado y vinculado con las licenciaturas del campo de la medicina, la biología y la química, lo que proporciona las bases del conocimiento bioquímico que integrarán el perfil de egreso de quien elija estudiar cualquiera de las áreas mencionadas.

Este curso tiene como propósito general analizar la estructura, nomenclatura y función de los carbohidratos, lípidos y proteínas en los seres vivos e identificar las funciones de los ácidos nucleicos para entender su importancia en la transmisión genética.

Por tal motivo, en este libro de texto se han tratado de reunir, de forma ordenada, clara y precisa, los conocimientos fundamentales relacionados con dichas macromoléculas, con el fin de despertar el interés por el estudio de esta ciencia.

Con el deseo de que el material didáctico que presentamos sea de gran utilidad para los estudiantes del Nivel Medio Superior que han elegido estudiar una carrera relacionada con el área de la química, o bien, los interesados en la bioquímica, ponemos a su disposición el presente texto para guiarlos en su aprendizaje, con lo cual proporcionamos una herramienta de apoyo para avanzar en los contenidos programáticos de esta asignatura.



CARBOHIDRATOS

MÓDULO 1

1.1 Generalidades
- 1.1.1 Origen (fotosíntesis)
- 1.1.2 Clasificación y propiedades

1.2 Nomenclatura
- 1.2.1 IUPAC para monosacáridos
- 1.2.2 Común

1. 3 Propiedades químicas
- 1.3.1 Reacciones de fermentación (glucólisis)
- 1.3.2 Reacciones de oxidación

1.4 Metabolismo y ciclo de Krebs



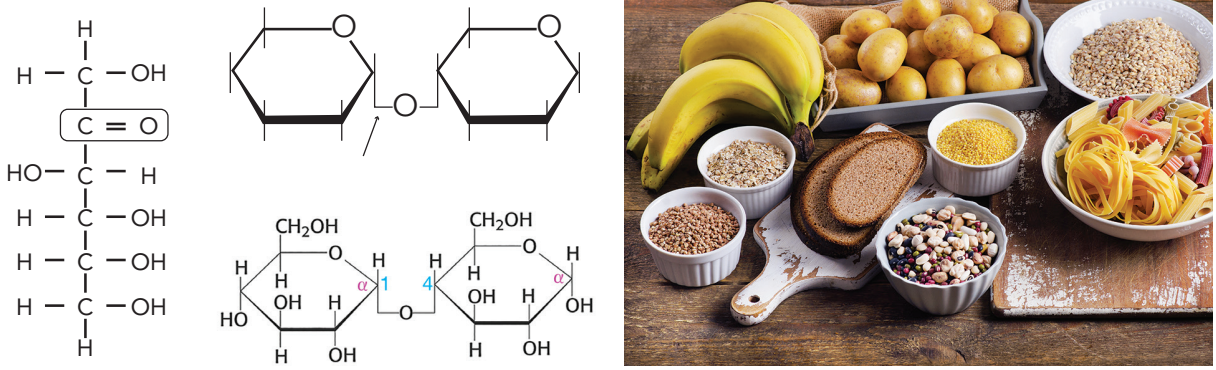
Propósito del módulo:

Comprender la estructura, nomenclatura y funciones de los carbohidratos en los seres vivos.

1.1 Generalidades

Los carbohidratos, llamados también hidratos de carbono, glúcidos o azúcares, son compuestos esenciales de todos los seres vivos y constituyen la clase más abundante de moléculas biológicas. Además de ser una de las fuentes más importantes de energía, participan en la compleja construcción estructural de las células y forman parte de numerosas rutas metabólicas. Asimismo, proporcionan el carbono que se necesita para la biosíntesis de proteínas, lípidos y ácidos nucleicos. Nutricionalmente son considerados como macronutrientes por la cantidad del material aportado a la dieta, representan la principal fuente de glucosa y fibra dietética, y, por lo general, también están acompañados de algunas vitaminas y minerales.

Figura 1. Los carbohidratos



Los carbohidratos son biomoléculas formadas por átomos de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O); éstos dos últimos existen en la misma proporción que en el agua, es decir, dos átomos de hidrógeno por cada átomo de oxígeno. Su fórmula empírica o mínima es $(C\ H_2O)_n$, de donde proviene el nombre de "hidratos de carbono".

1.1.1 Origen (fotosíntesis)

Los carbohidratos se forman durante la fotosíntesis, proceso por el cual los organismos con clorofila, como las plantas verdes, las algas y algunas bacterias, capturan energía luminosa y la transforman en energía química, es decir, convierten sustancias inorgánicas, como el CO_2 y H_2O, en sustancias orgánicas (hidratos de carbono), desprendiendo oxígeno.

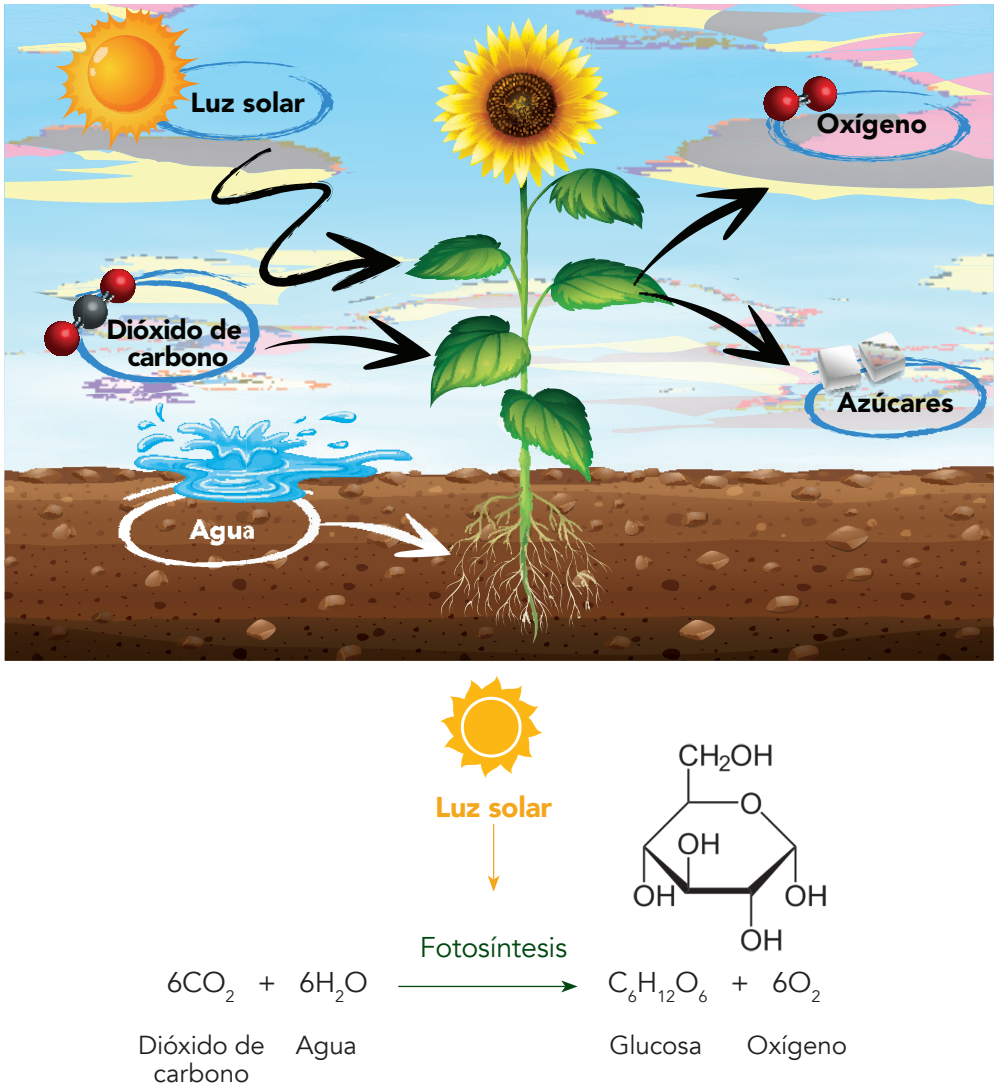


Figura 2. La fotosíntesis

Durante la fotosíntesis, el agua que se absorbe a través de las raíces de la planta y el dióxido de carbono que captan sus hojas se transforman en glucosa (más oxígeno) para, posteriormente, llevar a cabo reacciones de polimerización, convirtiéndose en moléculas más complejas como el almidón y la celulosa.

A lo largo de este proceso metabólico, la planta capta la luz solar por medio de la clorofila que es un pigmento de color verde presente en los cloroplastos de las células de las hojas, obteniendo así la energía necesaria para crear productos orgánicos precisos para la realización de sus actividades vitales.

La fotosíntesis consta de dos etapas bien diferenciadas: fase luminosa y fase oscura, que necesitan los seres vivos para vivir.

a) Fase luminosa:

Se lleva a cabo en las membranas internas de los cloroplastos llamada tilacoides, en esta etapa ocurren reacciones químicas que involucran a la clorofila y la energía



solar. Primeramente la clorofila capta la luz solar y provoca el rompimiento de la molécula de agua (fotólisis del agua), separando al hidrógeno (H^+) del oxígeno (O_2), el proceso genera oxígeno gaseoso que se libera al medio ambiente, y la energía solar no utilizada se almacena en moléculas de alto contenido energético llamadas Adenosintrifosfato (ATP) y Nicotinamida-Adenina-Dinucleótido-Fosfato (NADPH), para ser utilizadas en la siguiente fase. Los H^+ liberados en la fotólisis del agua se utilizan para reducir de NADP+ a NADPH:

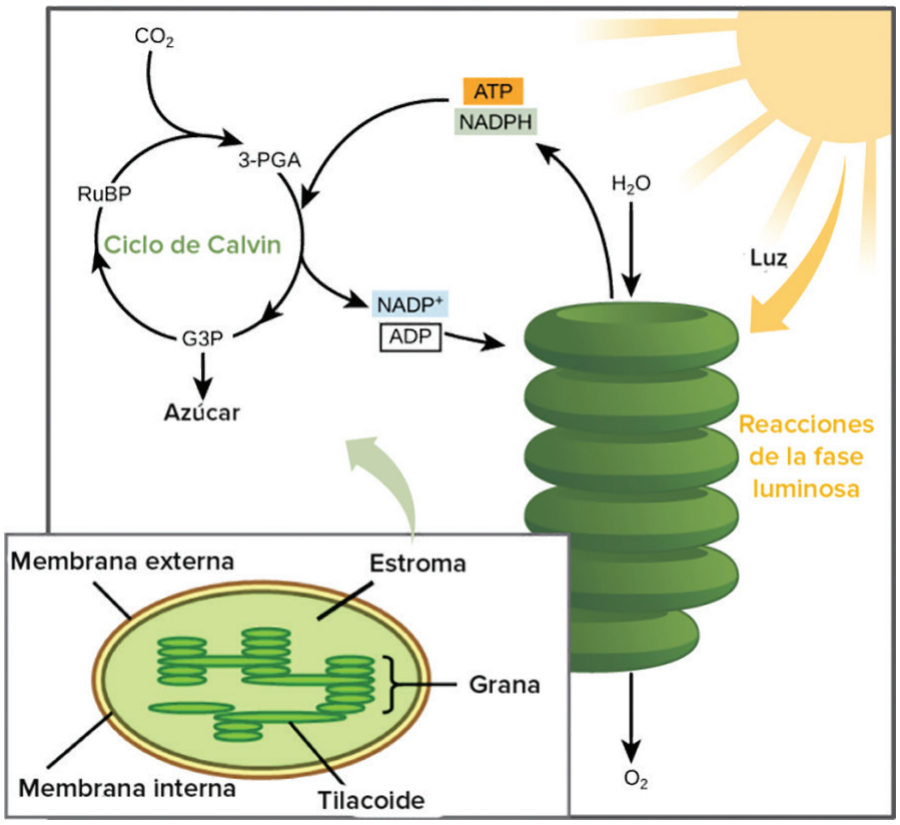


Figura 3. Fase luminosa de la fotosíntesis. **Fuente:** https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-calvin-cycle-reactions/a/calvin-cycle

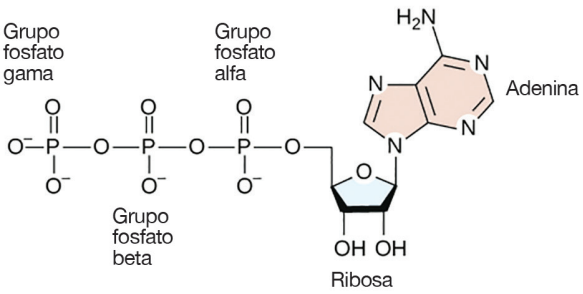


Figura 4. Estructura de Trifosfato de adenosina (ATP). **Fuente:** https://es.garynevillegasm.com/obrazovanie/74195-stroenie-atf-i-biologicheskaya-rol-funkcii-atf.html

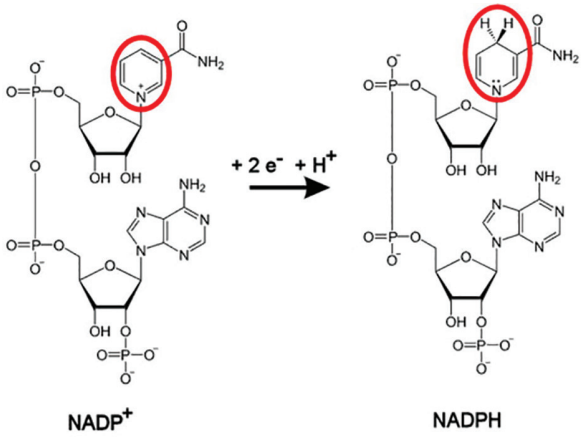


Figura 5. Estructura de Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato. **Fuente:** https://www.asturnatura.com/articulos/nucleotidos-acido-nucleico-adn/coenzimas-derivados-de-nucleotidos.php

b) Fase oscura:

Se produce en el estroma de los cloroplastos, a través de una ruta metabólica cíclica llamada Ciclo de Calvin, en esta fase las moléculas de ATP y NADPH producidas en la fase luminosa se usan para reducir moléculas de CO_2 a compuestos orgánicos (glucosa). La glucosa formada es utilizada para la producción de energía en la respiración celular, y como materia de partida para la síntesis de otros compuestos orgánicos (diferentes carbohidratos, aminoácidos, lípidos, etc.), a través de otras rutas metabólicas.

Es importante mencionar que la síntesis de materia orgánica a través de la fotosíntesis irá pasando a otros seres vivos mediante cadenas tróficas.

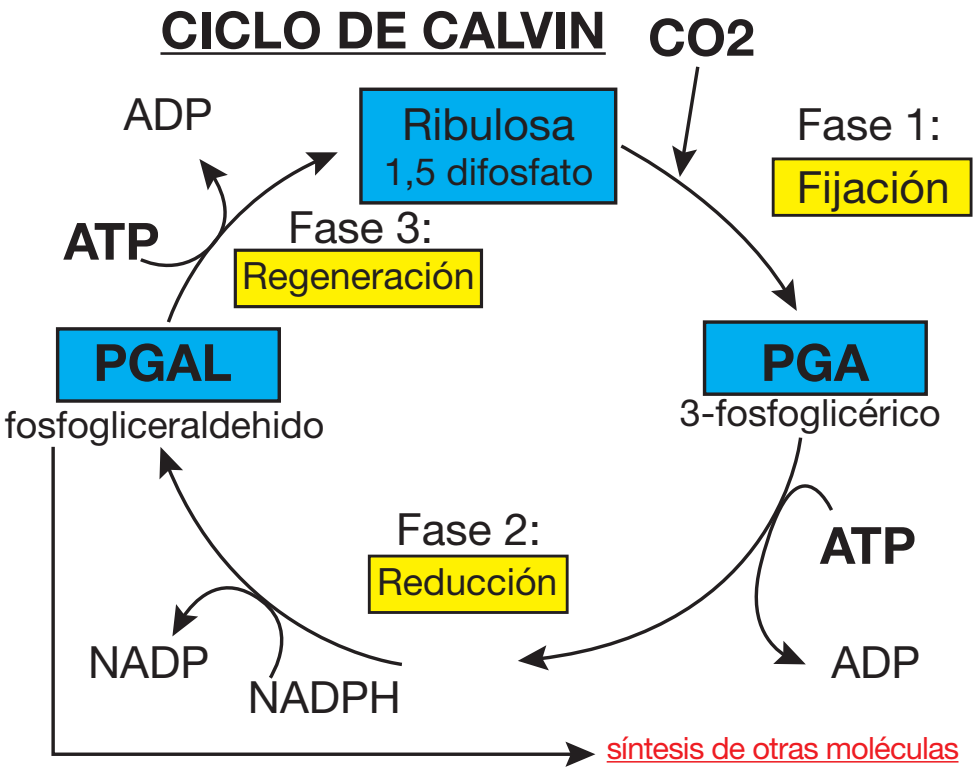


Figura 6. Fase oscura de la fotosíntesis.
Fuente: https://quimica.laguia2000.com/conceptos-basicos/ciclo-de-calvin

La molécula de **trifosfato de adenosina,** o también conocida como **ATP es una molécula que se forma durante el proceso de la fotosíntesis.** La energía liberada por la hidrólisis (degradación) del ATP se utiliza para impulsar muchas reacciones celulares que requieren energía.



M 1

Basado en Competencias

1.1.2 Clasificación y propiedades

Los carbohidratos se clasifican según el número de unidades monoméricas de sacáridos, agrupándolos en tres categorías: monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos.

Tabla 1. Clasificación de los carbohidratos.

Categoría	Ejemplos	Características y/o funciones
Monosacáridos	Glucosa	Es una aldohexosa utilizada como fuente de energía inmediata por todas las células.
	Fructosa	Es una cetohexosa; forma parte, junto con la glucosa, del disacárido sacarosa. En el hígado se transforma en glucosa, por lo que posee para nuestro organismo el mismo valor energético que ésta.
	Galactosa	Presente en la leche. Es sintetizado por las glándulas mamarias para producir lactosa, por lo tanto, el mayor aporte de galactosa en la nutrición proviene de la ingesta de lactosa en la leche.
	Ribosa	Es una aldopentosa que forma parte de la estructura de los ácidos nucleicos (ARN o ácido ribonucleico).
	Arabinosa	No se conocen funciones fisiológicas en el hombre; producto derivado de la goma arábiga y de las gomas de ciruelas y cerezas.
Oligosacáridos (Disacáridos)	Sacarosa	Azúcar de mesa.
	Lactosa	Azúcar de la leche.
	Maltosa	Azúcar de los cereales.
Polisacáridos	Almidón	Reserva de energía en vegetales.
	Glucógeno	Reserva de energía en animales.
	Celulosa	Función estructural en los vegetales.
	Hemicelulosa	Constituye la pared celular de las plantas.
	Pectina	En forma de gel realiza funciones depurativas, elimina toxinas y sustancias nocivas del organismo.
	Mucilagos	Sustancias de origen vegetal con aspecto viscoso, se encuentran en los nopales, algunos hongos o semilla de ciertas plantas (mostaza, chia y lino).
	Quitina	Este polisacárido tiene una función estructural, es el principal componente de la pared celular de los hongos y algunas bacterias, también forma parte del exoesqueleto de los artrópodos (crustáceos, arácnidos, insectos), confiere una dureza especial a los caparazones de insectos.

Las tres categorías de los carbohidratos presentan propiedades físicas y químicas que los diferencian unos de otros y que es importante conocer.

Monosacáridos

Los monosacáridos son azúcares simples, no hidrolizables; cada uno contiene de tres a siete átomos de carbono, unidos entre sí mediante enlaces covalentes sencillos. En esta estructura, cada carbono (excepto uno) está unido a un grupo funcional hidroxilo (OH^-), mientras que el átomo de carbono restante es parte de un grupo carbonilo, es decir, un carbono unido a un oxígeno mediante un doble enlace (C=O).

Así, los monosacáridos se clasifican con base en dos criterios:

a) Grupo funcional presente en la molécula

Cuando un monosacárido de forma lineal contiene un grupo carbonilo (C=O), en el carbono final forma un aldehído **(-CHO)**, el cual se clasifica como una **aldosa** (Fig. 7). Cuando el grupo carbonilo está en un átomo interior, forma una cetona, y el monosacárido se clasifica como una **cetosa** (Fig. 8).

Figura 7. Aldosa.

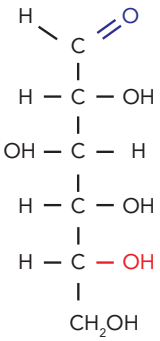
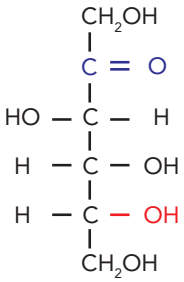


Figura 8. Cetosa.



Por lo tanto, de acuerdo con la posición del grupo carbonilo (-CO-), los monosacáridos se clasifican en dos grandes grupos: **aldosas y cetosas.**

b) Número de átomos de carbono en la molécula

Adicionalmente, los monosacáridos se pueden clasificar según el número de átomos de carbonos que presentan. Los más pequeños son las triosas, que abarcan a los monosacáridos más simples y contienen 3 átomos de carbono. Los monosacáridos de cuatro, cinco y seis átomos de carbono se llaman tetrosas, pentosas y hexosas, respectivamente, y cada uno de éstos, a la vez, puede ser una aldosa o una cetosa. Los monosacáridos más abundantes en las células son las pentosas y las hexosas. Hoy se conocen monosacáridos con estructuras de 7 carbonos llamadas heptosas, que se encuentran en algunas bacterias.

En la siguiente imagen (Fig. 9) se muestran las aldosas y cetosas con diferente número de carbonos, que son isómeros funcionales entre sí.



M 1

Basado en Competencias

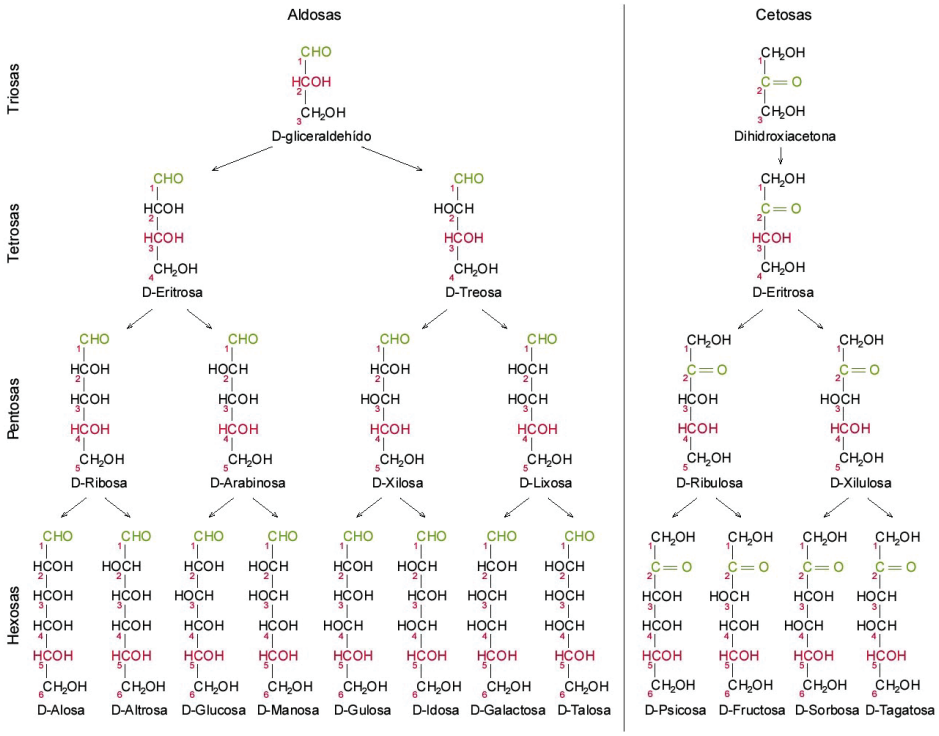
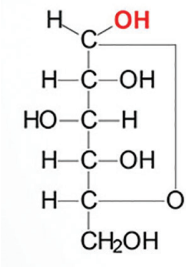


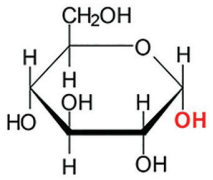
Figura 9. Aldosas y cetosas con diferente número de carbonos.

Las estructuras anteriores se denominan proyecciones de Fischer (en honor al químico alemán Emil Fischer, Premio Nobel de Química por sus estudios sobre la estructura de la glucosa y distintos tipos de proyecciones en los monosacáridos). Las letras D y L en los nombres de las estructuras de Fischer, se asignan de acuerdo a la posición del grupo funcional (en el caso de los azúcares se considera el grupo funcional OH que se encuentra en el penúltimo carbono, es decir, el carbono asimétrico más alejado del grupo aldehído o cetona. Así, se denomina **isómero D** al que presenta el grupo a la derecha del espectador e **isómero L** al que lo tiene hacia la izquierda.

Los grupos **aldehído o cetona** de los carbohidratos de 5 y 6 carbonos reaccionarán espontáneamente con grupos de alcohol presentes en los carbonos que los rodean, para producir hemiacetales o hemicetales intramoleculares, respectivamente. El resultado es la formación de anillos de 5 o 6 miembros. El químico inglés W. N. Haworth ideó una imagen más exacta de la estructura de los carbohidratos (Fig. 10). Las estructuras de Haworth representan los ángulos y las longitudes de los enlaces de forma más apropiada que las representaciones de Fischer.



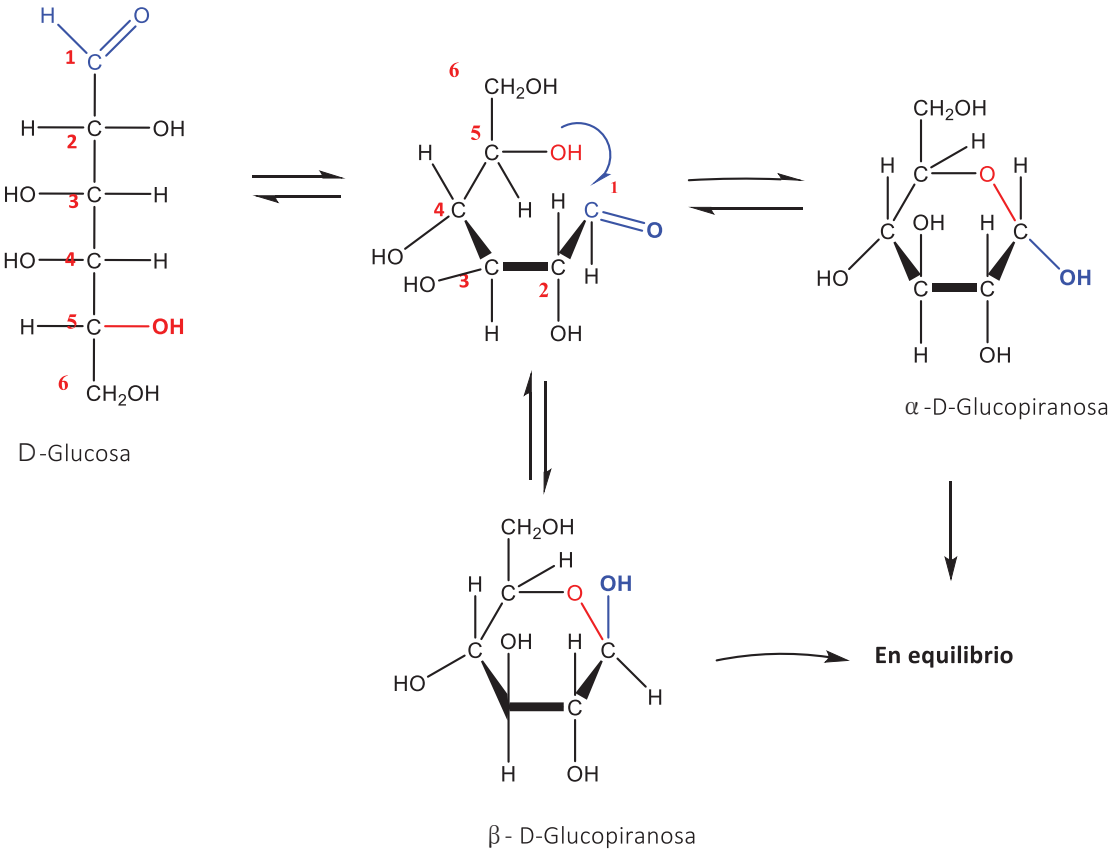
α – D – glucosa
Proyección de Fischer



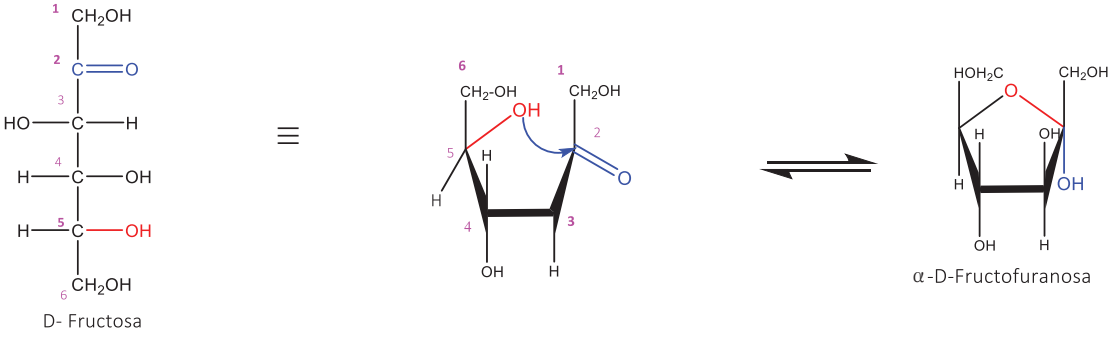
α – D – glucosa
Proyección de Haworth

Figura 10. Representación de las estructuras de Fischer y Haworth para la fructosa (cetohexosa) y la glucosa (aldohexosa).

Formas cíclicas de la glucosa



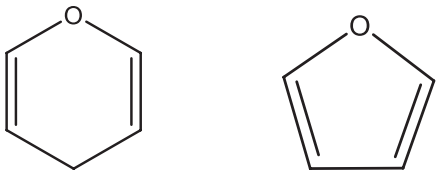
Formas cíclicas de la fructosa



Debido a las estructuras de anillo de cinco miembros y su semejanza con el compuesto heterocíclico **furano**, los derivados de esta estructura se llaman **furanosas.** Aquellos con anillos de seis miembros se parecen a la molécula orgánica **pirano** y se llaman **piranosas.**

El furano y el pirano son compuestos heterocíclicos formados por cinco y seis átomos de carbono respectivamente, ambos presentan dos dobles enlaces y un átomo de oxígeno en su estructura:





PIRANO FURANO

Las estructuras de piranosas y furanosas se pueden representar mediante los diagramas **Fischer o Haworth**. La numeración de los carbonos en dichas estructuras procede desde el grupo carbonilo, para las aldosas (Fig. 7), o a partir del carbono más cercano al carbonilo, para las cetosas (Fig. 8).

Propiedades de los monosácaridos

Propiedades físicas

Los monosacáridos son sólidos cristalinos incoloros o blancos; tienen sabor dulce y son solubles en agua. Su solubilidad se debe a que, tanto los radicales hidroxilo como el grupo carbonilo, son polares y establecen, por ello, puentes de hidrógeno con las moléculas de agua también polares (polar disuelve a polar).



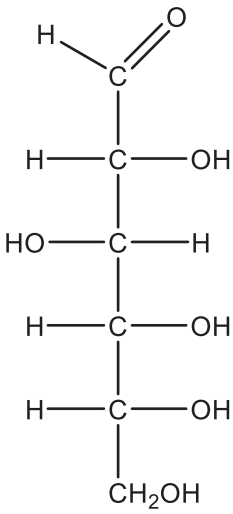


Figura 11. Propiedades de los monosacáridos.

Las estructuras de los sacáridos se distinguen principalmente por la orientación de los grupos hidroxilos **(-OH).** Esta pequeña diferencia estructural tiene un gran efecto en las propiedades bioquímicas, en las características organolépticas (por ejemplo, el sabor) y en las propiedades físicas, como el punto de fusión y la rotación específica de la luz polarizada.

Los monosacáridos presentan isomería espacial (estereoisómeros). Los compuestos que presentan este tipo de isomería tienen la misma fórmula molecular, pero diferente fórmula espacial o tridimensional y, por lo tanto, distintas propiedades. Este tipo de isomería tiene relación con el número de carbonos asimétricos presentes en la molécula.

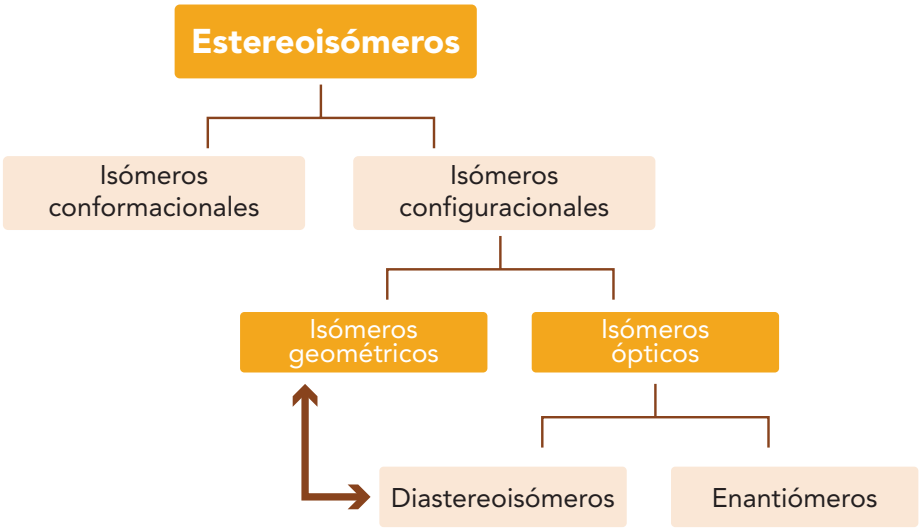


Figura 12. Estereoisómeros.

Asimismo, los monosacáridos tienen actividad óptica, es decir, desvían el plano de polarización de la luz que atraviesa la disolución, y dan rotaciones opuestas (+ o -), hacia la derecha: dextrógiros (+), o hacia la izquierda: levógiros (-). Por tener esta propiedad se dice que son enantiomorfos.

Los monosacáridos presentan isómeros de configuración (estereoisómeros) que pueden ser:

a) Enantiómeros.
b) Diasteroisómeros.
c) Anómeros.

Se distinguen como **enantiómeros** por ser imágenes especulares, es decir, no son simétricas la una de la otra con respecto a un plano (Fig. 13). No son iguales, por lo que no son superponibles, aunque se giren, tienen las mismas propiedades.

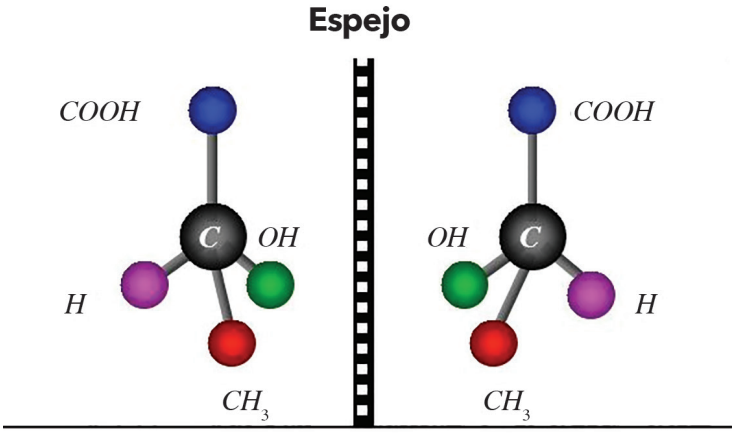


Figura 13. Enantiómeros: son especulares cuya relación es de imagen especular.

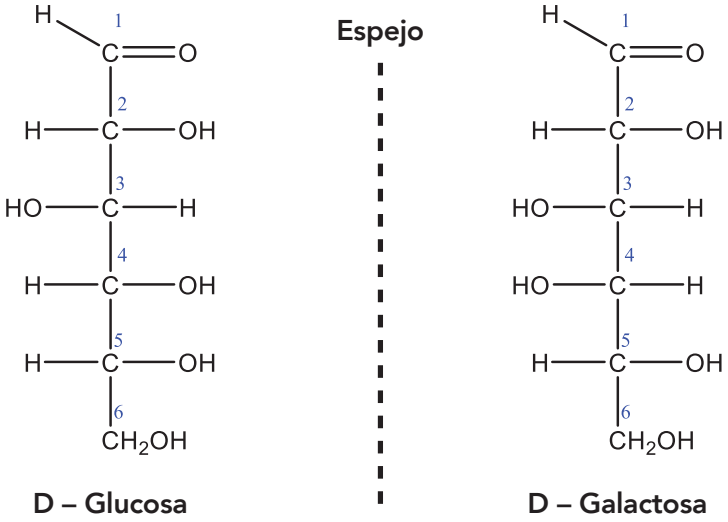
Los **diasteroisómeros** son estereoisómeros, que no son superponibles y no son imagen especular uno del otro (Fig. 14).



M 1

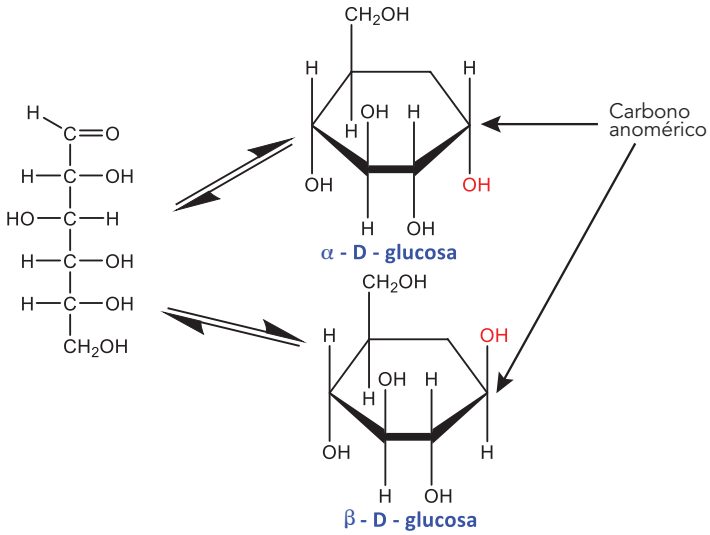
Basado en Competencias

Figura 14. Diasteroisómeros: glucosa y galactosa.



Los **anómeros** son estereoisómeros que difieren en la configuración del carbono anomérico (Fig. 15).

Figura 15. La forma α tiene el OH hemiacetálico del carbono anomérico hacia abajo y la forma β hacia arriba.



En los isómeros conformacionales o confórmeros, la conversión de una forma en otra es posible, pues la rotación en torno al eje de los átomos de carbono, es más o menos libre. Por eso también reciben el nombre de rotámeros. Otro tipo de isómeros conformacionales se presenta en compuestos con ciclos hexagonales, como el ciclohexano, donde son factibles la conformación en forma de silla o de bote:

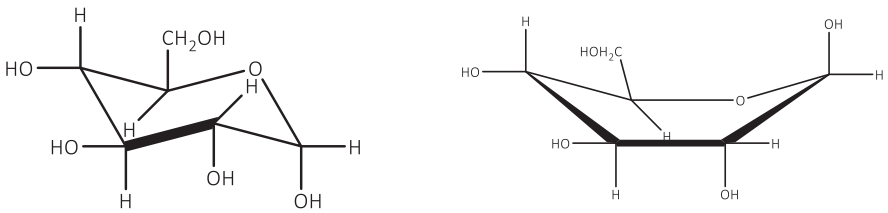


Figura 16. Forma de silla o de bote de los monosacáridos.

Propiedades químicas

Los monosacáridos tienen un poder reductor frente a determinadas sustancias (por ejemplo, el reactivo de Fehling). En los monosacáridos, la presencia del grupo carbonilo puede oxidarse a ácido carboxílico con facilidad por medio de disoluciones alcalinas de plata o cobre, por lo que reducen a otros compuestos. Esta propiedad es utilizada para detectar su presencia en muestras biológicas, por ejemplo para detectar cantidades de glucosa en orina.

Otra de sus propiedades es la formación de glicósidos, sustancias no reductoras y que, por hidrólisis ácida o enzimática, dan uno o más azúcares junto con un componente no azucarado llamado aglicona o genina. Asimismo, desempeñan funciones muy importantes en los seres vivos ayudando a la formación de los nucleótidos como unidades estructurales de los ácidos nucleicos. Algunos glicósidos que se producen en las plantas se emplean como medicamentos (Fig. 17).

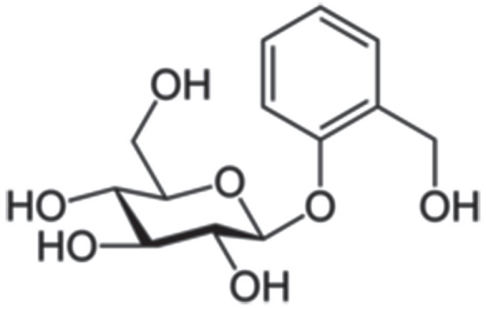


Figura 17: Fórmula de la salicina, un glicósido relacionado con la aspirina.

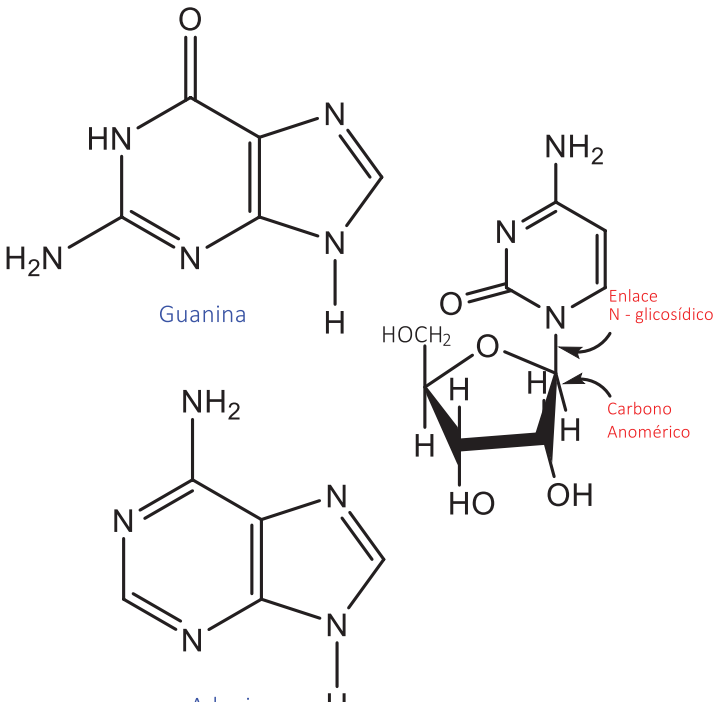


Figura 18. N-Glicosídico.



M 1

Basado en Competencias

Disacáridos

Los disacáridos son solubles en agua, cristalinos y, al igual que los monosacáridos, tienen un sabor dulce. Están formados por dos monosacáridos (generalmente hexosas), unidos mediante un enlace O-glucosídico. Mediante el enlace **O-glucosídico** se unen entre sí dos o más monosacáridos que forman disacáridos o polisacáridos, respectivamente. Su denominación correcta es Enlace O-glucosídico (Fig. 19), pues se establece en forma de **éter,** al ser un átomo de oxígeno, lo que une cada pareja de monosacáridos.

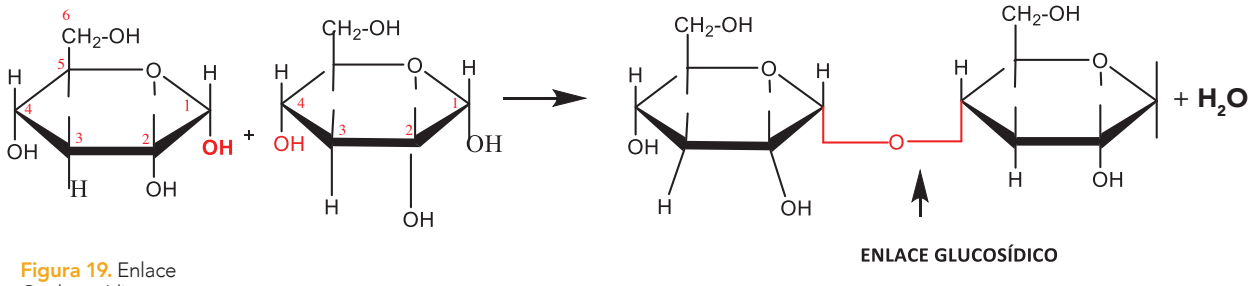
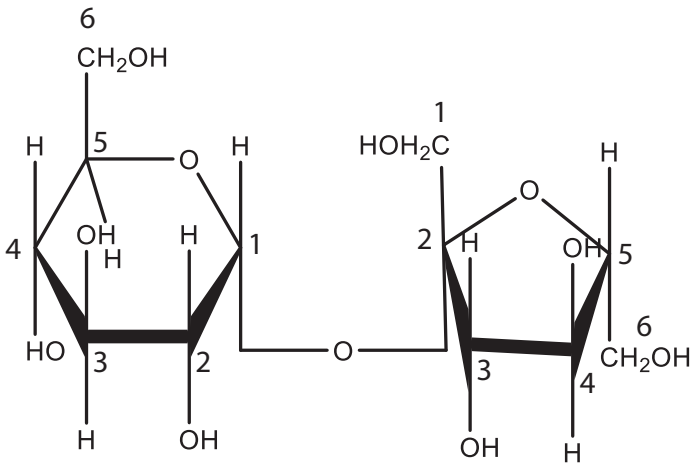


Figura 19. Enlace O-glucosídico entre dos monosácaridos de glucosa.

Cuando un monosacárido está unido a través de su átomo de carbono anomérico al grupo hidroxilo del carbono 4 de otro monosacárido, el enlace glucosídico se denomina 1,4, debido a que el grupo hidroxilo anomérico potencialmente puede estar en la configuración α o β.

El disacárido de mayor importancia es la sacarosa (azúcar de mesa), el cual está formado por una unidad de α-glucosa y una de β-fructosa, unidas mediante un enlace 1,2 glucosídico:



Enlace 1,2 glucosídico

α-Glucosa β-Fructosa

Figura 20. Sacarosa.

La lactosa (azúcar de la leche) es un disacárido formado por la unión de una molécula de β-galactosa y otra de α-glucosa, unidas mediante un enlace 1,4.

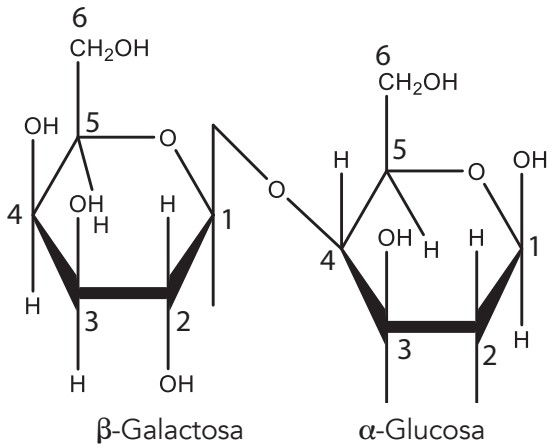


Figura 21. Lactosa.

La maltosa (azúcar de los cereales) es un disacárido formado por dos unidades de α-glucosa, unidas mediante un enlace (1,4) que se obtiene por hidrólisis del almidón y del glucógeno:

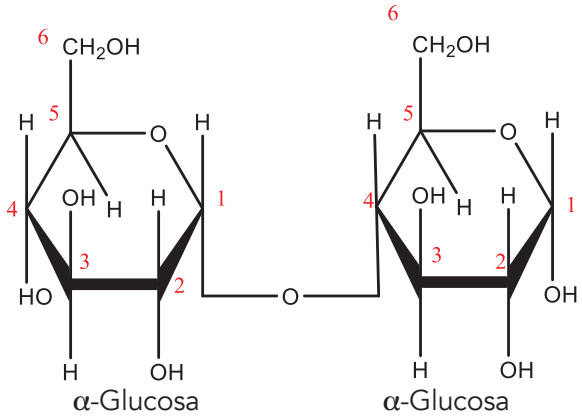


Figura 22. Maltosa.

Polisacáridos

Los polisacáridos son largas moléculas no reductoras de hidratos de carbono, formadas por la asociación de numerosas unidades de monosacáridos unidas entre sí por enlaces glucosídicos, con alto peso molecular. Estas moléculas pueden ser hidrolizadas totalmente por medio de un ácido o enzimas, hasta obtener monosacáridos.

Propiedades de los polisácaridos

Los polisacáridos cumplen dos funciones biológicas en los seres vivos:

a) Función estructural. Los polisacáridos que presentan esta función participan en la formación de estructuras orgánicas y se encuentran en los tejidos de sostén de los vegetales, pues constituyen la estructura celular y les confieren rigidez a los tejidos. Algunos de ellos son: celulosa, pectinas, gomas, quitina, etc. La función estructural origina las siguientes características:

- Son insolubles en agua.
- No forman soluciones verdaderas, sino dispersiones de tamaño coloidal.
- A diferencia de los monosacáridos, en estado puro no tienen color, aroma o sabor.
- Debido a que forman puentes de hidrógeno al interior de la molécula, sus fibras pueden ser muy duras o rígidas, por lo que tienen gran resistencia a la acción de algunas enzimas, microorganismos o agentes químicos.

b) Función de reserva energética. Los polisacáridos de reserva energética, como el glucógeno (presente en animales), así como la inulina y el almidón (en los vegetales), tienen las siguientes características:

- Presentan muy pocos puentes de hidrógeno, por lo que no exhiben rigidez.
- Son solubles en agua.
- Son sensibles a la acción de las enzimas, microorganismos o agentes químicos.
- Por lo general los polisacáridos son insolubles en agua, sin embargo, algunos forman soluciones coloidales, por ejemplo el almidón; el quitosano (derivado de la quitina) es soluble en soluciones del alcohol y agua e insoluble en ácidos, el agar-agar (heteropolisacarido) es insoluble en agua fría y soluble en agua caliente.

Celulosa. Un homopolisacárido con función estructural, es el principal componente de la pared celular de los vegetales y puede considerarse como la molécula orgánica más abundante en la naturaleza. Es un polímero lineal no ramificado de varios miles de glucosas unidas por enlaces (β1→4). Tiene una estructura lineal o fibrosa, en la cual se establecen múltiples puentes de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de distintas cadenas yuxtapuestas, lo que las hace impenetrables al agua y origina fibras compactas que constituyen la pared celular de las células vegetales.

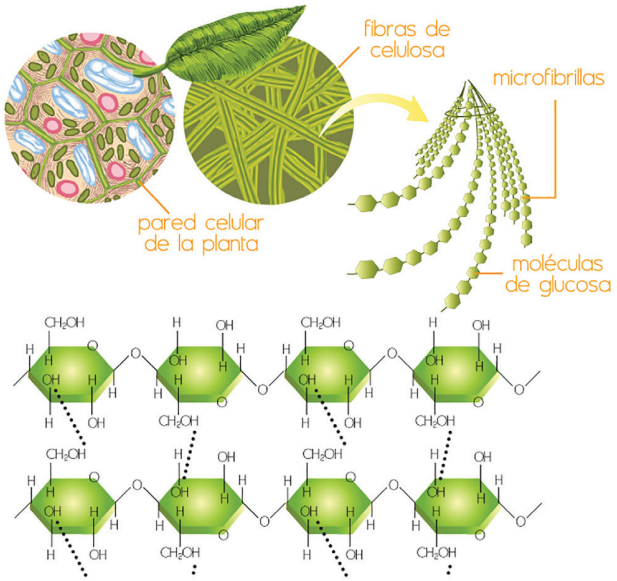


Figura 23. La celulosa.
Fuente: Devlin, T. M. (2006), *Bioquímica, Libro de texto con aplicaciones químicas.* Barcelona: Reverté.

La celulosa se hidroliza por la acción de la celulasa, enzima que rompe los enlaces β del polisacárido, lo que produce finalmente moléculas de glucosa. Sólo algunos microorganismos, como los protozoos y bacterias del aparato digestivo de animales herbívoros y de insectos xilófagos, poseen esta enzima.

Almidón. Un homopolisacárido, con función de reserva energética de plantas y algas, se acumula en el citoplasma celular, lo cual crea gránulos llamados aminoplastos, cuya forma y tamaño son diferentes en cada vegetal; es muy abundante en semillas y tubérculos.

La estructura del almidón es una mezcla de otros dos polisacáridos: la amilosa y la amilopectina, ambos polisacáridos están formados por unidades de glucosa, en el caso de la amilosa las glucosas están unidas por enlaces α-(1-4) lo que da lugar a una cadena lineal. En el caso de la amilopectina, aparecen ramificaciones debidas a enlaces a α (1-6); la proporción de ambos polisacáridos varía según la procedencia del almidón, pero por lo general, la amilopectina es la más abundante.

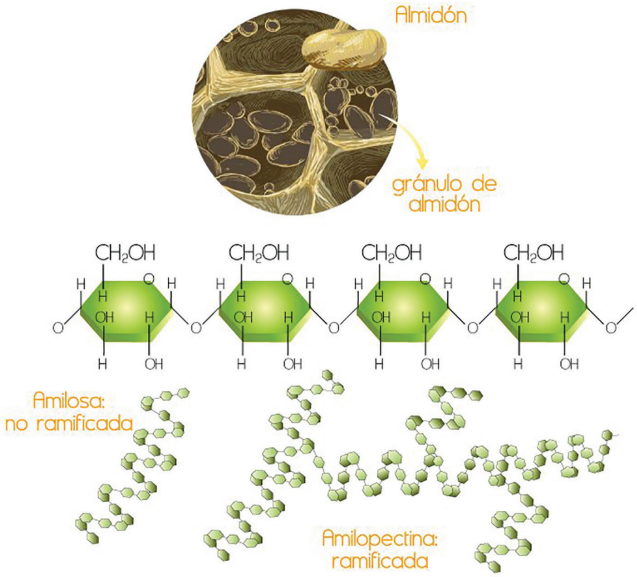


Figura 24. El almidón. **Fuente:** Devlin, T. M. (2006), *Bioquímica, Libro de texto con aplicaciones químicas.* Barcelona: Reverté.

Glucógeno. Este homopolisacárido es una importante fuente de almacenamiento de energía, tanto en el hígado como en los músculos de animales. También constituye una reserva energética en bacterias y hongos.

Se encuentra en casi todas las células, pero en los hepatocitos y en las células musculares su concentración es muy elevada. Su estructura es similar a la de la amilopectina, pero con ramificaciones más frecuentes (cada 8-12 monómeros de glucosa), y su peso molecular es mucho más elevado con respecto a la celulosa.

Quitina (homopolisacarido). Es un polisacárido estructural que constituye el exoesqueleto de los artrópodos, y uno de los componentes principales de las paredes celulares de los hongos. Esta molécula no ramificada está formada por residuos de N-acetilglucosamina.



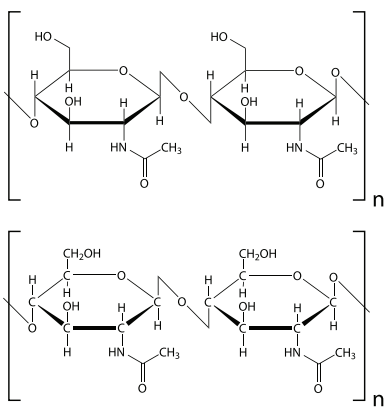






Figura 25. La quitina.

1.2 Nomenclatura

1.2.1 IUPAC para monosacáridos

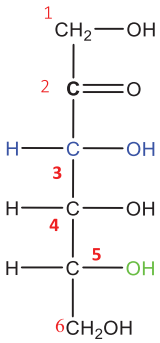
Reglas para nombrar a los monosacáridos:

Los carbohidratos (monosacáridos) son nombrados de acuerdo con una nomenclatura tradicional que los distingue de otros, es decir, por su nombre común (glucosa, fructosa, eritrulosa, etc.); sin embargo, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés) ha recomendado un diferente tipo de nomenclatura que incluye sencillas reglas.

Los monosacáridos son considerados como polihidroxi aldehídos o polihidroxi cetonas, con más de tres átomos de carbono, por tal motivo es correcto nombrarlos de acuerdo con las reglas establecidas por la IUPAC:

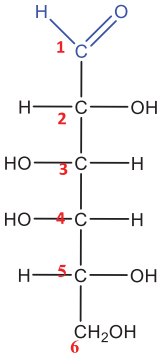
1. Seleccionar la cadena más larga de carbonos, en la cual está presente el grupo carbonilo (-CO-).
2. Numerar la cadena de carbonos, a partir del extremo donde esté más cerca el grupo carbonilo.
3. Escribir los números de los carbonos que tienen un radical hidroxilo (-OH).
4. Utilizar prefijos: di (dos), tri (tres), tetra (cuatro), penta (cinco), etc., para indicar el número de grupos hidroxilos unidos a la cadena principal.
5. Escribir finalmente el nombre del alcano que corresponda a la cadena inicialmente numerada con terminación "al"; si el grupo carbonilo está en un extremo de la cadena, o terminación "ona"; si el grupo carbonilo se ubica en medio de la cadena.

Revisa la nomenclatura en los siguientes ejemplos:



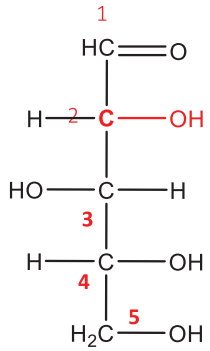
D-Sorbosa

Nombre: 1,3,4,5,6 pentahidroxi-2-hexanona



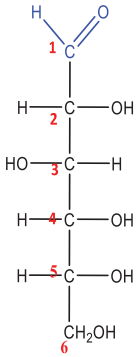
D-Galactosa

Nombre: 2,3,4,5,6-pentahidroxihexanal



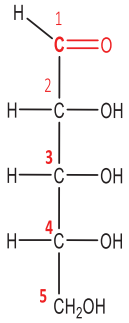
D-Xilosa

2,3,4,5 tetra-hidroxi-pentanal



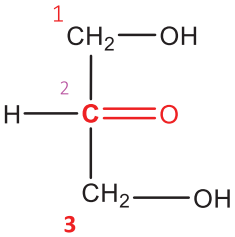
D-Glucosa

Nombre: 2,3,4,5,6 pentahidroxihexanal



Ribosa

2,3,4,5 – tetrahidroxi-pentanal



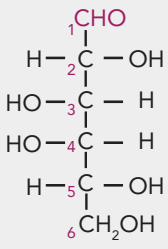
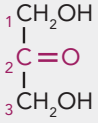
Dihidroxiacetona

1.2.2 Nomenclatura común

Como se observa en la página 16 de este libro, las fórmulas de todos los monosacáridos (aldosas y cetosas) tienen una nomenclatura tradicional que los diferencia uno de otro, ejemplo: glucosa, ribosa, etc.

Con frecuencia se nombra a los monosacáridos combinando la información sobre el número de átomos de carbono y los grupos funcionales, por ejemplo, aldopentosas o cetohexosas:

Tabla 2. Nomenclatura dependiendo del número de átomos de carbón

Grupo funcional	Núm. de carbonos	Terminación	Ejemplos
aldo + ceto	tri + tetra + penta hexa etc.	osa	 Aldohexosa (Galactosa)  Cetotriosa (Dihidroxiacetona)

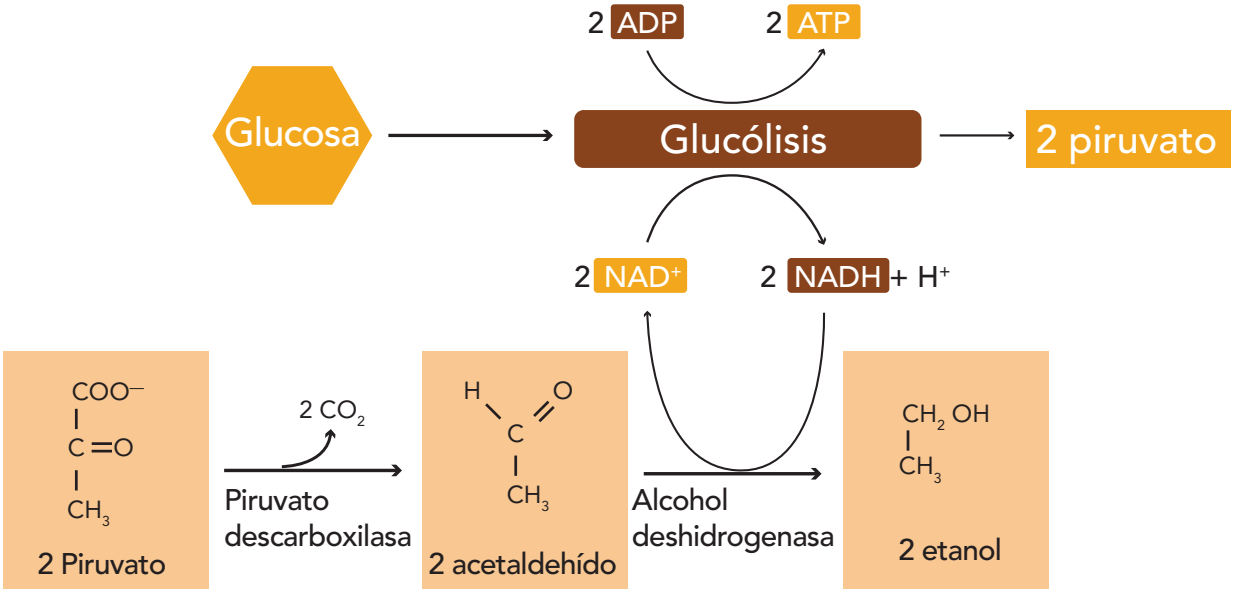


1.3 Propiedades químicas

1.3.1 Reacciones de fermentación (glucólisis)

Fermentación alcohólica:

Una de las vías metabólicas que usan los organismos facultativos y anaerobios estrictos para degradar la glucosa es la fermentación alcohólica, durante este proceso de diferentes etapas la glucosa se degrada a **piruvato,** el cual se descarboxila por la acción de la enzima piruvato descarboxilasa para formar acetaldehído y CO_2. A continuación el **acetaldehído** se reduce a **etanol** por acción de la enzima alcohol deshidrogenasa, con la oxidación del NADH regenerándose el NAD^+ (Fig. 26).



Fermentación alcohólica

Figura 26. Fermentación alcohólica.
Fuente: http://urbinavinos.blogspot.mx/2014/11/fundamentos-de-la-fermentacion.html

El balance energético de la fermentación puede expresarse de la siguiente forma:

$$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2H_3PO_4 \longrightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2 + 2ATP + 2H_2O$$

La fermentación alcohólica la realizan levaduras del género Saccharomyces y ciertas bacterias que transforman la glucosa en etanol, el etanol resultante se emplea en la elaboración de algunas bebidas alcohólicas por ejemplo: vino, cerveza o sidra.

Fermentación láctica:

La **fermentación láctica** es una ruta metabólica que se lleva a cabo en el citoplasma celular, en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno), en dicho proceso se fermenta la glucosa (se oxida parcialmente), para obtener energía metabólica y generalmente **ácido láctico.**

Similarmente que en la fermentación alcohólica, una vez que se genera piruvato como producto en la glicólisis, éste puede seguir una vía alterna en la cual se reduce por la acción de la enzima lactato deshidrogenasa formando ácido láctico, proceso que se muestra a continuación:

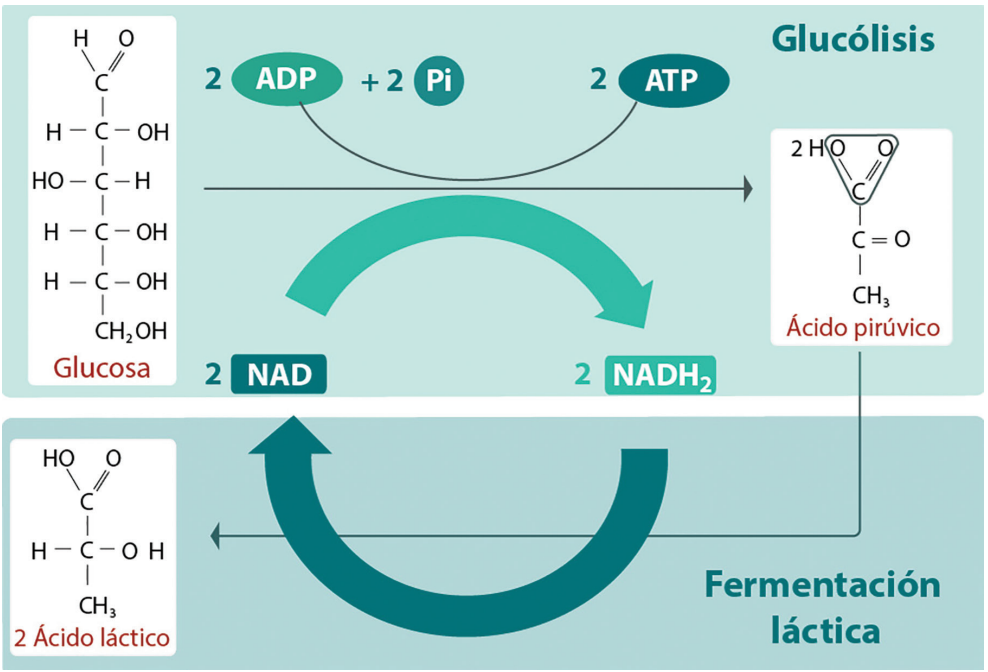
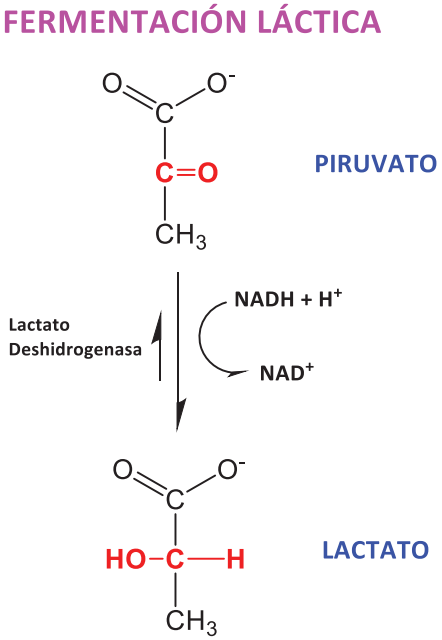


Figura 27. Fermentación láctica.
Fuente: Fuente: https://portalacademico.cch.unam.mx/alumno/biologia1/unidad2/fermentacion/lactica



La fermentación láctica se lleva a cabo en el tejido muscular de los animales, especialmente cuando se realiza una intensa actividad motora anaeróbica, así el ácido láctico se acumula en las células musculares.



En la industria alimentaria, las bacterias que llevan a cabo la fermentación de los azúcares presentes en algunos alimentos, crean ácido láctico como producto final y se les conoce como bacterias ácido lácticas, son ejemplo los Lactobacillus bulgáris, los Streptococcus termophilus, etc.

Este tipo de fermentación se usa como método de conservación, debido a que el ácido láctico detiene el proceso de descomposición de los alimentos; como ejemplos de alimentos que son sometidos a una fermentación láctica están las leches fermentadas, el yogur, cereales y algunas verduras frescas, entre otros.

1.3.2 Reacciones de oxidación

Los disacáridos y los polisacáridos deben ser hidrolizados hasta monosacáridos para poder pasar la pared intestinal, llegar al torrente sanguíneo y poder ingresar al interior de las células para su utilización (Fig. 28). Las enzimas específicas para romper estos enlaces en disacáridos son sacarasa (actúa sobre la sacarosa), maltasa (actúa sobre la maltosa) y lactasa (actúa sobre la lactosa).

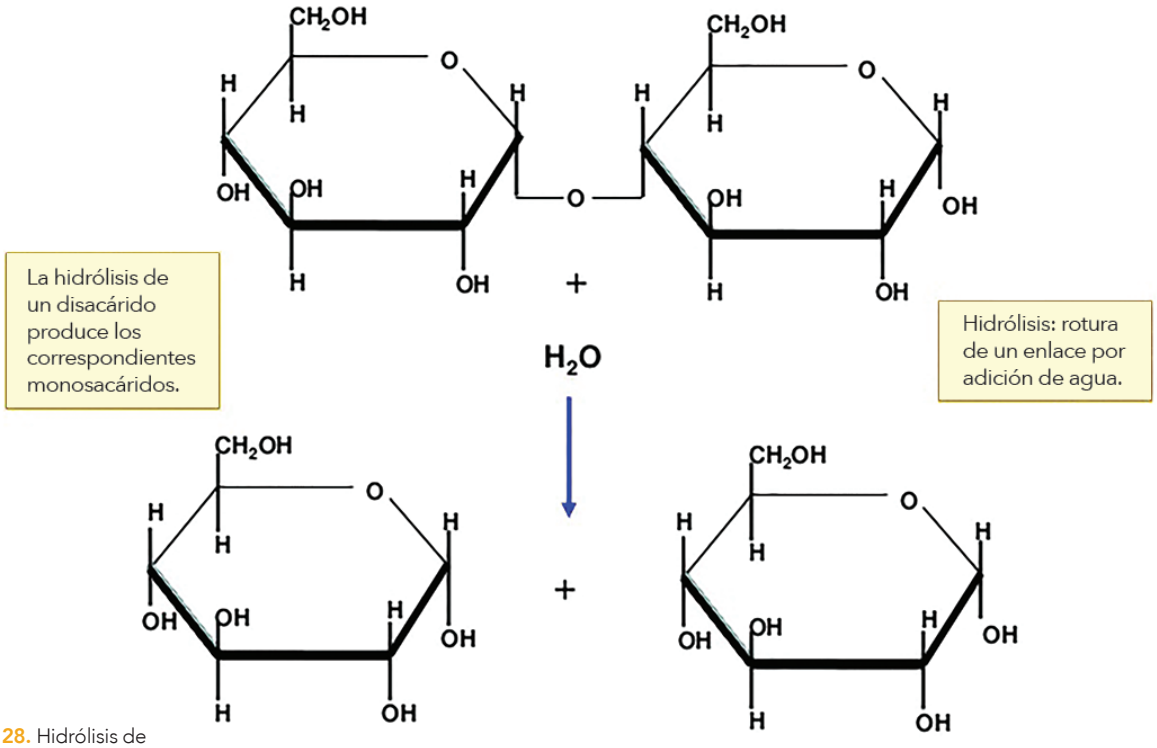


Figura 28. Hidrólisis de un disacárido.
Fuente: www.googleimages.com

Los polisacáridos como el almidón o como el glucógeno son hidrolizados por las enzimas α-amilasa (1 → 4) y α-glucosidasas (1 → 6):

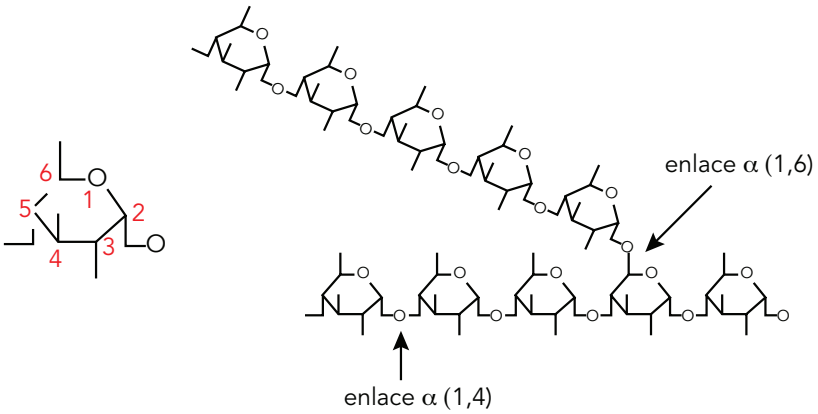


Figura 29.
Fuente: laguna.fmedic.unam.mx

La glucosa es transportada al interior de las células por medio de proteínas específicas localizadas en la membrana celular, las cuales facilitan su transporte. Se han descrito dos sistemas de **transporte de glucosa** y de otros monosacáridos: los **transportadores** de sodio y **glucosa** llamados SGLT (*sodium-glucose transporters*) y los **transportadores de glucosa** llamados GLUT (*glucose transporters*).

Las células utilizan la glucosa que es **oxidada** para liberar energía (reacción exergónica), dando como productos además dióxido de carbono y agua.

$$C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 \longrightarrow 6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{Energía}$$

Glucosa + oxígeno ⟶ Dióxido de carbono + agua + (ATP)

En esta reacción se resume la respiración celular, toda la energía generada se almacena en moléculas conocidas como Adenosin Trifosfato (ATP). Realmente el metabolismo de los carbohidratos incluye muchas reacciones que experimenta la glucosa; la reacción de producción de energía a partir de glucosa se efectúa en el proceso denominado respiración celular, el cual incluye tres rutas metabólicas; uno de estos procesos se le conoce como glucólisis o vía de Embden-Meyerhof, el cual se describe de forma general a continuación:

Glucólisis (concepto):

La glucólisis o glicolisis, es una ruta metabólica por medio de la cual se lleva a cabo la degradación (oxidación) de la glucosa con la finalidad de obtener energía para el metabolismo celular. Esta vía consta de diez reacciones consecutivas que son catalizadas por enzimas específicas que convierten finalmente a la glucosa en dos moléculas de piruvato, el cual a su vez, alimenta otras vías metabólicas.

El proceso de la glucólisis se desarrolla completamente en el citoplasma de la célula en condiciones anaerobias (no se requiere la presencia de oxígeno). Para comprender mejor este proceso se sugiere ir leyendo el texto y relacionarlo simultáneamente con el siguiente diagrama:



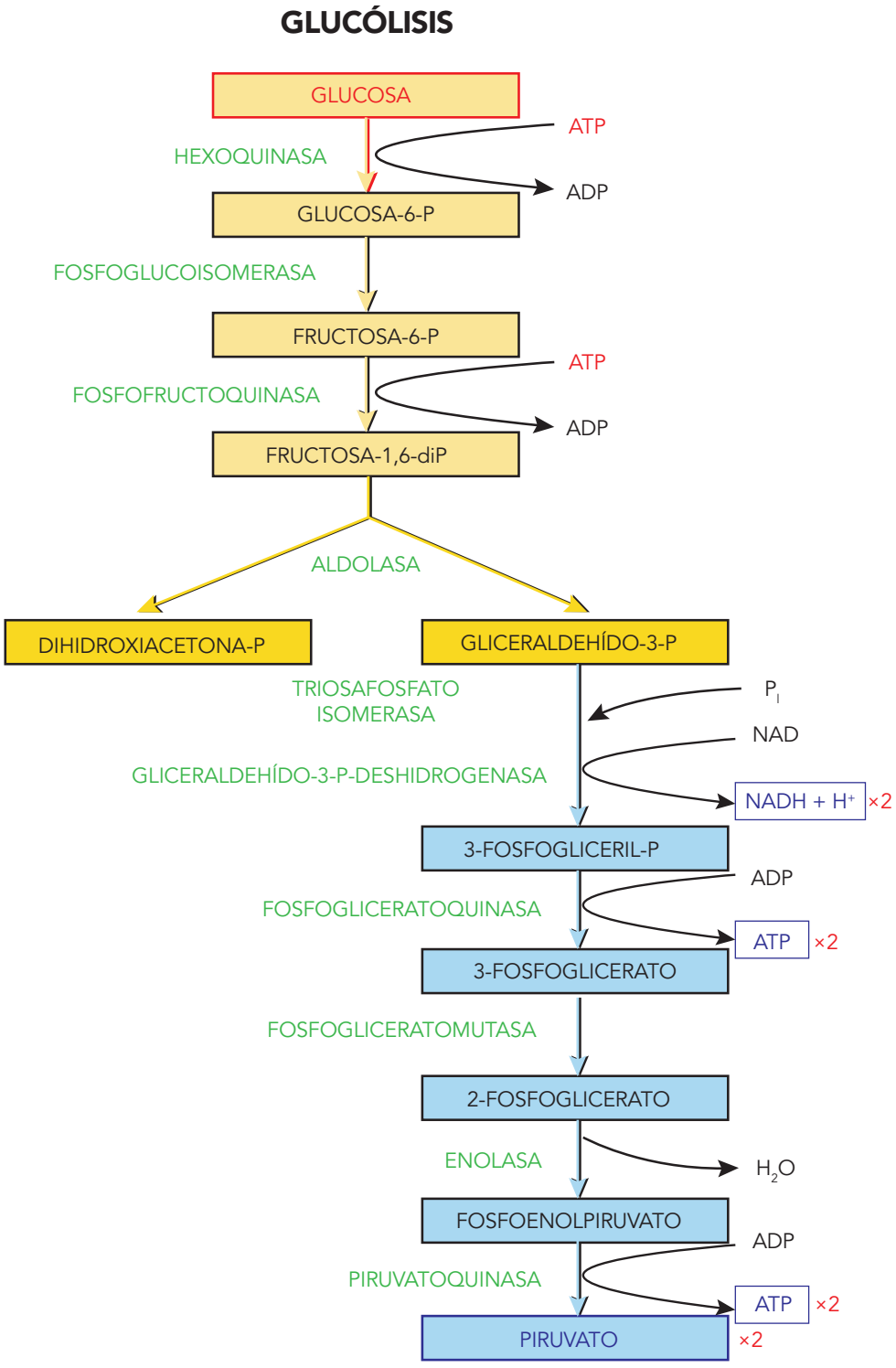


Figura 30. Glucólisis.
Fuente: https://www.slideshare.net/Miriammor/glucolisis-71264651

Dentro de esta vía pueden considerarse dos fases. En la primera parte o fase de preparación, la glucosa es fosforilada por la hexocinasa en tejidos extrahepáticos o la glucocinasa en páncreas e hígado, utilizando como fuente de fosfato al ATP. En la segunda parte o fase de lisis, la aldolasa rompe a la fructosa 1,6 bifosfato en 2 moléculas de 3 carbonos: el gliceraldehído 3-P y la dihidroxiacetona-P.

Fases de la glucólisis:

1. La glucosa se fosfolira dos veces y se fracciona para formar dos moléculas de gliceraldehído 3-fosfato (G-3-P); las dos moléculas de ATP que se consumen durante esta fase son una inversión debido a que esta fase crea los sustratos reales de la oxidación de una forma que se atrapan dentro de la célula.
2. El gliceraldehído 3-fosfato se convierte en piruvato. Se producen cuatro moléculas de ATP y dos de NADH. Debido a que se han consumido dos ATP en la fase 1, la producción neta de ATP por molécula de glucosa es de dos.

La ruta glucolítica se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$\text{D-glucosa} + 2\text{ADP} + 2\text{Pi} + 2\text{NAD}^+ \rightarrow 2\ \text{piruvato} + 2\text{ATP} + 2\ \text{NADH} + 2\ \text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$$

Reacciones de la ruta glucolítica:

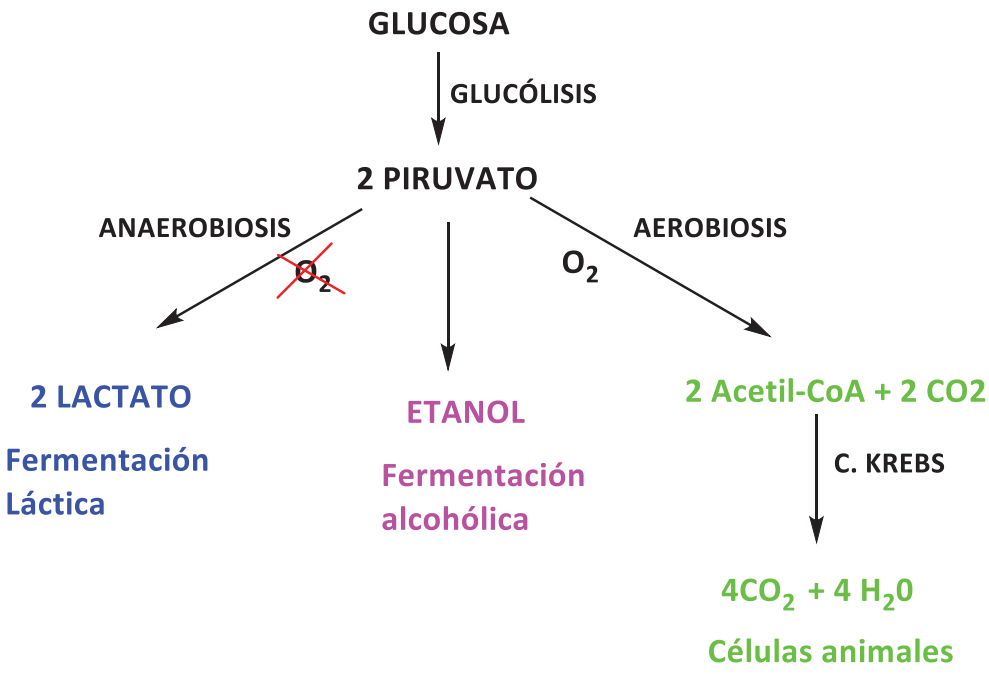
1. Síntesis de la glucosa 6-fosfato; inmediatamente al entrar a la célula las moléculas de glucosa y las de otros azúcares se fosforilan; las enzimas denominadas hexoquinasas catalizan la fosforilación de las hexosas en todas las células del organismo. Esta reacción es irreversible. El ATP, un co-sustrato, está formando complejo con iones Mg^+; este tipo de complejo se encuentra por lo general en reacciones catalizadas por enzimas quinasas.
2. Conversión de la glucosa 6-fosfato en fructosa 6-fosfato; durante esta etapa de la Glucólisis, la aldosa glucosa 6-fosfato se convierte en la cetosa fructosa 6 fosfato, la enzima responsable es la fosfoglucoisomerasa (PGI) en un reacción fácilmente reversible.
3. Fosforilación de la fructosa 6-fosfato la fosfofructoquinasa-1 cataliza de forma irreversible la fosforilación de la fructosa 6-fosfato para formar fructosa 1,6-difosfato. El gasto en este paso es de una segunda molécula de ATP.
4. Escisión de la fructosa-1,6 difosfato en dos moléculas de tres carbonos: gliceraldehído-3-fosfato (G-3-P) y dihidroxiacetonafosfato (DHAP); esta reacción es catalizada por la enzima aldolasa; los productos obtenidos son un aldehído (gliceraldehído 3-fosfato) y una cetona (dihidroxiacetona-fosfato).
5. Interconversión del gliceraldehído-3-fosfato y la dihidroxiacetona-3-fosfato; de los productos de la reacción anterior sólo el del gliceraldehído 3-fosfato es utilizado como sustrato en la siguiente reacción de la glucólisis, y para evitar la pérdida de la dihidroxicetona-3-fosfato (unidad de 3 carbonos) la triosa fosfato isomerasa cataliza la interconversión de la DHAP a G-3-P. Después de esta reacción, la molécula original de glucosa se ha convertido en dos moléculas de G-3-P.
6. Oxidación del gliceraldehído -3-fosfato; en esta etapa el G-3-P se oxida y se fosforila, obteniéndose como producto el glicerato-1,3 bifosfato; este compuesto ya formado contiene un enlace de energía elevada que puede utilizarse en la etapa siguiente, para generar ATP. Esta etapa es catalizada por la enzima gliceraldehído 3-fosfato deshidrogenasa.
7. Transferencia del grupo fosforilo, en esta reacción se sintetiza ATP al catalizar la transferencia de un grupo fosforilo de alta energía del gliceraldehído 1,3-fosfato al ADP; esta reacción es catalizada por la enzima fosfoglicerato quinasa. Debido a que se forman dos moléculas de glicerato 1, 3-bifosfato por cada molécula de glucosa, en esta reacción se producen dos moléculas de ATP.



8. Interconversión del 3-fosfoglicerato y del 2-fosfoglicerato, las células convierten el glicerato-3-bifosfato con su éster fosfato de baja energía en fosfoenol piruvato (PEP), reacción catalizada por la enzima fosfoglicerato mutasa.
9. Deshidratación del 2-fosfoglicerato, esta reacción es catalizada por la enzima es la enolasa para formar fosfonol piruvato (PEP).
10. Síntesis de piruvato en la reacción final de la glucólisis, la piruvato quinasa cataliza la transferencia de un grupo foforilo desde el PEP al ADP; se forman dos moléculas de ATP por cada molécula de glucosa.

En términos de energía, el resultado de la glucólisis es la producción de dos ATP y dos NADH por molécula de glucosa; el último de los productos de la glucólisis, el piruvato por descarboxilación, se convierte (por acción de la enzima piruvato deshidrogenasa) en una molécula de acetil-CoA que es el sustrato de entrada para un nuevo proceso metabólico denominado ciclo del ácido cítrico, de los ácidos tricarboxílicos o ciclo de Krebs.

DESTINO DEL PIRUVATO



1.4 Metabolismo y ciclo de Krebs

El metabolismo es el conjunto de las transformaciones moleculares y de transferencia de energía efectuadas sin interrupciones dentro de las células de los seres vivos. En él se llevan a cabo procesos de degradación (catabolismo) y de síntesis orgánica (anabolismo).

Toda actividad celular y del organismo requiere de energía, pero también de nutrimentos específicos (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, minerales y vitaminas) que deben moverse a través de membranas, con frecuencia contra un

gradiente de concentración, lo que implica un gasto importante de energía. Los carbohidratos proporcionan más de 50% de la energía necesaria para el trabajo metabólico, el crecimiento, la reparación, la secreción, la absorción, la excreción y el trabajo mecánico.

Ciclo de Krebs

El ciclo de Krebs (de los ácidos tricarboxílicos o del ácido cítrico) es una vía metabólica presente en todas las células aerobias, es decir, las que utilizan oxígeno como aceptor final de electrones en la respiración celular. En los organismos aerobios, las rutas metabólicas responsables de la degradación de los glúcidos, ácidos grasos y aminoácidos convergen en el ciclo de Krebs, que a su vez aporta poder reductor a la cadena respiratoria y libera CO_2.

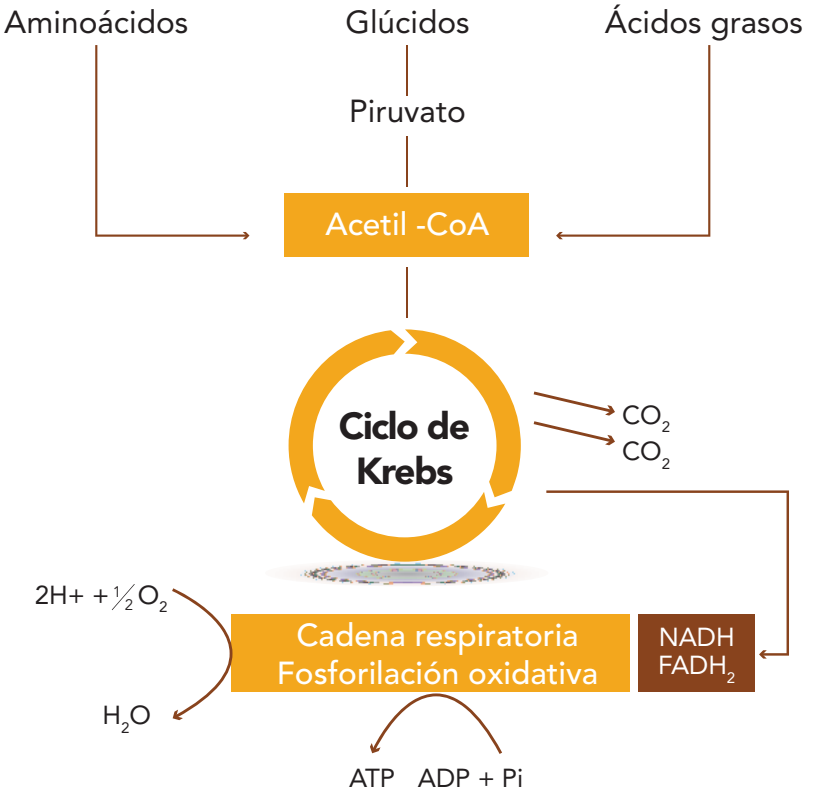


Figura 31. Ciclo de Krebs.

Para comprender el ciclo de Krebs, es necesario conocer las reacciones que se llevan a cabo en la matriz de la mitocondria en las células, que suceden en dos etapas:

Etapa 1. Formación de acetil coenzima A

a) La molécula del ácido pirúvico formada por tres carbonos (CH_3-CO-COOH) se rompe, lo que produce un grupo acetil (de dos carbonos) y CO_2.

b) El grupo acetil se une a la coenzima A, lo que forma un nuevo compuesto llamado acetil coenzima A (acetil-CoA). Asimismo, aquí se genera un NADH que funge como trasportador de electrones.



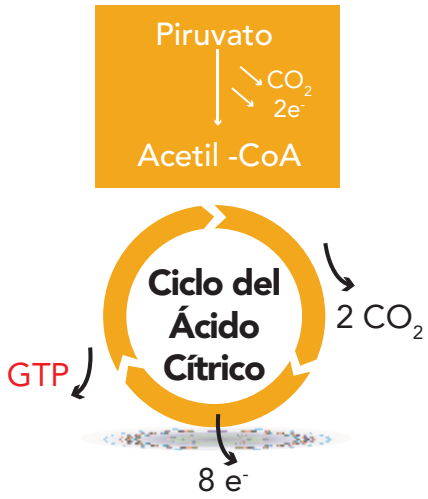


Figura 32. Nicotin adenin dinucleotido.

Etapa 2. Ciclo de Krebs

En la siguiente figura pueden verse, paso a paso, **las enzimas que componen el ciclo de Krebs, sus sustratos y productos.** Se sugiere leer el texto a la par que se analiza la imagen.

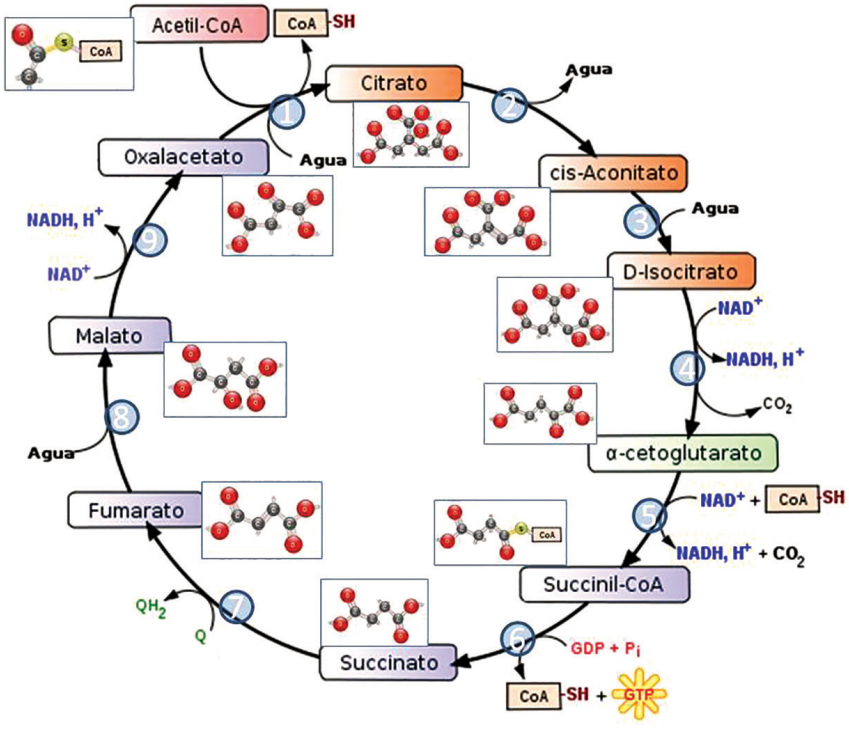


Figura 33. Ciclo de Krebs.
Fuente: http://energiayconsumo16in.blogspot.mx/2016/04/ciclo-de-krebs-funciom-origenes-del.html

Paso 1. El **acetil-CoA** entra al ciclo y transfiere el grupo acetil al **oxalacetato** (molécula de **4 carbonos**) para formar una molécula de **ácido cítrico** (molécula de **6 carbonos**). Este paso está catalizado por la enzima llamada **citrato sintasa** mientras se consume una molécula de agua en el proceso. El citrato que se forma es capaz de impedir la actividad de la enzima citrato sintasa, por lo que, hasta que no se termina el citrato, no continúa generándose.

Paso 2. A continuación el **citrato** se convierte en **cis-Aconitato** (la misma enzima catalizará el cambio a isocitrato) mediante la **aconitasa.** El **isocitrato** (de **6 carbonos**) es una forma isomérica del citrato, pero sirve como sustrato para la siguiente enzima.

Paso 3. La **isocitrato deshidrogenasa** oxidará el **isocitrato a oxoglutarato (de 6 carbonos).** En este proceso se genera un poder reductor que será almacenado en un NAD^+ y que se reducirá a **NADH.** Esta enzima transforma el isocitrato en oxalsuccinato, lo que modifica la electronegatividad de la molécula y produce una descarboxilación. La rotura de un grupo carboxilo (que se elimina en forma de CO_2), al perder este carbono, se denomina **α-cetoglutarato u oxoglutarato (con 5 carbonos).**

Paso 4. La enzima **α-cetoglutarato-deshidrogenasa** transformará el **α-cetoglutarato** en **succinil-CoA** (el succinil tiene **4 carbonos**). Mediante una **descarboxilación oxidativa,** se pierde otro grupo carboxilo. Este proceso se lleva a cabo en tres pasos, realizados por 3 subunidades de la enzima. En este proceso se genera mucha energía, parte de la cual servirá para unir una molécula de CoA y el resto se almacena en forma de poder reductor en NAD^+, que se convierte en **NADH.**

Paso 5. El **succinil-CoA** será hidrolizado por la enzima **succinil-CoA sintetasa** para dar **succinato.** Esta enzima rompe el enlace entre la Co-enzima A y el succinil. El co-sustrato de esta reacción es el **GDP** (guanosín difosfato) que aprovechará la energía de la reacción para unir un fosfato inorgánico (Pi) y formar **GTP.**

Paso 6. El **succinato** (de **4 carbonos**) es transformado en **fumarato** (de **4 carbonos**) por la enzima **succinato deshidrogenasa.** El poder reductor que se genera por la oxidación de la molécula, se almacena como **$FADH_2$.**

Paso 7. Mediante la **fumarasa** (fumarato hidratasa), el **fumarato** es convertido en **L-malato** mediante la hidratación con un grupo –OH desde una molécula de agua.

Paso 8. El **malato** se oxida por la enzima malato deshidrogenasa, lo que genera **oxalacetato** y una última molécula de NAD^+ a **NADH**. Al final de este paso obtenemos nuevamente **oxalacetato** (de **4 carbonos**).

El ciclo de Krebs genera poder reductor que será convertido en ATP, por la fosforilación oxidativa.

En resumen, en este proceso se generan dos moléculas de CO_2, tres de NADH, una de GTP y una de $FADH_2$ por cada acetil-CoA que entra en el ciclo.

Así, el ciclo se puede resumir en la siguiente ecuación:

$$\textbf{Acetil-CoA + 3NAD + FAD + GDP + Pi +2H}_2\textbf{O} \longrightarrow \textbf{CoA-SH + 3 NADH+H + FADH}_2\textbf{ + GTP + 2 CO}_2$$

Como te habrás dado cuenta, durante la glucólisis cada molécula de glucosa origina dos moléculas de piruvato y produce 4 ATP, de los cuales consume 2 en

la fase de preparación. Aunado a ello, en el ciclo de Krebs se generan dos ATP, una por cada molécula de piruvato metabolizada. Asimismo, en estos procesos se obtienen 10 moléculas de NADH (dos en el paso de glucosa a piruvatos, una de cada piruvato durante la formación de Coenzima A y tres de cada ciclo de Krebs) y dos $FADH_2$ (uno de cada ciclo de Krebs).

Cadena de trasporte de electrones y fosforilación oxidativa

En las células eucariotas la glucólisis se lleva a cabo en el citoplasma; por su parte, el ciclo de Krebs se efectúa en la matriz mitocondrial (Fig. 34). Durante estos procesos se generan los transportadores de alta energía NADH Y $FADH_2$.

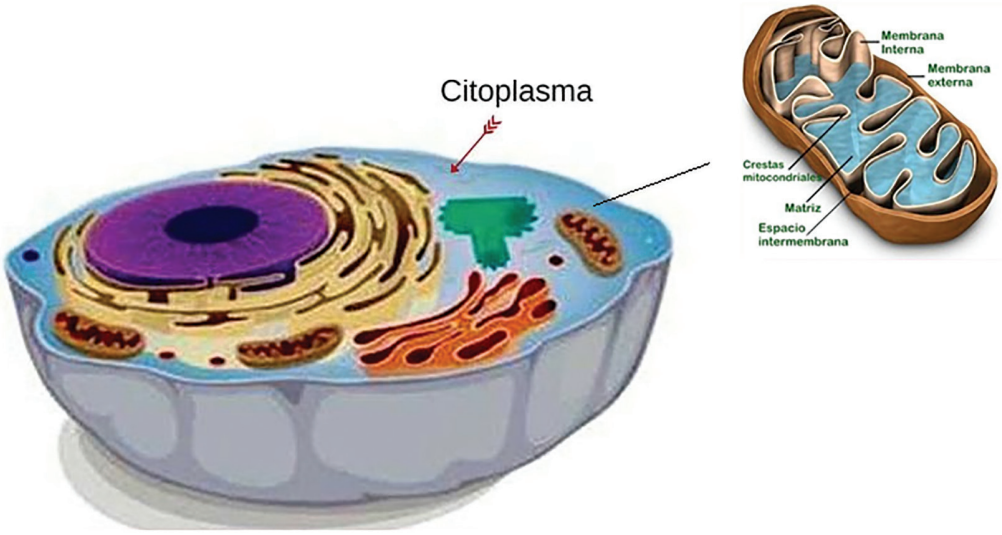


Figura 34. Procesos: glucólisis citoplasma celular.
Ciclo de Krebs: mitocondria de la célula.

Al concluir la glucólisis y el ciclo de Krebs, estas moléculas (NADH y $FADH_2$) son enviadas al proceso llamado fosforilación oxidativa, que consiste en la cadena de transporte de electrones más la síntesis de ATP por la ATP sintasa que es una reacción aeróbica que se lleva a cabo en la matriz de la mitocondria para producir ATP y en la que participan diferentes complejos de proteínas, así como una coenzima "Q" (ubiquinona) de naturaleza no protéica y un citocromo "C". Las moléculas $FADH_2$ y NADH participan como transportadoras de electrones para la formación final de ATP (trifosfato de adenosina) a partir de ADP (difosfato de adenosina), en la cual el ADP se une a un fosfato (Pi) y forman enlaces de alta energía que se libera cuando el ATP se descompone en ADP más un grupo fosfato.

Los complejos de proteínas que participan son:

- Complejo I: NADH deshidrogenasa.
- Complejo II: Succinato deshidrogenasa (aparece también en el ciclo de Krebs).
- Complejo III: Citocromo "C" reductasa.
- Complejo IV: Citocromo "C" oxidasa.
- Complejo de ATP sintasa: se encarga de la síntesis de ATP.

Los complejos I, II, III y IV aceptan electrones desde un transportador electrónico relativamente móvil y pasan los electrones a otro transportador móvil. El NADH se oxida en el primer paso del transporte electrónico por el complejo I, o NADH deshidrogenasa. El gradiente de protones generado por las acciones de los complejos I, III y IV impulsa la síntesis de ATP por el complejo ATP sintasa.

¿Cómo se lleva a cabo la fosforilación oxidativa?

Para comprender mejor este proceso se sugiere leer el texto y relacionarlo simultáneamente con el siguiente diagrama:

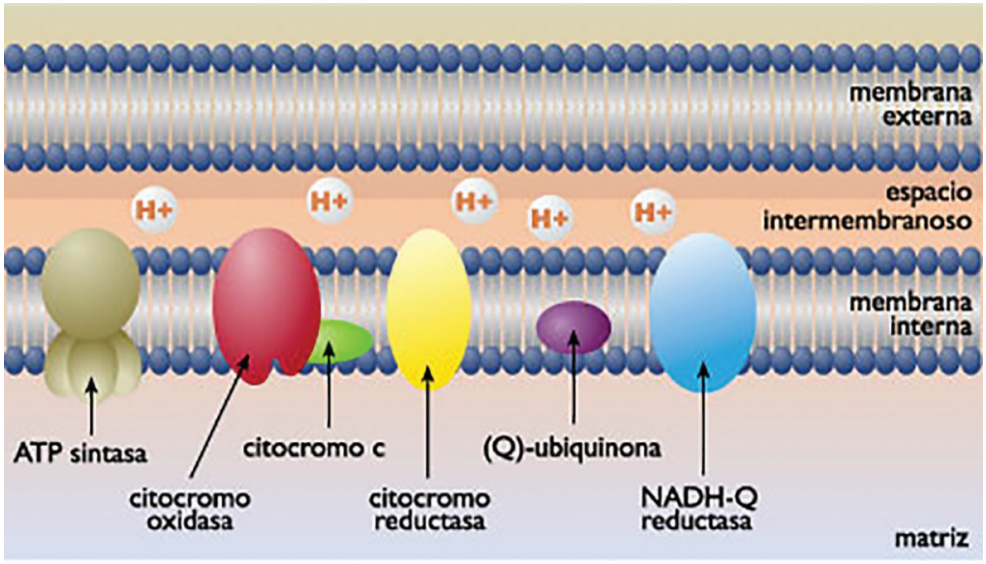


Figura 35. Fosforiliación oxidativa: membrana interior de la mitocondria.

Las moléculas de NADH y $FADH_2$, formadas durante la glicolisis, la oxidación de ácidos grasos y aminoácidos, y el ciclo de Krebs, transportan electrones de alta energía. Durante la fosforilación estas moléculas se oxidan transfiriendo sus electrones a los diferentes complejos, los cuales serán donados al oxígeno por el complejo IV formando H_2O; el gradiente de protones resultante es aprovechado para llevar a cabo la síntesis y liberación de ATP.

El NADH es oxidado por el complejo proteico I, proceso durante el que le dona dos electrones a dicho complejo; éstos viajarán desde el complejo I a la coenzima Q, de la coenzima Q, al complejo III, de allí al citocromo "C" y, finalmente, al complejo IV para regresar nuevamente hacia la matriz mitocondrial, en donde se combinan con oxígeno y dos átomos de hidrógeno para formar agua. El flujo de electrones a través de estos complejos produce un bombeo de protones al espacio intermembranal.

Cada vez que una molécula de NADH cede electrones, el complejo I y el III bombearán cuatro protones (H+), y el complejo IV bombeará dos protones hacia el espacio de la intermembrana mitocondrial, lo que generará un gradiente de protones. Los protones del exterior tienen tendencia termodinámica al volver al interior para igualar el pH a ambos lados de la membrana, por lo que viajarán de regreso contra su gradiente de concentración a través de la ATP sintasa; al



hacerlo, le dan fuerza motriz necesaria para que fosforile ADP y lo conviertan en ATP. Es importante recalcar que el conjunto de cuatro protones (H+) que fluyen a través de la ATP sintasa sirven para que dicho complejo fosforile ADP en ATP.

El $FADH_2$, por su parte, es oxidado por el complejo II; cuando esto sucede también se donan dos electrones, mismos que viajarán del complejo II a la coenzima Q, de la coenzima Q, al complejo III, de aquí al citocromo "C" y de allí al complejo IV; finalmente regresa, como en el caso anterior, a la matriz mitocondrial, en donde se combinan con oxígeno y dos átomos de hidrógeno para formar otras moléculas de agua.

En el proceso de fosforilación oxidativa a partir de una molécula de NADH se producen 3 ATP* y por cada molécula de $FADH_2$ oxidada se producen 2 ATP*.

*El cociente máximo medido para la oxidación de NADH es 2.5, y para $FADH_2$ es 1.5. Para mayor practicidad se consideran 2.5 ATP y 1.5 ATP, respectivamente.

La importancia del metabolismo de los carbohidratos radica en que son la principal fuente energética que requieren los organismos para realizar sus funciones durante este proceso; por cada molécula de glucosa, se obtienen cuatro ATP, 10 NADH y dos FADH.

Tabla 3 Importancia del metabolismo de los carbohidratos

Esta información la podrás verificar en la siguiente tabla:

Proceso	Moléculas de ATP generadas	Moléculas de NADH producidas	Moléculas de $FADH_2$	ATP generados a partir fosforilación oxidativa	ATP Totales
Glucólisis	2	2		2×3 = 6	2+6= 8
Formación de Acetil CoA		2		2×3 = 6	6
Ciclo de Krebs	2	6	2	6×3 = 18 +4+2= 24	24
TOTAL					38 ATP

Evaluación



Evaluación
Módulo 1

Subraya la respuesta correcta.

1. La fórmula de la glucosa es:
   a) $C_{12}H_6O_{12}$
   b) $C_4H_8O_4$
   c) $C_5H_{10}O_5$
   d) $C_6H_{12}O_6$

2. Los monosacáridos que forman a la sacarosa son:
   a) Glucosa + lactosa
   b) Glucosa + galactosa
   c) Glucosa + glucosa
   d) Glucosa + fructosa

3. Los carbohidratos se clasifican en:
   a) Almidón, celulosa y glucógeno
   b) Monosacáridos, disacáridos, polisacáridos
   c) Glucosa, fructosa, galactosa
   d) Maltosa, sacarosa, lactosa

4. Carbohidrato más importante para las células, considerado combustible celular:
   a) Glucosa
   b) Almidón
   c) Glucógeno
   d) Celobiosa

5. Carbohidrato considerado fuente de reserva de los vegetales, presente en la papa, camote, maíz y trigo:
   a) Glucógeno
   b) Quitina
   c) Celulosa
   d) Almidón

6. Los carbohidratos están unidos por enlaces llamados:
   a) Enlace covalente
   b) Enlace éster
   c) Enlace glucosídico
   d) Enlace peptídico

7. ¿Cuál es el azúcar presente en la leche y en sus derivados?
   a) Fructosa
   b) Galactosa
   c) Quitina
   d) Glucógeno



Evaluación
Módulo 1

8. ¿Cuál es la función de los polisacáridos celulosa y quitina?
   a) Energética
   b) Reserva de materiales
   c) Estructural
   d) Fuente de nutrientes

9. Es una ruta de degradación de la glucosa para formar ATP:
   a) Fotosíntesis
   b) Ciclo de Calvin
   c) Glucólisis
   d) NADPH

10. ¿Cuál es la molécula que inicia la glucólisis?
    a) Ácido pirúvico
    b) Acetil CoA
    c) Glucosa
    d) Almidón

11. Durante la fase luminosa de la fotosíntesis se produce:
    a) El almidón y la celulosa
    b) El CO_2 y el H_2O
    c) El lactato y piruvato
    d) La formación de oxígeno

12. ¿Cuántos ATP se producen durante la glucólisis?:
    a) 5
    b) 2
    c) 4
    d) 3

13. ¿Qué proceso de gran importancia se lleva a cabo durante la fase luminosa de la fotosíntesis?
    a) Liberación de CO_2
    b) La fotólisis del agua
    c) Formación de glucosa
    d) La absorción de nutrientes



LÍPIDOS

MÓDULO 2

2.1 Generalidades

- 2.1.1 Concepto de lípidos
- 2.1.2 Clasificación, estructura química y función
  - 2.1.2.1 Lípidos simples
  - 2.1.2.2 Lípidos complejos
  - 2.1.2.3 Lípidos asociados

2.2 Reacciones de interés

- 2.2.1 Hidrólisis
- 2.2.2 Saponificación
- 2.2.3 Enranciamiento
- 2.2.4 Hidrogenación

2.3 Metabolismo

- 2.3.1 Digestión y absorción



Propósito del módulo:

Comprender la estructura, nomenclatura y función de los lípidos en los seres vivos, así como las bases para el estudio de la bioquímica.

2.1 Generalidades

A menudo nos referimos a los aceites como si fueran un componente de un alimento que puede causar algún daño o que contribuye a desbalancear nuestros hábitos alimenticios. En realidad, las grasas son moléculas pequeñas compuestas de tres colas largas de hidrocarburos, unidas a una molécula llamada glicerol que, al igual que las otras macromoléculas, tienen funciones esenciales en el comportamiento biológico del organismo de los seres humanos.

Por otro lado, se han realizado una gran cantidad de estudios nutricionales y, para sorpresa de muchos son los carbohidratos, es el azúcar la causa de muchos más problemas de salud que la grasa.



Figura 1. Los lípidos.

2.1.1 Concepto de lípidos

Los lípidos son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por carbono e hidrógeno y generalmente, en menor proporción, también oxígeno. Además, ocasionalmente pueden contener también fósforo, nitrógeno y azufre. En resumen, son un grupo de sustancias heterogéneas que sólo tienen en común estas dos características:

- Son insolubles en agua.
- Son solubles en disolventes orgánicos, como éter, cloroformo y benceno.

2.1.2 Clasificación, estructura química y función

La mayoría de los organismos utilizan lípidos como reservorios de moléculas fácilmente utilizables para producir energía (aceites y grasas). Los mamíferos

los acumulamos como triglicéridos, y los peces como ceras; en las plantas se almacenan en forma de aceites protectores con aromas y sabores característicos.

La función biológica más importante de los lípidos es **formar a las membranas celulares,** que en mayor o menor grado, contienen lípidos en su estructura. En ciertas membranas, la presencia de lípidos específicos permite realizar funciones especializadas, como en las células nerviosas de los mamíferos. La mayoría de las funciones de los lípidos se deben a su capacidad de autoagregación, lo cual permite también su interacción con otras biomoléculas. De hecho, los lípidos casi nunca se encuentran en estado libre, generalmente están unidos a otros compuestos como carbohidratos (forman glucolípidos) o proteínas (forman lipoproteínas).

Los lípidos se clasifican en:

Lípidos simples	Triacilgliceroles Ácidos Grasos Ceras
Lípidos complejos	Glicerofosfolípidos Lecitinas Cefalinas Plasmalógenos
Lípidos asociados	Terpenoides Esteroides

Tabla 1. Clasificación de los lípidos.

2.1.2.1 Lípidos simples

Son los **lípidos saponificables,** es decir, los que se forman por la unión de un alcohol con uno o varios ácidos grasos. En su composición sólo intervienen el carbono, hidrógeno y oxígeno.

Triacilgliceroles

También llamados triglicéridos o grasas neutras, son los lípidos más abundantes en los organismos vivos y están formados por el alcohol glicerol esterificado con tres ácidos grasos. Las moléculas de triacilgliceroles en las grasas naturales son muy variadas pues cada uno de los tres ácidos grasos puede ser alguno de los cerca de 10 ácidos grasos más frecuentes, lo cual hace posible las características observadas en la grasa de las distintas especies, por ejemplo: el sebo, la manteca, la mantequilla y los aceites.

Las principales funciones de los triacilgriceroles es la de constituir la reserva más grande de energía en el organismo humano y la única que permite la sobrevida durante el ayuno prolongado y la función nutricional pues las grasas figuran en

la dieta diaria aportando alrededor del 30% de las kilocalorías necesarias para el mantenimiento del organismo; cada gramo de grasa aporta 9 Kcal.

Las grasas corporales funcionan también como amortiguador mecánico para proteger a los tejidos, por ejemplo: la grasa que rodea a los riñones, el corazón y el intestino. La grasa subcutánea protege también al cuerpo de los agentes mecánicos externos y además funciona como un aislante térmico que protege a los organismos de las bajas temperaturas.

A continuación, se esquematiza la formación de un triglicérido:

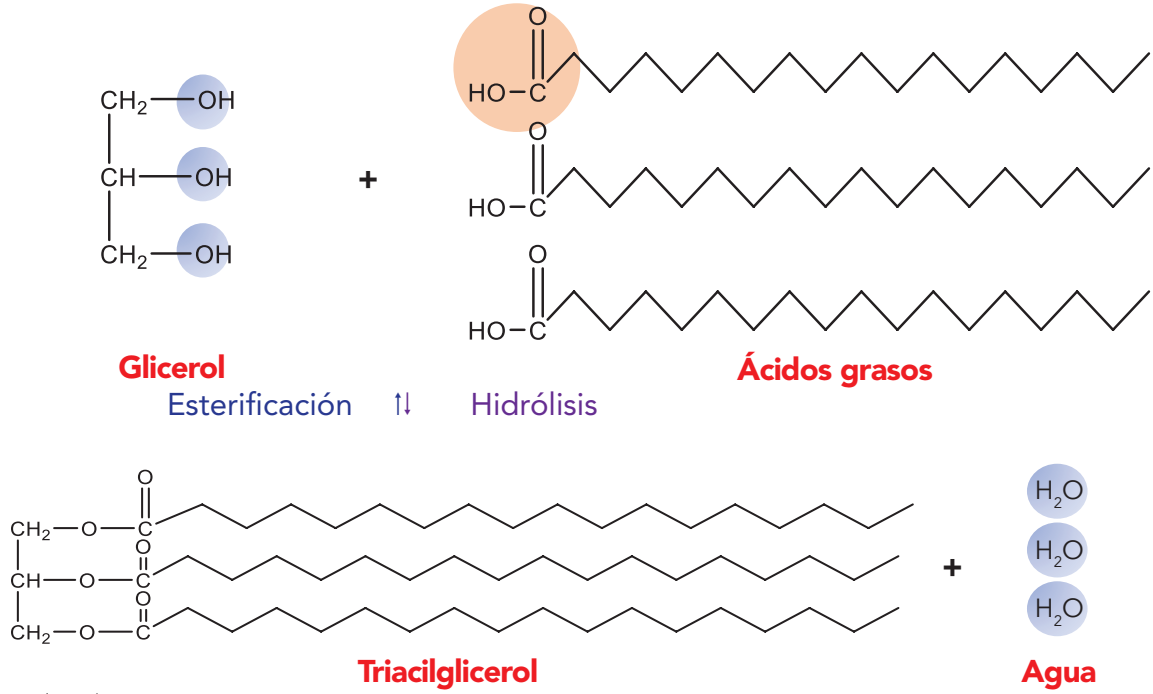


Figura 2. Triglicérido.

Ácidos grasos

Son ácidos monocarboxílicos de cadena lineal R-COOH, donde R es una cadena alquilo formada sólo por átomos de carbono e hidrógeno. Como parte de los triglicéridos existen más de 20 ácidos grasos diferentes. La longitud de la cadena de carbonos varía entre 4 y 24 aunque los más comunes contienen 16 o 18 átomos de carbono. Además de la longitud, la cadena carbonos puede ser saturada o insaturada, es decir, que tiene generalmente de uno a cuatro dobles enlaces carbono-carbono. La insaturación de los ácidos grasos repercute en las propiedades físicas de la grasa pues los ácidos grasos insaturados tienen puntos de fusión más bajos que los saturados correspondientes. Las grasas que tienen en su mayoría ácidos grasos saturados son sólidas o semisólidas a temperatura ambiente: sebo de res o de cordero, manteca de cerdo, la mantequilla o la margarina; en cambio los aceites que son líquidos a temperatura ambiente están formados en su mayor parte por ácidos grasos con una o varias insaturaciones (poliinsaturados).

Debido a su mecanismo de síntesis, los ácidos grasos naturales tienen un número par de carbonos sin que esto quiera decir que no los haya de números impares, ramificados y sustituidos con grupos funcionales.

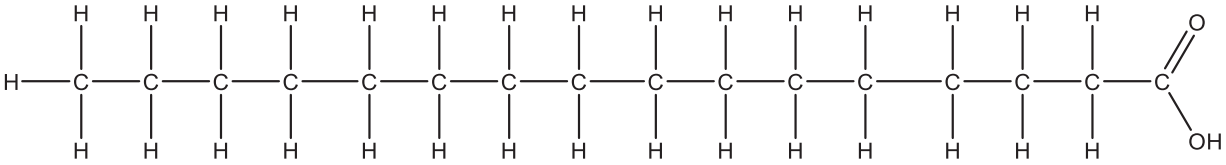
Los ácidos grasos más abundantes en la naturaleza son el ácido oleico (30 % del total de ácidos grasos) y el palmítico que representa por lo general de 10 a 50 % del total de ácidos grasos.

Los ácidos grasos se denominan de acuerdo al hidrocarburo del que provienen más el sufijo "oico". El ácido graso de 16 carbonos se llama hexadecanoico.

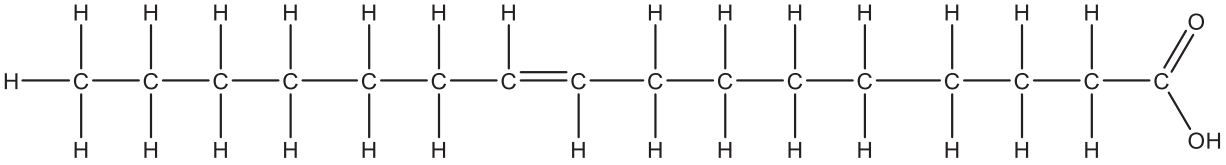
El nombre común o trivial generalmente está relacionado con la fuente natural del cual proviene con la terminación "ico". El hexadecanoico, se llama más a menudo palmítico porque se obtiene del aceite de palma.

La representación más práctica de los ácidos grasos señala el número de carbonos de la cadena seguido de dos puntos y del número de dobles enlaces por ejemplo: ácido palmítico 16:0 y el ácido oleico 18:1.

En algunos casos se menciona con la letra delta (**Δ**) la posición de los dobles enlaces empezando por el carbono del carboxilo, el ácido oleico sería 18:1 **Δ** 9. Si empezamos por el carbono terminal, el mismo ácido sería 18:1 **Δ** 9; el ácido linoleico sería 18:2 **Δ** 9,12 y 18:2 **Δ** 6.



Ácido palmítico (ácido graso saturado)



Ácido palmitoleíco (ácido graso insaturado)

Figura 3. Estructura de un ácido graso.

Ceras

En general, las ceras son una mezcla complicada de alcanos de cadena larga (con número impar de átomos de carbono que fluctúa entre C25 – C35) y derivados oxigenados (del tipo de los alcoholes secundarios y cetonas, así como de los ésteres de ácidos grasos de cadena larga y de los monohidroxi alcoholes, también de cadena larga).

Estas ceras son químicamente inertes por su alta insolubilidad en agua y por cadenas hidrocarbonadas totalmente reducidas.

Están presentes en los vegetales y en los animales marinos, las ceras también se encuentran en los mamíferos como sustancias de protección y en funciones especiales. Las ceras están formadas por un ácido graso de cadena larga, esterificado con un alcohol, también de cadena larga. A diferencia de las grasas no son asimilables por el organismo humano. Las más conocidas son la cera de abeja, la cera de ovejas (la lanolina) y la del aceite de ballena. Son altamente insolubles en agua y son sólidos y duros a temperatura ambiente.

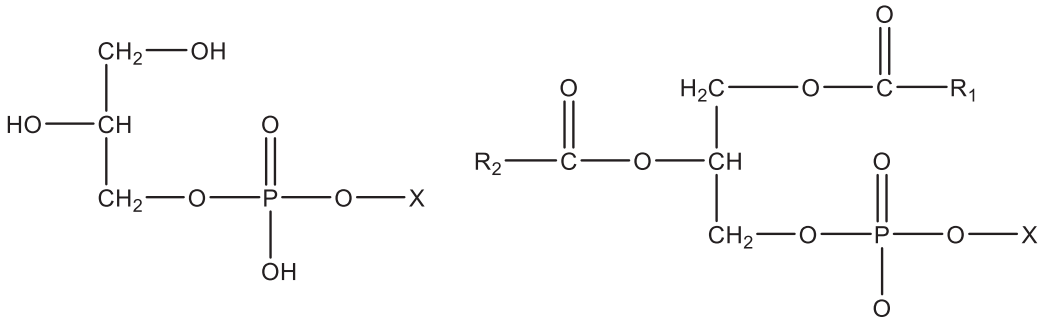


Figura 4. Cera de abeja.

2.1.2.2 Lípidos complejos

Glicerofosfolípidos

Glicerofosfolípidos: son un grupo numeroso de lípidos compuestos, importantes en la estructura de las membranas y derivados del ácido fosfatídico, que tienen como alcohol al glicerol y que incluyen las lecitinas, cefalinas, plasmalógenos y algunos otros lípidos menos frecuentes.



Glicerol – 3 – fosfato

Glicerofosfolípido

Figura 5. Glicerofosfolípidos.

Lecitinas

También llamadas fosfatidilcolinas, están formadas por glicerol, dos ácidos grasos, ácido fosfórico y la base nitrogenada colina. Las lecitinas son los fosfolípidos, así llamados porque contienen fosfato abundante en las membranas celulares y en el plasma sanguíneo.

Cefalinas

También se llaman fosfatidil serinas y fosfatidil etanolaminas, son fosfolípidos importantes que contienen un glicerol, dos ácidos grasos, un ácido fosfórico y la base nitrogenada serina o etanolamina.

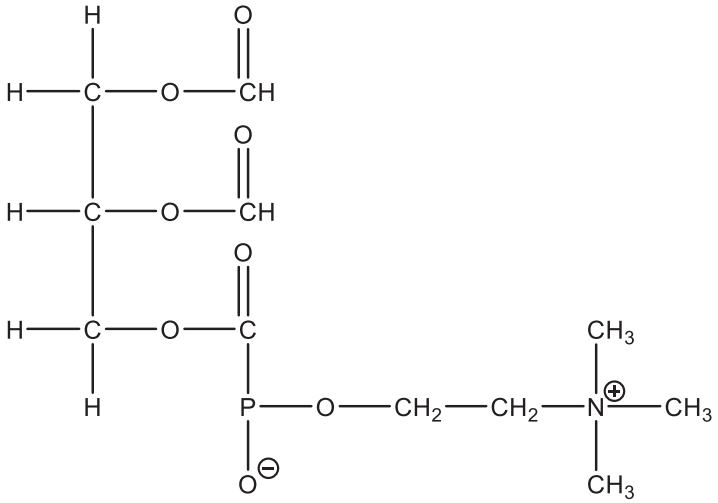


Figura 6. Cefalinas.

Plasmalógenos

Son fosfolípidos de estructura muy semejante a las lecitinas y las cefalinas pero que tienen el ácido graso de la posición 1 bajo la forma de un aldehído alfa – beta insaturado. Están formados por un glicerol, un aldehído graso, un ácido graso, ácido fosfórico y una base nitrogenada que puede ser colina, etanolamina o serina.

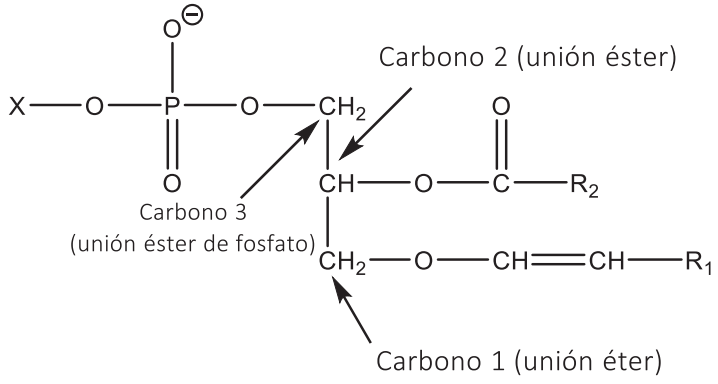


Figura 7. Plasmalógeno.



2.1.2.3 Lípidos asociados

Terpenoides

Compuestos formados a partir de la unión de una unidad simple: la unidad isoprenoide.

Dentro de estos compuestos los más importantes son los carotenoides, compuestos de 40 átomos de carbono de origen vegetal con un sistema de dobles enlaces conjugados que muestran gran absorción de luz y son a menudo de vivos colores. Se encuentran en el jitomate, zanahoria y betabel.

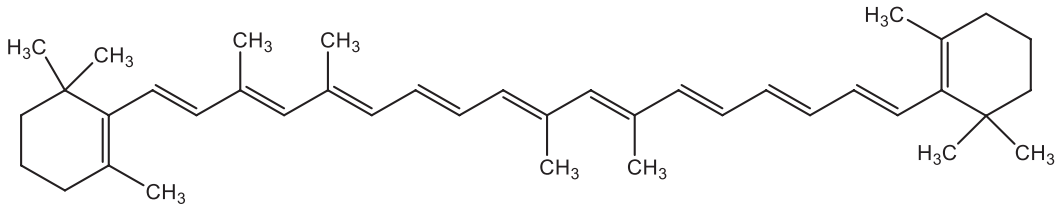


Figura 8. β-caroteno (todo trans).

El β-caroteno se degrada en el hígado para formar la vitamina A.

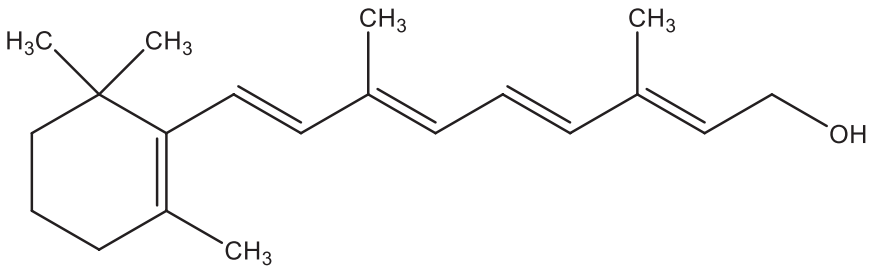


Figura 9. Vitamina A1.

Los intermedios metabólicos de la Vitamina A ocurren en la forma de aldehídos –los retinales- que son importantes en la visión.

Esteroides

Los esteroides forman un gran grupo de compuestos cíclicos que pueden ser considerados derivados de un hidrocarburo progenitor común, el esterano (Fig. 10).

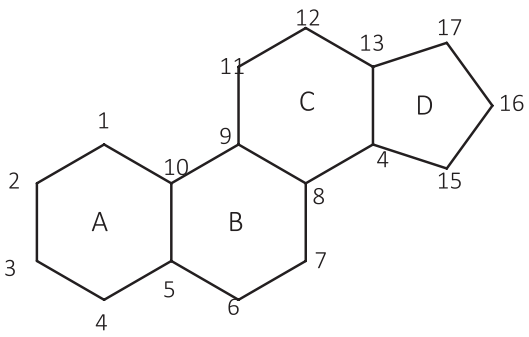


Figura 10. Estructura del esterano (ciclopentanoperhidrofenantreno).

Los esteroides pueden clasificarse en las siguientes categorías:

a) **Esteroles.** Pueden ser animales o vegetales.

- Animales:
  - Colesterol (Fig. 11)
  - 7-dehidrocolesterol (precursor de la vitamina D3)
  - Dehidrocolesterol (en los tejidos)
  - Coprosterol (presente en las materias fecales)

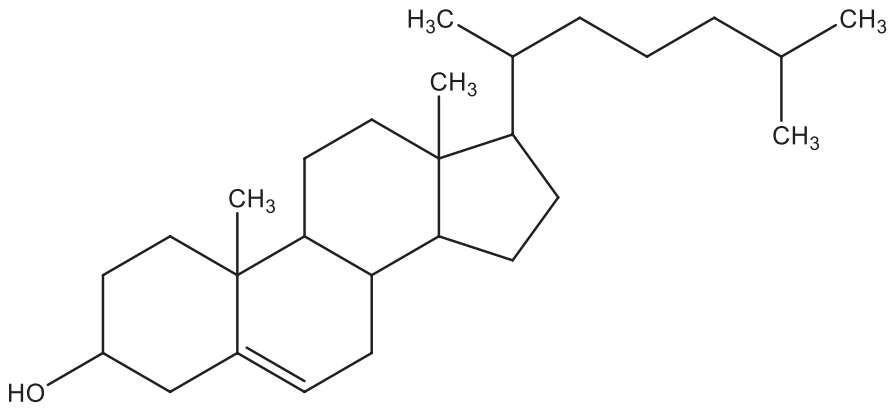


Figura 11. Colesterol.

- Vegetales:
  - Sitosterol (Fig. 12)
  - Estigmasterol

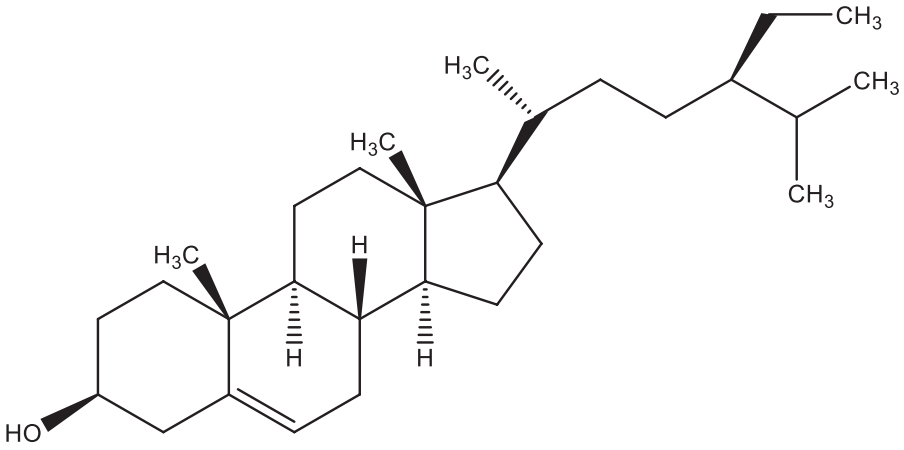


Figura 12. Sitosterol.

b) **Ácidos biliares:** la bilis humana contiene tres ácidos biliares diferentes: ácido cólico (Fig. 13), desoxicólico y quenodesoxicólico, conocidos como taurocolato y glicocolato.



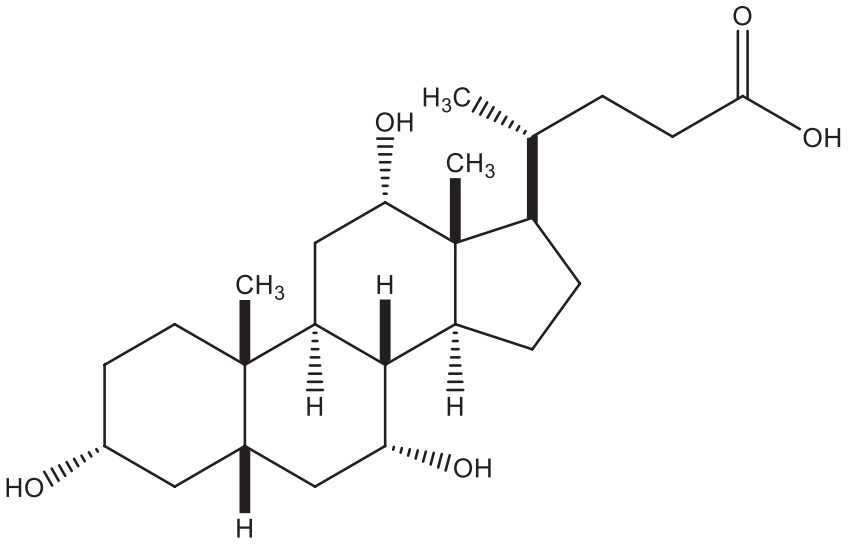


Figura 13. Ácido cólico.

c) **Hormonas sexuales masculinas y femeninas:** la hormona sexual "masculina" se denomina testosterona (Fig. 14). Pertenece a un grupo de hormonas "masculinas", llamadas andrógenos, que elaboran los testículos. Las hormonas sexuales "femeninas" son los estrógenos y la progesterona, sintetizadas por los ovarios. Si estas hormonas influyen en la conducta, pueden provocar diferencias entre los géneros.

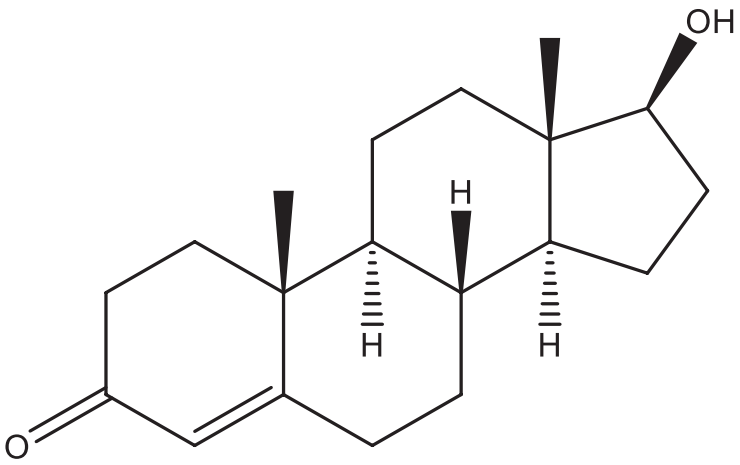


Figura 14. Testosterona.

d) **Corticoesteroides adrenales:** son hormonas producidas por la corteza adrenal o semisintéticos; se utilizan clínicamente como: terapéutica sustitutiva, inmunodepresores y antiinflamatorios.

e) **Vitamina D:** es un nutriente presente en ciertos alimentos que es necesario para la salud y para mantener los huesos fuertes. Para ello, ayuda al cuerpo a absorber el calcio (una de las piezas fundamentales de los huesos) de los alimentos y suplementos. Las personas que consumen vitamina D en cantidad muy escasa pueden tener huesos débiles, delgados y frágiles, un trastorno que se denomina raquitismo en los niños y osteomalacia en los adultos.

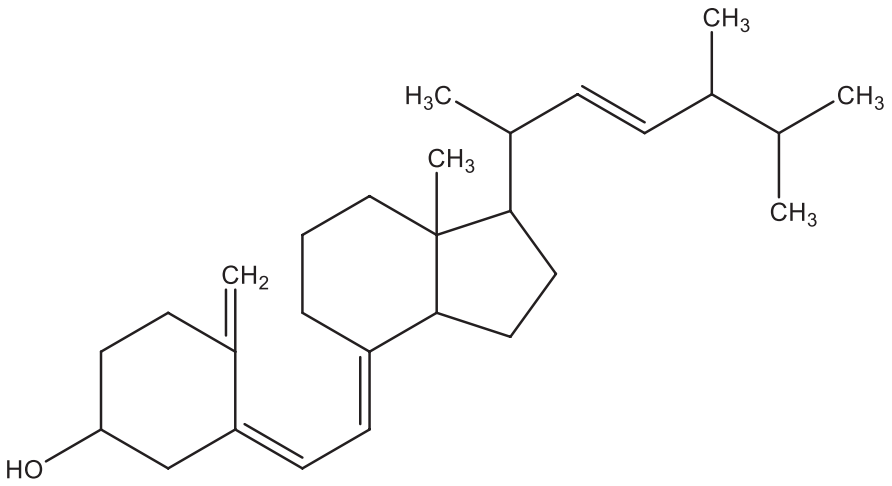


Figura 15. Vitamina D.

f) **Saponinas:** son un grupo de **glucósidos** oleosos, los cuales son solubles en agua produciendo espumosidad cuando las soluciones son agitadas. Las contienen plantas muy diversas, entre ellas el **abrojo**, la **saponaria o jabonera,** el **castaño de Indias** y muchas otras. Estos **principios activos** están relacionados con las esterinas vegetales, su característica principal es la de contener muchos grupos hidroxilos y uniones de tipo éter y lactónicas.

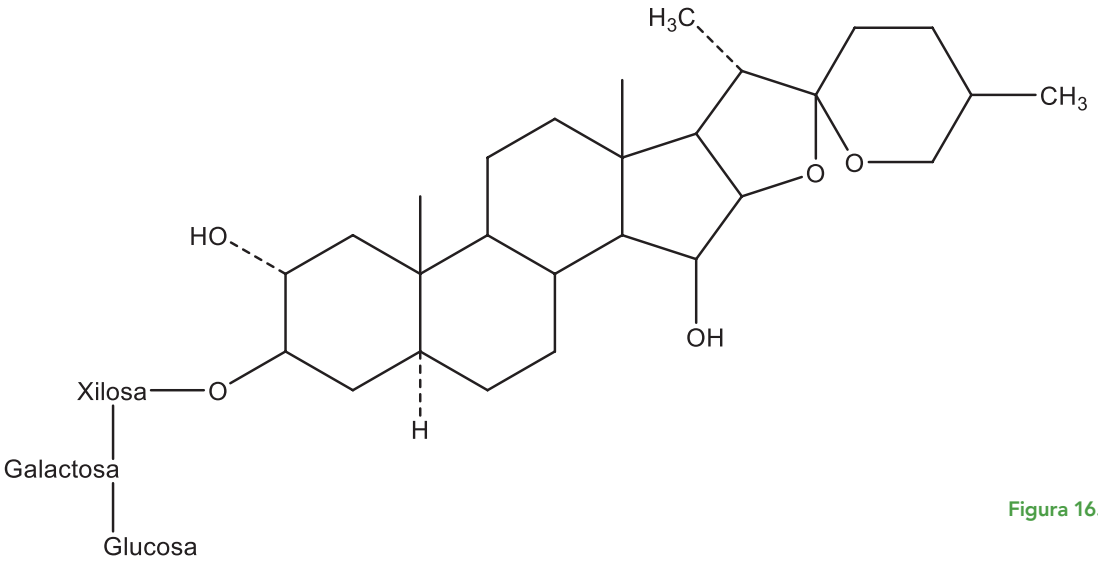


Figura 16. Digitonina.

2.2 Reacciones de interés

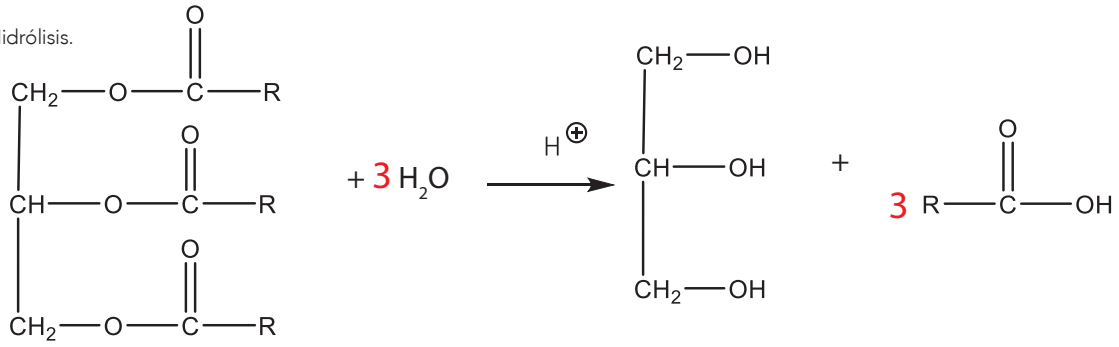
2.2.1 Hidrólisis

La hidrólisis es una reacción química de rotura de enlaces químicos con intervención de moléculas de agua. Está catalizada por enzimas que reciben el nombre general de hidrolasas.



La hidrólisis de lípidos se debe a la rotura de los enlaces ésteres que unen los ácidos grasos a alcoholes como la glicerina o glicerol. Un ejemplo es en el cuerpo humano donde tiene lugar la digestión de los lípidos en el intestino delgado (duodeno) mediante las lipasas pancreáticas e intestinal, previa emulsión de las grasas debida a la bilis.

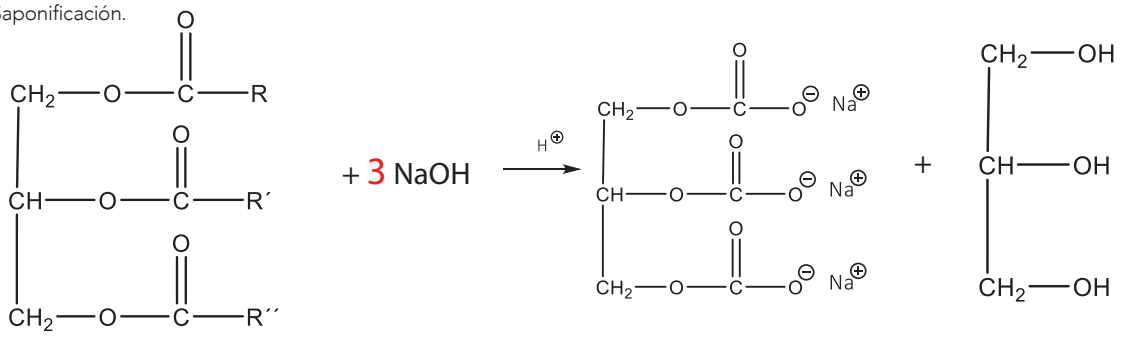
Figura 17. Hidrólisis.



2.2.2 Saponificación

La saponificación es la reacción química que se utiliza para formar jabones a partir de grasas. Consiste en un ataque con una base fuerte, que rompe las moléculas de las grasas más habituales en el tejido adiposo animal, los triglicéridos, para dar lugar a sales de ácidos grasos, que gracias a su naturaleza anfipática, actúan como detergentes. Dicha reacción ha dado nombre a todo un grupo de compuestos lipídicos, que tienen en común estar formados por ácidos grasos y otras sustancias, lo que hace posible que reaccionen de este modo.

Figura 18. Saponificación.



2.2.3 Enranciamiento

El enranciamiento de las grasas y aceites es un proceso natural por el cual la composición de las mismas se altera con el tiempo, lo que provoca, entre otras cosas, un cambio en las propiedades organolépticas del mismo, es decir, un cambio en su sabor; de hecho, uno de los atributos negativos del aceite de oliva que es"rancio" que se define como el sabor de los aceites que han sufrido un proceso oxidativo intenso.

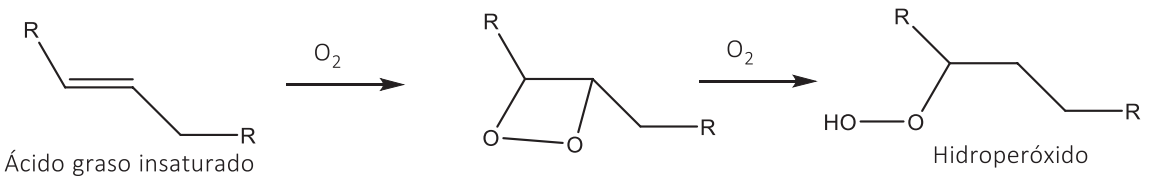
El enranciamiento puede ser por hidrólisis o por oxidación:

Enranciamiento por hidrólisis, es el proceso por el cual, los acilglicéridos de los aceites y de las grasas se hidrolizan liberando ácidos grasos y glicerina.

Enranciamiento por oxidación, es el proceso por el cual, los ácidos grasos insaturados (con algún doble enlace) se transforman en peróxidos y/o hidroperóxidos.

La reacción de oxidación del aceite consiste en la incorporación del oxígeno en el doble enlace del ácido graso insaturado (ya sea libre o incorporado en un acilglicérido) para formar peróxidos e hidroperóxidos.

Figura 19. Ácido graso insaturado.



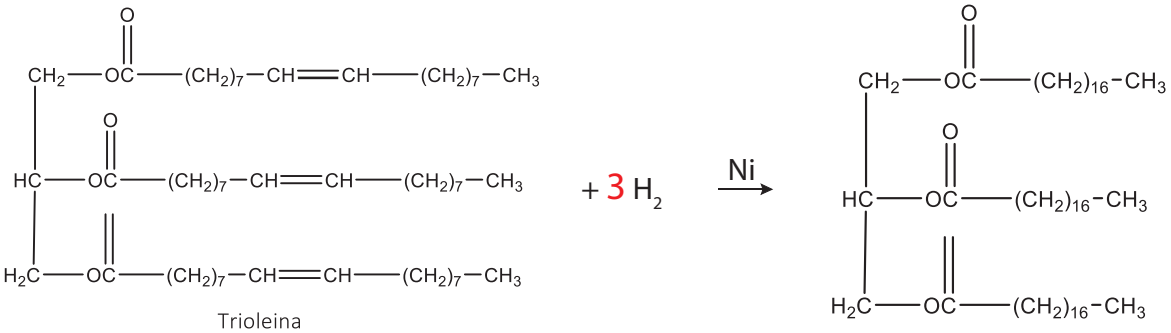
Ácido graso insaturado

Hidroperóxido

2.2.4 Hidrogenación

La hidrogenación de lípidos consiste en reaccionar químicamente para reducir la cantidad de enlaces dobles. En términos prácticos, la hidrogenación tiene la capacidad de volver a un aceite mucho más estable y no presenta ranciedad tan rápido como el aceite no tratado. Además, tiene un punto de fusión más alto, lo que le hace ideal para freír y para hacer pasteles.

Figura 20. Triestiarina.



Trioleina

Triestiarina

2.3 Metabolismo

2.3.1 Digestión y absorción

Un alimento es realmente incorporado al organismo después de ser digerido, es decir, degradado física y químicamente para que sus componentes puedan ser absorbidos, es decir, puedan atravesar la pared del aparato digestivo y pasar a la sangre.



Proceso de digestión

Antes de que todos estos componentes puedan ser utilizados o metabolizados, los alimentos deben sufrir en el cuerpo diversos cambios físicos y químicos que reciben el nombre de digestión y que los hacen "absorbibles", aunque no siempre es necesario que se produzca algún cambio para que el componente se absorba. Por ejemplo, el agua, los minerales y ciertos hidratos de carbono se absorben sin modificación previa. En otros casos, el proceso culinario ya inicia cambios químicos en el alimento antes de entrar en el cuerpo: el cocinado ablanda las fibras de carne y la celulosa de los alimentos de origen vegetal y gelatiniza el almidón. Sin embargo, el verdadero proceso de la digestión no comienza hasta que el alimento está en el aparato digestivo.

En el proceso de digestión también intervienen las glándulas salivares, el hígado y el páncreas y está regulado por mecanismos nerviosos y hormonales. La digestión consiste en dos procesos, uno mecánico y otro químico. La parte mecánica de la digestión incluye la masticación, deglución, la peristalsis y la defecación o eliminación de los alimentos. En la boca se produce la mezcla y humectación del alimento con la saliva, mientras éste es triturado mecánicamente por masticación, facilitando la deglución. La saliva contiene amilasa, una enzima que hidroliza una parte del almidón a maltosa.

De la boca, el alimento pasa rápidamente al esófago y al estómago, donde se mezcla con los jugos gástricos constituidos por pepsina (una enzima que comienza la digestión de las proteínas), ácido clorhídrico y el factor intrínseco, necesario para que la vitamina B12 se mantenga estable. El tiempo de permanencia del quimo (mezcla semilíquida del alimento) (2 - 4 horas) depende de múltiples factores, como por ejemplo, el tipo de alimento. Aquellos ricos en grasas permanecen más tiempo y los que tienen grandes cantidades de hidratos de carbono pasan rápidamente.

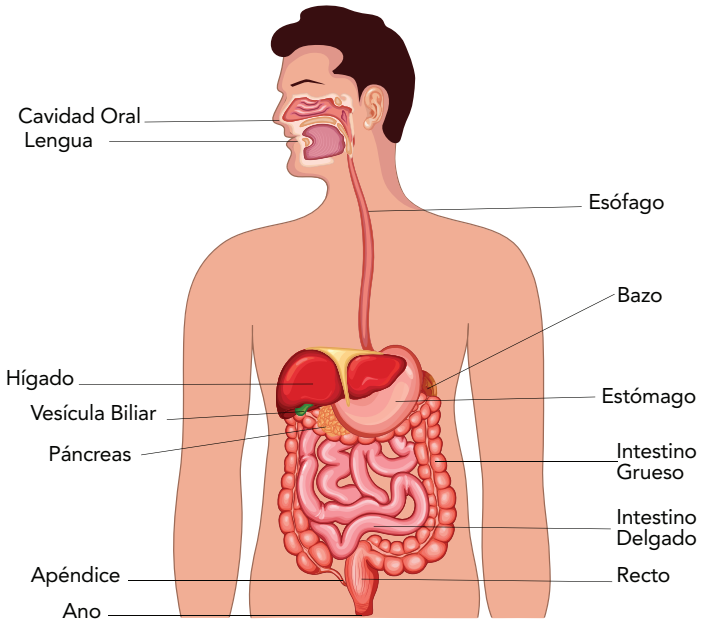


Figura 21. Aparato digestivo.

En el intestino delgado tiene lugar la mayor parte de los procesos de digestión y absorción. El alimento se mezcla con la bilis, el jugo pancreático y los jugos intestinales. Durante la fase química de la digestión diferentes enzimas rompen las moléculas complejas en unidades más sencillas que ya pueden ser absorbidas y utilizadas. Algunas de las enzimas más importantes son la lipasa (que rompe los triacilglicéridos en ácidos grasos), la amilasa (que hidroliza el almidón) y las proteasas (tripsina y quimotripsina, que convierten las proteínas en aminoácidos).

En el intestino grueso, las sustancias que no han sido digeridas pueden ser fermentadas por las bacterias presentes en él, dando lugar a la producción de gases. Igualmente pueden sintetizar vitaminas del grupo B y vitamina K, aportando cantidades adicionales de estas vitaminas para ser absorbidas.

Proceso de absorción

El proceso de absorción se produce principalmente con una extraordinaria eficacia a través de las paredes del intestino delgado, donde se asimila la mayor parte del agua, alcohol, azúcares, minerales y vitaminas hidrosolubles, así como los productos de digestión de proteínas, grasas e hidratos de carbono. Las vitaminas liposolubles se absorben junto con los ácidos grasos. La absorción puede disminuir notablemente si se ingieren sustancias que aceleran la velocidad de tránsito intestinal, como la fibra dietética en grandes cantidades y los laxantes. Igualmente, la fibra y el ácido fítico pueden reducir la asimilación de algunos minerales, como el hierro o el zinc.

En la enfermedad celíaca (o intolerancia al gluten) y la destrucción de las vellosidades intestinales puede reducir significativamente la superficie de absorción. En el intestino grueso, donde se reabsorbe una importante cantidad de agua del residuo que llega del intestino delgado, se almacenan las heces hasta ser excretadas por el ano. Las heces, además de los componentes no digeridos de los alimentos, contienen gran cantidad de restos celulares, consecuencia de la continua regeneración de la pared celular.

Una vez absorbidos, los nutrientes son transportados por la sangre hasta las células en las que serán utilizados. Los ácidos grasos que pasan por la pared intestinal son transformados inmediatamente en triglicéridos, que serán transportados hasta la sangre por la linfa. La grasa puede ser modificada posteriormente en el hígado; finalmente se deposita en el tejido adiposo una importante reserva de grasa y de energía. Los hidratos de carbono o carbohidratos en forma de monosacáridos pasan a la sangre y, posteriormente, al hígado, desde donde son transportados como glucosa a todas las células del organismo para ser metabolizada y producir energía.

La insulina es necesaria para la incorporación de la glucosa a las células. Los monosacáridos también pueden ser transformados en glucógeno, una fuente de energía fácilmente utilizable que se almacena en el hígado y en los músculos esqueléticos. Los aminoácidos de las proteínas pasan igualmente a la sangre

y de ésta al hígado. Posteriormente pueden transitar por la circulación general para formar parte del pool de aminoácidos, un importante reservorio que será utilizado para la síntesis de proteínas estructurales y enzimas. Los aminoácidos en exceso también pueden ser oxidados para producir energía.

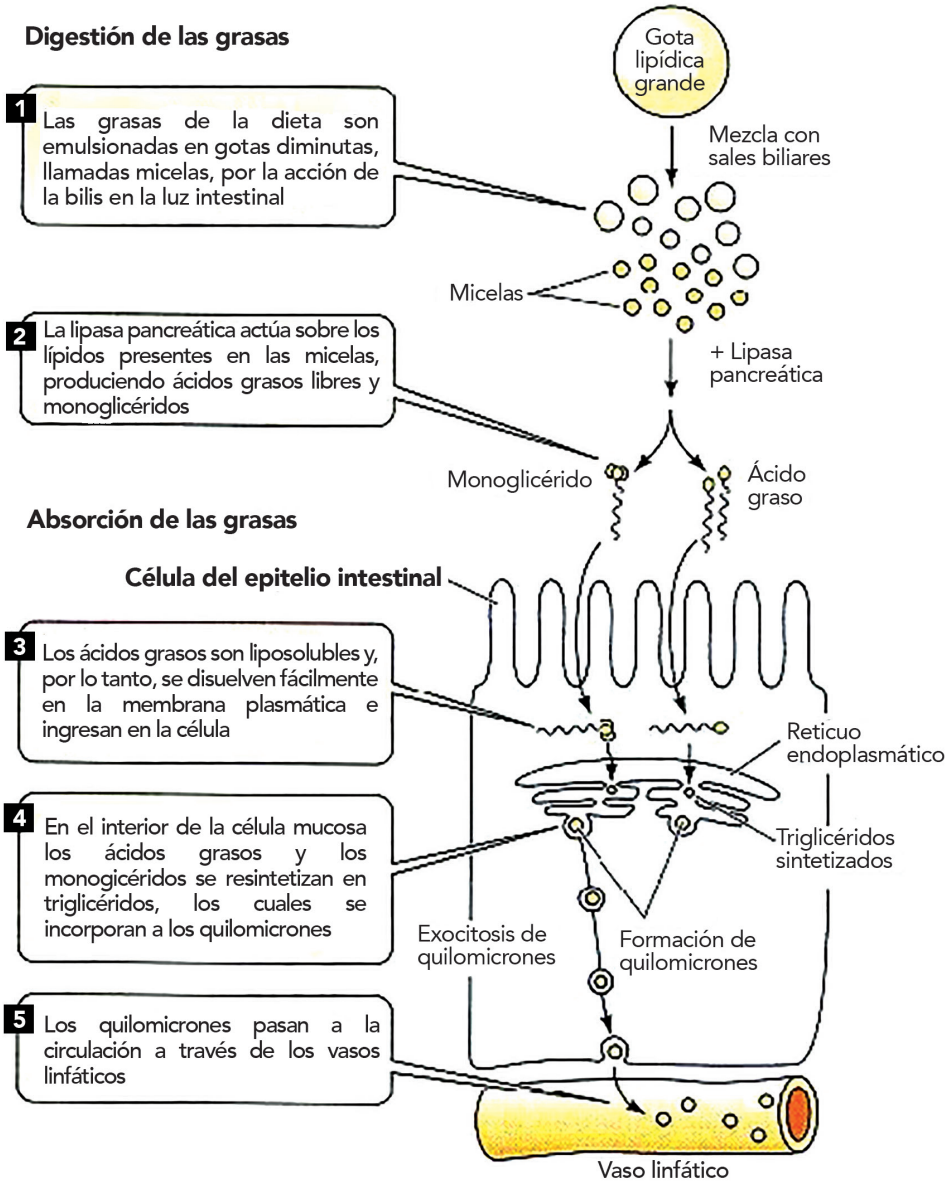


Figura 22. Digestión de las grasas.

Proceso de β – oxidación

Se denomina beta-oxidación (o también β–oxidación) al proceso catabólico necesario para que los ácidos grasos puedan ser metabolizados completamente en la mitocondria (con el objetivo de producir energía en forma de ATP). Los ácidos grasos están formados por una gran cadena hidrocarbonada que pueden tener entre 4 y 33 carbonos. Sin embargo, para que puedan ser oxidados en el

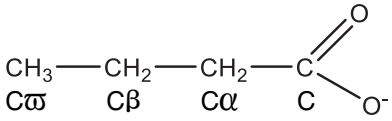
ciclo de Krebs, necesitan convertirse en moléculas de menor tamaño molecular (esto es, acetil CoA). Por tanto, la beta-oxidación es un proceso que se encarga de "desestructurar" progresivamente las largas cadenas de carbonos de los ácidos grasos y convertirlas en moléculas más pequeñas.

Metabolismo de lípidos

Los lípidos son moléculas con grandes diferencias estructurales de unas a otras. Tienen características comunes de insolubilidad en agua, tienen 2 funciones preferentes:

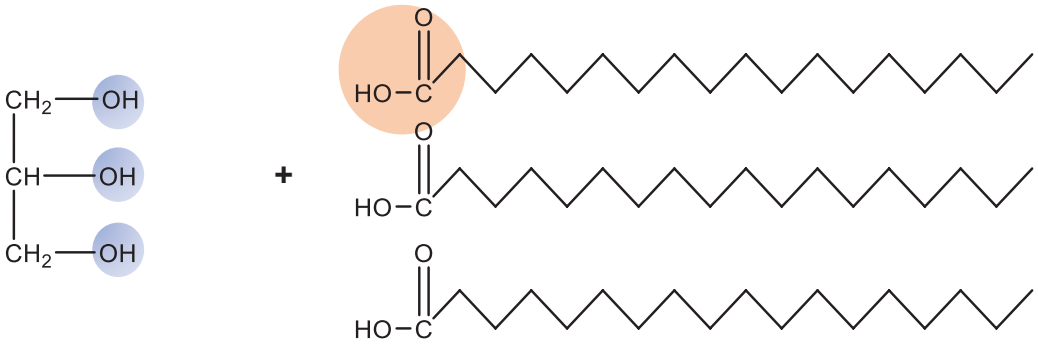
- Componentes esenciales de membrana (fosfolípidos).
- Depósito de energía más importante de la célula (triglicéridos).

Los triacilgliceroles son los principales sustratos energéticos, almacenados en el citosol de las células del tejido adiposo. El hígado es muy importante en el metabolismo de lípidos y síntesis de ácidos grasos. Cuando sobra energía sintetiza lípidos. Los ácidos grasos suelen tener un número par de átomos de C. Se diferencian en la longitud de la cadena y el número de insaturaciones.



Ácido graso

En la síntesis de una grasa se une 1 glicerol con 3 ácidos grasos para dar triacilglicerol:



Glicerol **Ácidos grasos**

La ruptura es por hidrólisis mediante una lipasa. Los ácidos grasos se degradarán dando C_2 que es el acetil-CoA que entrará en el C.A.C. dando CO_2. El glicerol mediante glicolisis da piruvato y éste acetil-CoA que sigue el mismo proceso. El glicerol viene de la glucosa por medio de la ruta glicolítica. Para sintetizar grasas hacen falta hidratos de carbono porque la glucosa es necesaria para formar C_k. También a partir de acetil-CoA.



Las grasas son un buen almacén de energía, mejor que el glucógeno porque los componentes de los triacilgliceroles están muy reducidos, se obtiene más energía al oxidarlos. Las grasas son insolubles en agua y el glucógeno es soluble, por lo que puede estar en forma hidratada. Esto es importante a la hora de almacenar porque con el mismo, pero del glucógeno se obtiene menos energía porque está menos reducido y parte es agua. Obtenemos 6 veces más energía de la grasa.



Evaluación
Módulo 2

Evaluación

Instrucciones: Subraye la respuesta correcta.

1. Son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por carbono e hidrógeno y generalmente, en menor proporción oxígeno. Además pueden contener fósforo, nitrógeno y azufre:
    a) Carbohidratos
    b) Lípidos
    c) Proteínas
    d) Ácidos Nucleicos

2. Compuesto en el cual un lípido es insoluble:
    a) Cloroformo
    b) Agua
    c) Éter
    d) Benceno

3. Función principal de los lípidos:
    a) Producir tejido corporal y sintetizar enzimas.
    b) Formar tejidos óseos y piel sana.
    c) Suministrar energía a todas las células del organismo.
    d) Formar membranas celulares.

4. Es un lípido simple:
    a) Ceras
    b) Lecitinas
    c) Cefalinas
    d) Terpenos

5. Se produce principalmente a través de las paredes del intestino delgado, donde se asimila la mayor parte del agua, alcohol, azúcares, minerales y vitaminas hidrosolubles así como los productos de digestión de proteínas, grasas e hidratos de carbono:
    a) Metabolismo
    b) Digestión
    c) Absorción
    d) Transporte



6. Sustancia que genera una enzima cuya función es hidrolizar una pequeña parte del almidón a maltosa:
    a) Bilis
    b) Jugos pancreáticos
    c) Saliva
    d) Orina

7. Es un proceso natural por el cual la composición de las mismas se altera con el tiempo, lo que provoca, entre otras cosas, un cambio en las propiedades organolépticas del mismo:
    a) Absorción
    b) Descomposición
    c) Enranciamiento
    d) Putrefacción

8. Tiene la capacidad de volver a un aceite mucho más estable y no presenta ranciedad tan rápido como el aceite no tratado:
    a) Absorción
    b) Halogenación
    c) Hidrogenación
    d) Saponificación

9. Es la reacción química que se utiliza para formar jabones a partir de grasas:
    a) Enranciamiento
    b) Halogenación
    c) Hidrólisis
    d) Saponificación

10. Tipo de reacción química que presenta rotura de enlaces químicos con intervención de moléculas de agua:
    a) Enranciamiento
    b) Halogenación
    c) Hidrogenación
    d) Saponificación

11. Son un grupo de glucósidos oleosos, los cuales son solubles en agua produciendo espuma cuando las soluciones son agitadas.
    a) Hormonas
    b) Ácidos biliares
    c) Saponinas
    d) Vitaminas

12. Es un nutriente presente en ciertos alimentos que es necesario para la salud y para mantener los huesos fuertes:
    a) Hormonas
    b) Ácidos biliares
    c) Saponinas
    d) Vitamina D



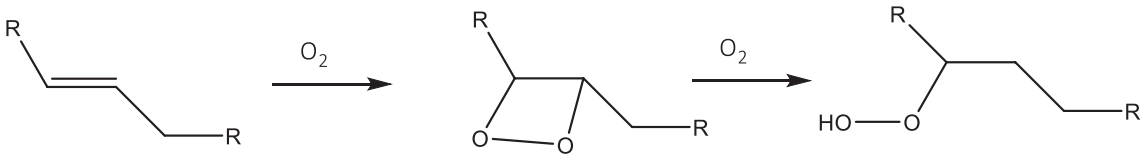
Evaluación
Módulo 2

13. Son las hormonas sexuales femeninas:
    a) Andrógenos
    b) Testosterona
    c) Óvulos
    d) Progesterona

14. Son fosfolípidos importantes que contienen un glicerol, dos ácidos grasos, un ácido fosfórico y la base nitrogenada serina o etanolamina:
    a) Ceras
    b) Lecitinas
    c) Cefalinas
    d) Terpenos

15. Están presentes en los vegetales y en los animales marinos, también se encuentran en los mamíferos como sustancias de protección y en funciones especiales:
    a) Ceras
    b) Lecitinas
    c) Cefalinas
    d) Terpenos

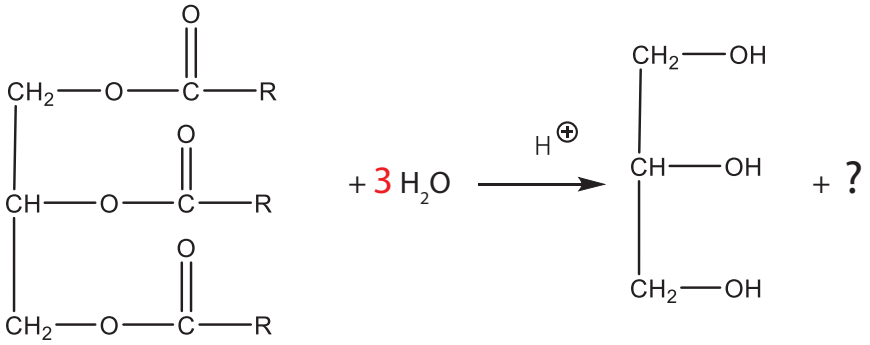
16. Identifique el tipo de reacción:



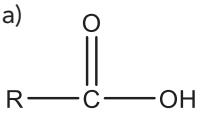
    a) Enranciamiento
    b) Halogenación
    c) Hidrogenación
    d) Saponificación

17. Son los productos obtenidos en una reacción de saponificación:
    a) grasas y agua
    b) jabón y glicerina
    c) triglicéridos
    d) jabón y agua

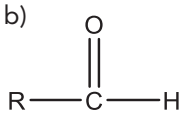
18. De acuerdo a la siguiente reacción, el producto obtenido faltante, se encuentra contenido en la letra:



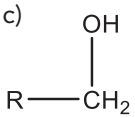
a)



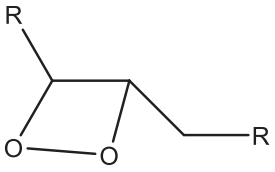
b)



c)



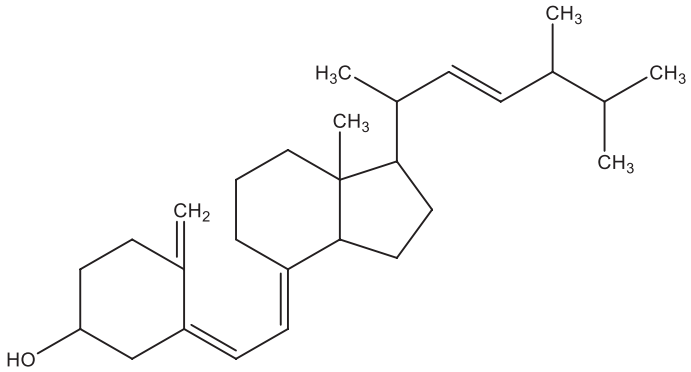
d)



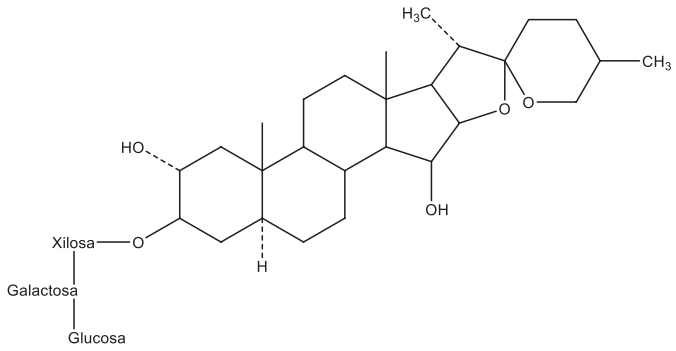
Evaluación
Módulo 2

19. ¿Cuál de las siguientes fórmulas estructurales corresponde a un lípido simple?

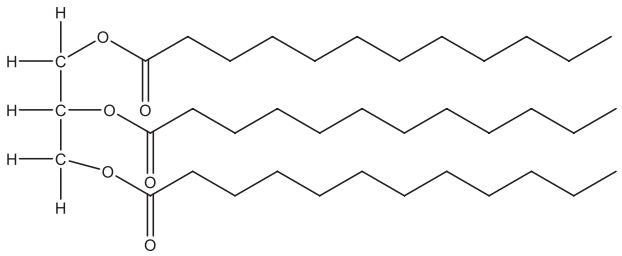
a)



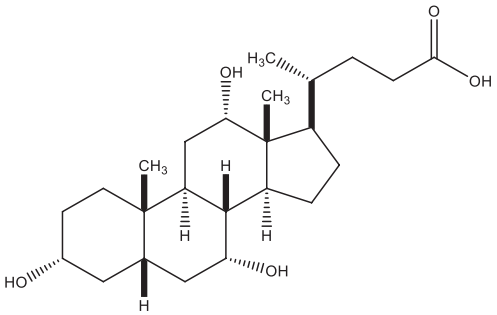
b)



c)



d)





PROTEÍNAS

MÓDULO 3

3.1 Aminoácidos
- 3.1.1 Concepto y esctructura
- 3.1.2 Clasificación de los aminoácidos
- 3.1.3 Enlace peptídico

3.2 Generalidades de las proteínas
- 3.2.1 Concepto
- 3.2.2 Estructuras y desnaturalización
- 3.2.3 Funciones

3.3 Metabolismo y nutrición
- 3.3.1 Digestión y absorción



M 3

Basado en Competencias

Propósito del módulo:

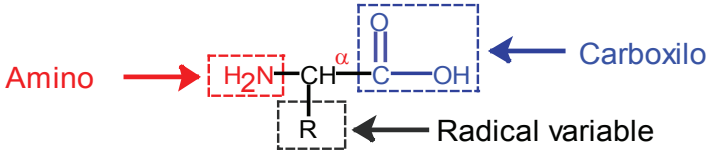
Comprender la estructura, nomenclatura y función de las proteínas en los seres vivos, así como las bases para su estudio en la bioquímica.

3.1 Aminoácidos

3.1.1 Concepto y estructura

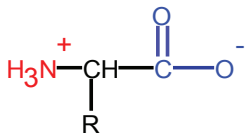
Los aminoácidos son moléculas orgánicas muy importantes para los seres vivos, formadas por dos grupos funcionales orgánicos: un carboxilo y un amino; de esta combinación se deriva su nombre. Su estructura general es:

Figura 1. Estructura del aminoácido.



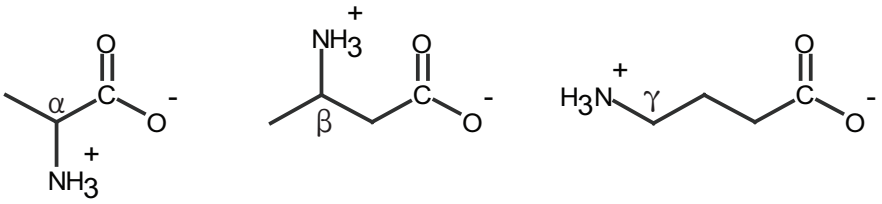
Sin embargo los grupos carboxilos y los grupos amino no coexisten como lo muestra la forma general, ya que uno tiene carácter ácido (grupo carboxilo) y otro carácter básico (grupo amino), esto genera que sea una molécula anfótera, es decir, se puede comportar como ácido o como base según sean las circunstancias en las que se presente y reaccionan cuando el ácido transfiere un protón a la base para formar un ion dipolo, es decir, cuando un catión y un anión pertenecen a la misma molécula.

Figura 2. Transferencia de protón en el aminoácido.



Por la posición del grupo amino en la cadena carbonada, se clasifican en α, β y γ aminoácidos.

Figura 3. Clasificación de los aminoácidos.



α-aminoácido β-aminoácido γ-aminoácido

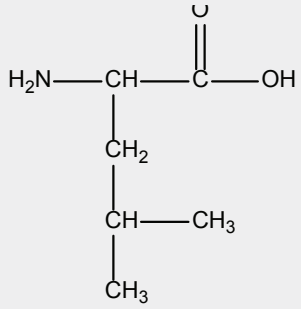
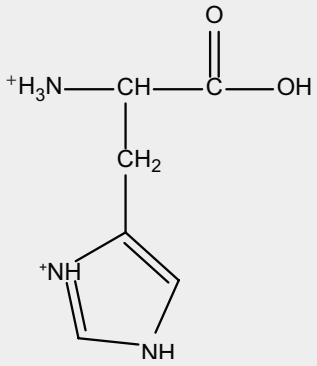
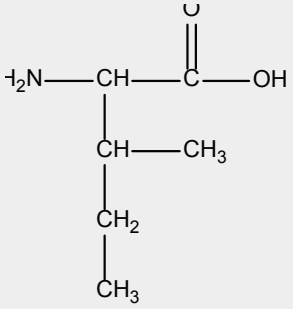
De estos tres, el más importante es el α–aminoácido por pertenecer la familia de los 20 aminoácidos que conforman las proteínas, los cuales, a su vez, se han clasificado en esenciales y no esenciales.

Los aminoácidos **esenciales** se obtienen directamente de los alimentos que se consumen en forma de proteínas que los contienen. El organismo descompone dichas proteínas para separar los aminoácidos.

Los aminoácidos **no esenciales** son fabricados por nuestro cuerpo a partir de otras fuentes.

Ambos tipos de aminoácidos son responsables del crecimiento, la reparación y el mantenimiento de todas las células, y en forma de proteínas, constituyen la mayor parte del peso de nuestro cuerpo después del agua.

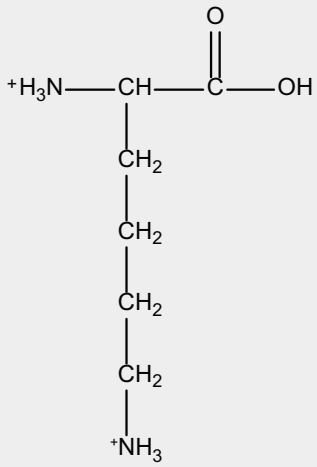
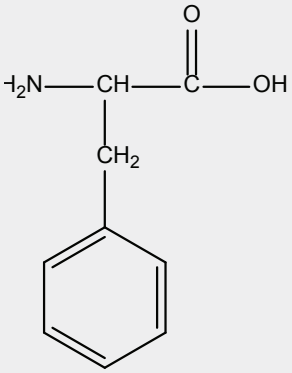
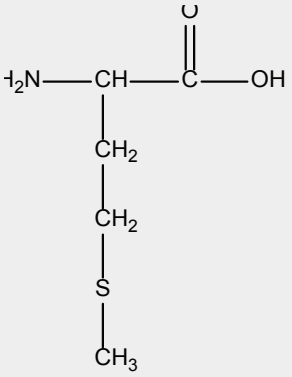
Tabla 1. Aminoácidos esenciales y no esenciales.

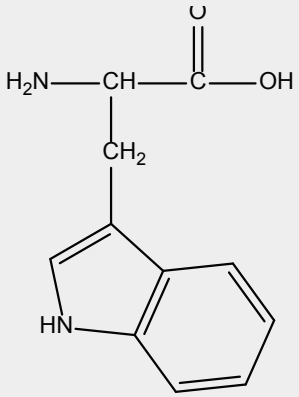
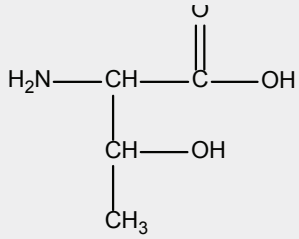
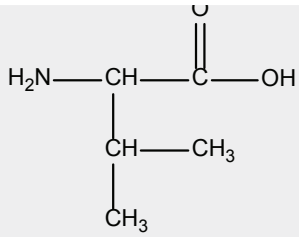
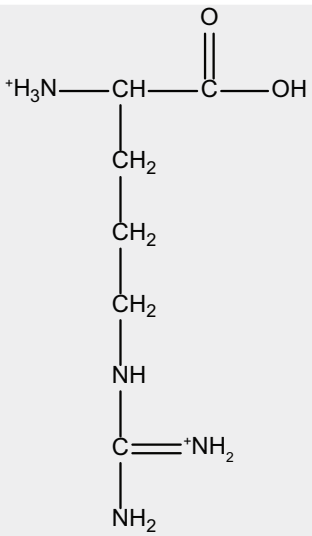
Animoácidos Esenciales			
Nombre	**Se abrevia**	**Fórmula**	**Polaridad de los grupos R**
Leucina	Leu		No polar hidrófobo
Histidina	His		Carga positiva
Isoleuicina	Ile		No polar hidrófobo



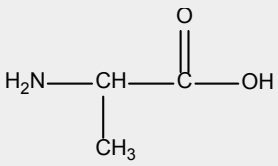
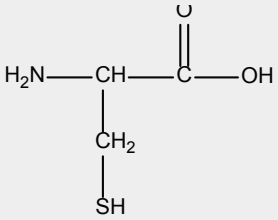
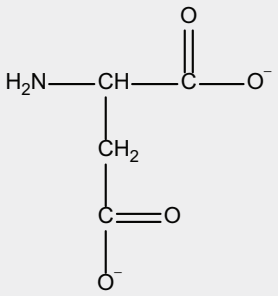
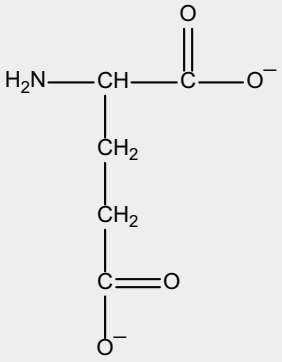
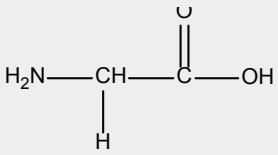
M 3

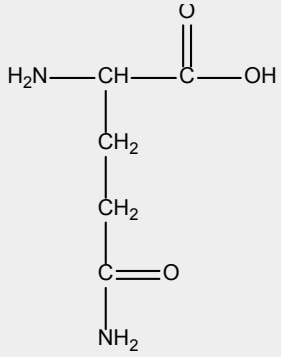
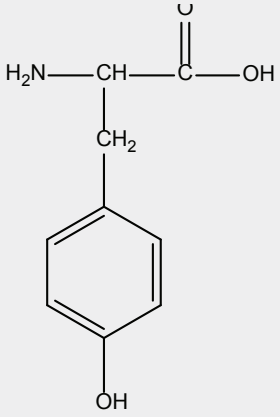
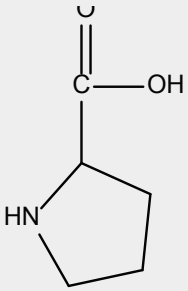
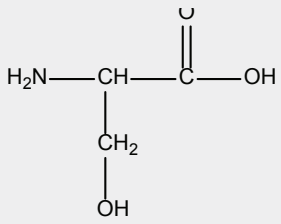
Basado en Competencias

Animoácidos Esenciales			
Nombre	**Se abrevia**	**Fórmula**	**Polaridad de los grupos R**
Lisina	Lys		Carga positiva
Fenilalanina	Phe		No polar hidrófobo
Metionina	Met		No polar hidrófobo

Animoácidos Esenciales			
Nombre	**Se abrevia**	**Fórmula**	**Polaridad de los grupos R**
Triptófano	Trp		No polar hidrófobo
Treonina	Thr		Polar sin carga
Valina	Val		No polar hidrófobo
Arginina	Arg		Carga positiva



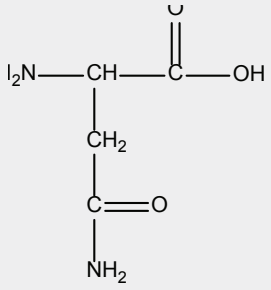
Aminoácidos No Esenciales			
Nombre	**Se Abrevia**	**Formula**	**Polaridad de los Grupos R**
Alanina	Ala		No polar hidrófobo
Cisteína	Cys		Polar sin carga
Ácido Aspártico	Asp		Carga negativa
Ácido Glutámico	Glu		Carga negativa
Glicina	Gly		Polar sin carga

Aminoácidos No Esenciales			
Nombre	**Se Abrevia**	**Formula**	**Polaridad de los Grupos R**
Glutamina	Glu		Polar sin carga
Tirosina	Tyr		Polar sin carga
Prolina	Pro		No polar hidrófobo
Serina	Ser		Polar sin carga



M 3

Basado en Competencias

Aminoácidos No Esenciales			
Nombre	**Se Abrevia**	**Formula**	**Polaridad de los Grupos R**
Asparagina	Asn		Polar sin carga

Toda esta serie de α-aminoácidos tiene un carbono quiral o asimétrico, formando parte de la serie L (Levógiro) lo cual significa que tiene orientado el grupo amino a la izquierda del carbono quiral; y en el grupo D (Dextrógiro) el grupo amino está orientado hacia la derecha del carbono quiral. Por ser un carbono quiral se debe tener presente el poder giratorio de la luz, sin embargo este giro no tiene nada que ver con la posición del grupo amino; por ejemplo, el aminoácido L (+) ácido glutámico, es dextrógiro con un poder rotatorio específico de 12,00 y pertenece a la serie L, sin embargo, la L (-) Leucina pertenece a la serie L y tiene un poder rotatorio específico de – 11,00 es decir es levógiro.

La quiralidad surge principalmente como consecuencia de que los átomos de carbono presentan una hibridación sp^3. Una de las causas más comunes de la quiralidad es la presencia de un átomo de carbono unido a cuatro grupos diferentes, con excepción de la Glicina que es aquiral por tener solo dos grupos diferentes en su fórmula.

3.1.2 Clasificación de los aminoácidos

Los aminoácidos se diferencian por la estructura de las cadenas laterales distintivas llamadas grupo R, sobre las cuales se establece una clasificación de aminoácidos según su polaridad y/o carga a pH neutro, el tipo de estructura química, su reactividad y los elementos presentes, así como por su capacidad de formar enlaces de hidrógeno.

1) Grupos R no palares hidrófobos

Son ocho los aminoácidos que contienen un grupo R no polar que los hace poco solubles en agua, cinco de los cuales tienen un grupo R de hidrocarburos alifáticos (alalina, valina, leucina, isoleucina y prolina), dos contienen un anillo aromático (fenilalanina y triptófano) y uno posee azufre (metionina).

Nombre	Carácter de la cadena lateral	Grupo reactivo	Polaridad	Forma puentes de H
Alanina	alifática	alcano	apolar	no
Valina	alifática	alcano	apolar	no
Leucina	alifática	alcano	apolar	no
Isoleucina	alifática	alcano	apolar	no
Prolina	alifática	amina cíclica	apolar	no
Fenilalanina	aromática	tolueno	apolar	no
Triptófano	heterocíclo aromático	Nitrógeno aromático	apolar	acepta
Metionina	alifática	tioéter	apolar	acepta

Tabla 2. Aminoácidos que contienen un grupo R no polar.
Fuente: elaboración propia.

2) Grupos R polares sin carga

Los grupos R contienen grupos funcionales polares neutros, o bien sin carga, que pueden establecer enlaces de hidrógeno con el agua, lo que los hace solubles en ella. Aquí se encuentran siete aminoácidos: serina, treonina, tirosina, asparagina, glutamina, cisteína y glicocola (glicina).

Tabla 3. Grupos R polares sin carga..
Fuente: elaboración propia.

Nombre	Carácter de la cadena lateral	Grupo reactivo	Polaridad	Forma puentes de H
Serina	alifática	alcohol primario	polar sin carga	acepta y dona
Treonina	alifática	Alcohol secundario	polar sin carga	acepta y dona
Tirosina	aromática	-OH fenólico	apolar ionizable	acepta y dona
Asparagina	alifática	amida	polar sin carga	acepta y dona
Glutamina	alifática	amida	polar sin carga	acepta y dona
Cisteína	alifática	tiol	polar ionizable	acepta y dona
Glicocola o Glicina	alifática	-	apolar	no

3) Grupos R con carga positiva

Se consideran aminoácidos básicos; sus grupos R poseen carga positiva neta a pH 7 y todos presentan seis átomos de carbono (lisina, arginina y histidina).



Nombre	Carácter de la cadena lateral	Grupo reactivo	Polaridad	Forma puentes de H
Lisina	alifática	amino	polar ionizable	acepta y dona
Arginina	alifática	guanidio	polar ionizable	acepta y dona
Histidina	heterocíclo alifático	imidazol	polar ionizable	acepta y dona

Tabla 4. Grupos R con carga positiva.
Fuente: elaboración propia.

4) Grupos R cargados negativamente

Se consideran aminoácidos ácidos por poseer un segundo grupo carboxilo totalmente ionizado con carga negativa (ácido aspártico y ácido glutámico).

Nombre	Carácter de la cadena lateral	Grupo reactivo	Polaridad	Forma puentes de H
Ácido aspártico	alifática	ácido carboxílico	polar ionizable	acepta y dona
Ácido glutámico	alifática	ácido carboxílico	polar ionizable	acepta y dona

Tabla 5. Grupos R cargados negativamente.
Fuente: elaboración propia.

3.1.3 Enlace peptídico

Los aminoácidos son compuestos orgánicos que contienen las funciones ácido carboxílico y amino. Dos aminoácidos se pueden unir en condiciones adecuadas a través de un enlace amida, lo cual forma un dipéptido, y que es llamado enlace peptídico.

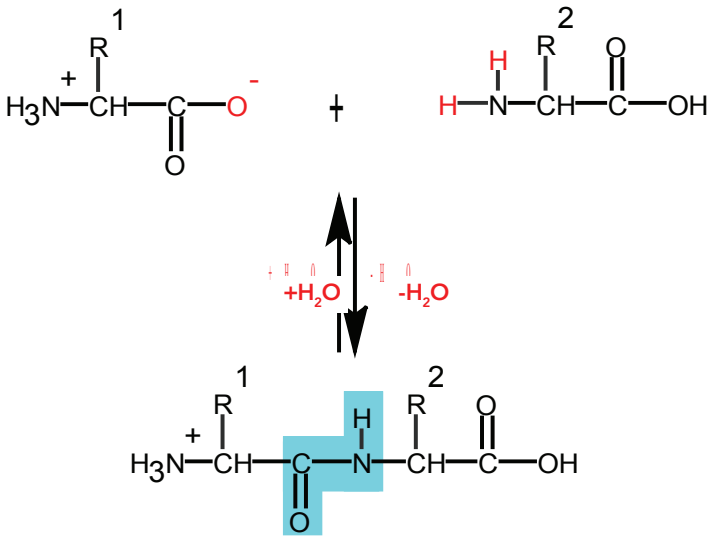


Figura 4. Enlace peptídico.

3.2 Generalidades de las proteínas

3.2.1 Concepto

Uno de los componentes fundamentales de los seres vivos son las proteínas, las cuales son consideradas la tercera clase de alimentos. Ninguna parte del cuerpo humano o de cualquier célula viva carece de proteína; incluso los microorganismos como las bacterias contienen proteínas. La palabra proteína proviene del vocablo francés *protéine* y éste del griego πρωτεῖος (*protop*), que significa lo primero, lo principal o lo más importante.

Las proteínas son biopolímeros de alrededor de 20 aminoácidos distintos, (Tabla 1) unidos entre sí por enlaces peptídicos, los cuales forman estructuras muy complejas que contienen principalmente carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno. Casi todas incluyen azufre, pero algunas de ellas poseen elementos adicionales como el fósforo, hierro, zinc y cobre.

Las uniones peptídicas entre los aminoácidos dan origen a macromoléculas protéicas. La cantidad de aminoácidos marca varias categorías: si tenemos menos de 10 aminoácidos unidos, se forma un péptido, pero si el número de aminoácidos es mayor a 10, se trata de un oligopéptido. Si supera los 50 aminoácidos, será un polipéptido, y si el número de aminoácidos es mayor de 100, se habla de una proteína. Podemos observar que no son polímeros al azar de longitud indefinida, sino que cada cadena posee una composición química específica, un peso molecular mayor a 5000 Daltons, una secuencia ordenada de sus aminoácidos estructurales y una forma tridimensional.

De acuerdo con su composición, las proteínas pueden ser simples o conjugadas. Las holoproteínas o **proteínas simples** son aquellas que por hidrólisis producen solamente aminoácidos, sin ningún otro producto principal, orgánico o inorgánico. Su composición porcentual es de 50% carbono, 23% oxígeno, 7% hidrógeno, 16% nitrógeno, y de 0 a 3% de azufre. Se pueden clasificar en globulares y fibrosas.

a) Proteínas **fibrosas,** representadas por cadenas polipeptídicas, ordenadas de modo paralelo a lo largo de un eje, que forman fibras o láminas largas. Son muy resistentes e insolubles en agua o en soluciones salinas, y se encuentran principalmente en el tejido conjuntivo, en los tendones y la matriz de los huesos (colágeno), así como en el cabello, cuerno, cuero, uñas, plumas (α–queratina), etc.

b) Proteínas **globulares,** cadenas polipeptídicas plegadas estrechamente y que adoptan formas esféricas o globulares compactas. Son solubles en sistemas acuosos y tienen una función móvil o dinámica en la célula, como la de la seroalbúmina y la hemoglobina.

La hidrolisis es un proceso químico donde, a través de la adición de ácidos, se rompen las estructuras protéicas para obtener los aminoácidos que la forman.



Las heteroproteínas o **proteínas conjugadas** son aquellas que, por medio de hidrolisis, no sólo producen aminoácidos, sino también otros componentes orgánicos e inorgánicos. Esta porción no aminoácida se conoce como grupo prostético. La naturaleza química de este grupo permite que las proteínas conjugadas se clasifiquen en:

1. **Nucleoproteínas:** están asociadas estructuralmente a los ácidos nucleicos como el ADN y RNA, por ejemplo, las histonas, que son identificables en las hebras de cromatina, la telomerasa, la ribonucleoproteína (complejo de ARN/proteína) y la protamina.
2. **Lipoproteínas:** son lípidos apolares, como el colesterol esterificado, y triglicéridos en su capa interna, aunque su capa externa polar está formada por fosfolípidos. Su función principal es el transporte de triglicéridos, colesterol y otros lípidos entre los tejidos por medio de la sangre. Estas proteínas son clasificadas según su densidad, la cual puede ser alta o baja.
3. **Fosfoproteínas:** se encuentran unidas covalentemente a una sustancia que contiene un grupo fosfato. Están compuestas de proteínas y lípidos. Su principal función es estabilizar las moléculas de lípidos y sirven como detergente, así como para identificar el tipo de lipoproteína presente.
4. **Metaloproteínas:** son proteínas que contienen un ion metálico como cofactor. Son las más abundantes y pueden llevar a cabo varias funciones, principalmente la de enzimas. Entre ellas se encuentra la globulina.
5. **Glucoproteínas:** son moléculas formadas por una fracción glucídica (de 5 a 40%) y una fracción protéica, ambas unidas por enlaces covalentes. Entre ellas se encuentran la ribonucleasa, las mucoproteínas, los anticuerpos y la hormona luteinizante.

3.2.2 Estructuras y desnaturalización

Las proteínas presentan diferentes estructuras debido a la agrupación de la cadena de aminoácidos que las forman. Se clasifican en:

Estructura primaria: secuencia de aminoácidos que caracteriza a la proteína en su función; generalmente es lineal y tiene una posición conocida de los aminoácidos.

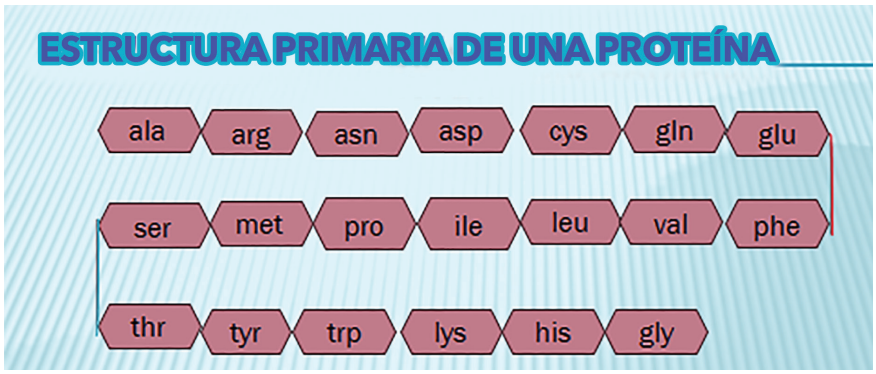


Figura 5. Estructura primaria de una proteína.

Estructura secundaria: disposición de la secuencia de aminoácidos en el espacio. A medida que se enlazan durante la síntesis de proteínas, y gracias a la capacidad de giro de sus enlaces, adquieren una disposición espacial estable, en dos tipos de estructuras:

a) Alfa-hélice

Se forma al enrollarse helicoidalmente sobre sí misma la estructura primaria, debido a la presencia de enlaces de hidrógeno entre el -C=O de un aminoácido y el -NH- del cuarto aminoácido que le sigue.

b) Conformación beta

Los aminoácidos no forman una hélice, sino una cadena en forma de zigzag denominada disposición en lámina plegada, por ejemplo, la queratina de la seda o fibroína.

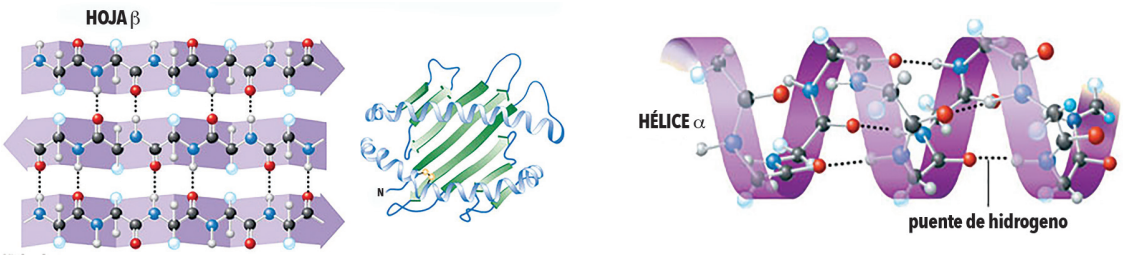
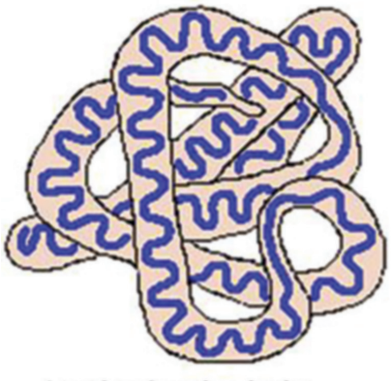


Figura 6. Tipos de estructuras secundarias

Estructura terciaria: se crea por la disposición de la estructura secundaria de un polipéptido al plegarse sobre sí misma, lo que origina una conformación globular. La estructura primaria determina cuál será la secundaria y, por tanto, la terciaria. Esta conformación globular se mantiene estable gracias a la presencia de varios tipos de enlaces entre los radicales "R" de los aminoácidos.

1. Puente disulfuro entre los radicales de aminoácidos que tienen azufre.
2. Puentes de hidrógeno.
3. Puentes eléctricos.
4. Interacciones hidrófobas.



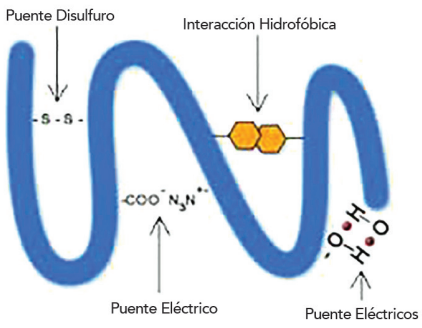


Figura 7. Estructura terciaria.



Estructura cuaternaria: muestra la unión de varias cadenas polipeptídicas con la estructura terciaria, que forman un complejo proteico que recibe el nombre de protómero.

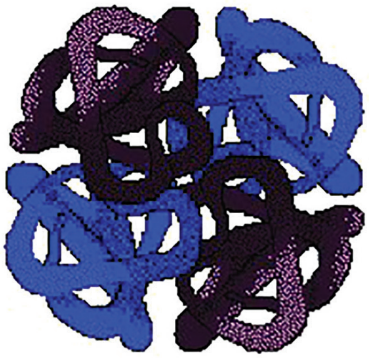


Figura 8. Estructura cuaternaria.

Desnaturalización de las proteínas

Las cuatro estructuras de las proteínas ya analizadas se denominan nativas cuando no han sufrido ningún cambio. La **desnaturalización** de la proteína ocurre cuando se pierden las estructuras tridimensionales nativas consideradas de orden superior, por no incluir a la estructura primaria, ya que lo que ocurre es un desdoblamiento de la proteína, con lo cual la cadena polipeptídica queda reducida a un polímero estadístico sin ninguna estructura tridimensional. La desestabilización de la proteína es tal que se observa una precipitación.

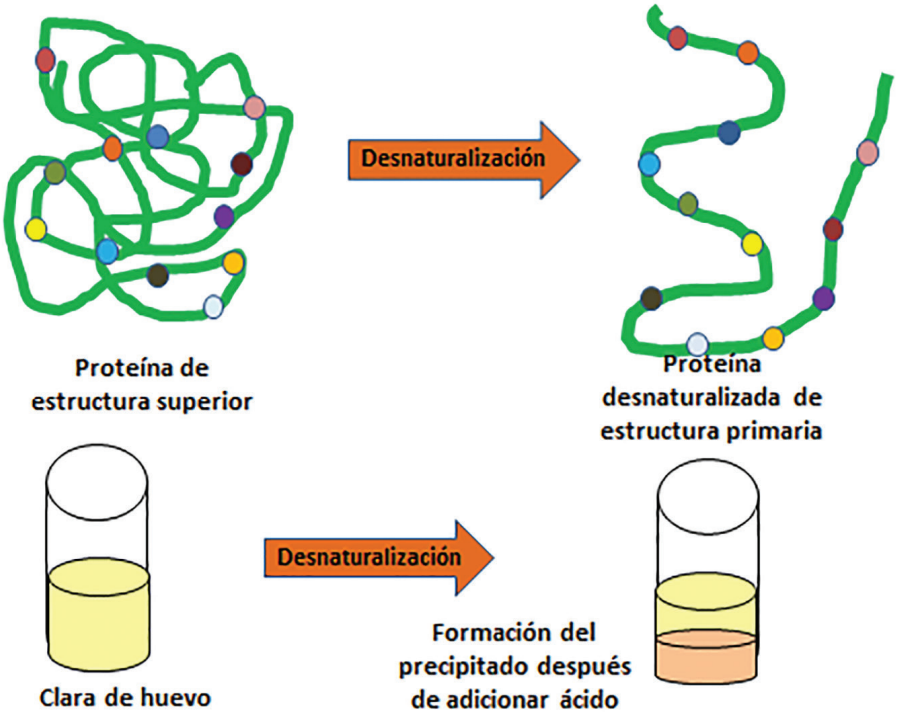


Figura 9.
Desnaturalización de las proteínas.

Cualquier proteína de estructura nativa superior y una desnaturalizada sólo tienen en común la estructura primaria, es decir, la secuencia de aminoácidos

que la componen. Lo otros niveles de organización desaparecen en la estructura desnaturalizada, como lo muestra la figura 9.

Sin embargo, las proteínas tienen la propiedad de **renaturalizarse,** o sea, recuperar su estructura original una vez que fue desnaturalizada. Esta propiedad es de gran utilidad durante los procesos de aislamiento y purificación de proteínas, pero no todas ellas reaccionan de igual forma ante un cambio en el medio donde se encuentran disueltas. En algunos casos, la desnaturalización conduce a la pérdida total de la solubilidad, con lo que la proteína precipita. La formación de agregados fuertemente hidrofóbicos impide su renaturalización y hace que el proceso sea irreversible.

La desnaturalización de una proteína puede ocasionar:

- Privación de las propiedades biológicas.
- Cambios en sus propiedades hidrodinámicas, como el aumento de su viscosidad y la disminución de su coeficiente de difusión.
- Reducción de su solubilidad debido a que los residuos hidrofóbicos del interior aparecen en la superficie.

Para que ocurra una desnaturalización de las proteínas, debe estar presente un agente desnaturalizante que, de acuerdo con su naturaleza, pueden ser de tipo físico, como el calor o la temperatura, o de tipo químico, como los disolventes orgánicos, el pH, las fuerzas iónicas, los detergentes o la urea.

3.2.3 Funciones

Las proteínas presentan funciones muy específicas que son determinadas por su estructura y composición, lo que le permite a la célula mantener su forma e integridad en todos sus procesos celulares. En la siguiente tabla se analizan ocho funciones de las proteínas:

Tabla 6. Funciones de las proteínas. **Fuente:** elaboración propia.

Función	Ejemplos	Acción
Estructural Confieren elasticidad y resistencia a órganos y tejidos.	Colágeno	Forma tendones, huesos, cartílago, piel.
	Elastina	Conectivo elástico entre células
	Queratina	Forma piel y derivados como pelo, uñas, plumas.
	Mucoproteínas	Mucosidades, líquido sinovial.
Reserva Son la reserva de aminoácidos para el desarrollo del embrión.	Ovoalbumina	Almacén de aminoácidos.
	Gluteina	Crecimiento de las semillas.
	Ferritina	Almacena hierro en el bazo.



Función	Ejemplos	Acción
Transporte	Hemoglobina	Transporta oxígeno en vertebrados.
	Hemocianina	Transporta oxígeno en invertebrados.
	Mioglobina	Transporta oxígeno en los músculos.
	Lipoproteínas	Transporta lípidos en la sangre.
Defensiva	Inmunoglobulinas	Defensa inmunológica.
	Fibrinógeno y trombina	Coagulación de la sangre.
	Mucinas	Tienen efecto germicida y protegen a las mucosas.
Contráctil	Actina y miosina	Contracción muscular en miofibrillas.
	Dineina	Contracción muscular en cilios y flagelos.
	Tubulina	Forma microtúbulos del citoesqueleto.
Enzimática Son las más numerosas y especializadas. Actúan como biocatalizadores de las reacciones químicas del metabolismo celular.	Ácido graso sintasa	Cataliza los ácidos grasos.
	Lactasa	Descompone la lactosa del azúcar encontrada en la leche.
	Pepsina	Es digestiva y trabaja en el estómago para descomponer las proteínas de la comida.
Homeostática Mantienen el equilibrio osmótico y actúan junto con otros sistemas amortiguadores para mantener constante el pH del medio interno.	Fibrinógeno y trombina	Las proteínas funcionan como amortiguadores, manteniendo en diversos medios tanto el pH interno como el equilibrio osmótico.
	Albumina	La albúmina es responsable de ejercer el gradiente de concentración entre la sangre y el líquido extracelular llamada presión coloidosmótica.

3.3 Metabolismo y nutrición

Debido a que las vías metabólicas son necesarias para que todas las células vivas se mantengan y se multipliquen, los objetivos del metabolismo son:

1. Suministrar un conjunto pequeño de moléculas simples que pueden convertirse en un grupo diverso de moléculas grandes (proteínas, ácidos nucleicos).

2. Generar energía (ATP) y poder reductor (NADPH) de nutrientes que pueden ser empleados para la síntesis de moléculas más complejas.

El metabolismo se reconoce como una secuencia de procesos físicos y químicos en las células, tejidos u órganos, necesarios para la vida.

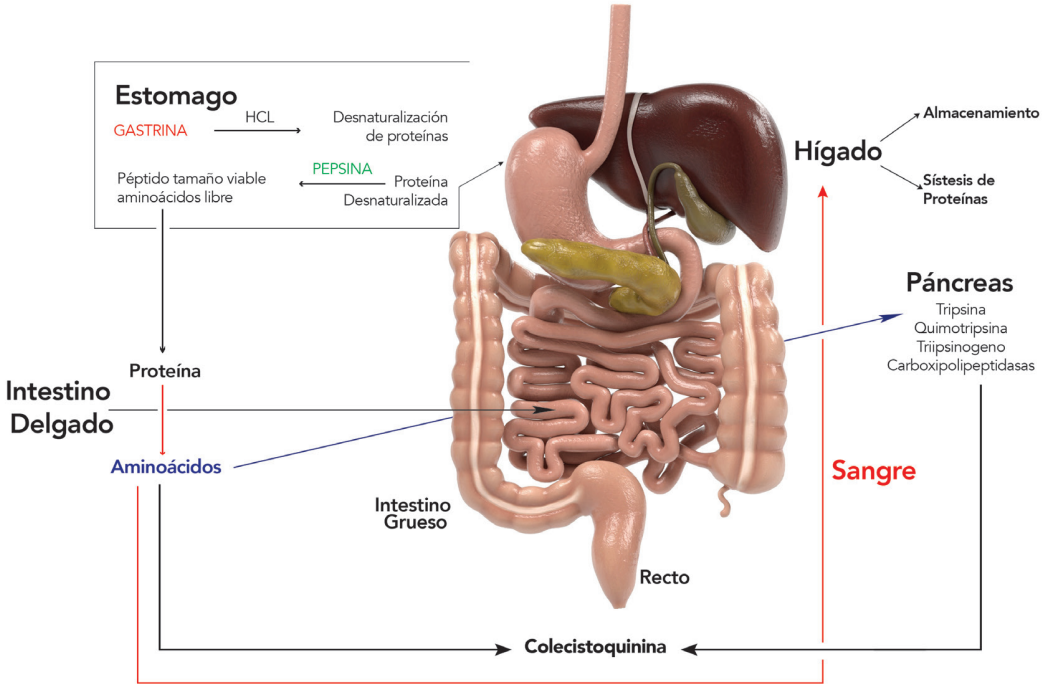


Figura 10.
Metabolismo.

Algunos procesos suponen un catabolismo (destrucción), que es un proceso de degradación de compuestos complejos hasta otros más sencillos; otros, un anabolismo (construcción), el cual es la síntesis de sustancias complejas a partir de otras más sencillas.

Catabolismo proteico

- Cuando la energía que el organismo necesita no es aportada por los hidratos de carbono o las grasas, las proteínas se degradan y generan urea y un resto cetoácido que, al catabolizarse, aporta energía.
- Si el organismo no necesita energía, igualmente se forma la urea, la cual es expulsada por la orina (nitrógeno urinario). También se forman restos cetoácidos que se convierten en grasas y se acumulan en el tejido adiposo.

Anabolismo proteico

- Mantenimiento proteico: todos los días entran proteínas a nuestro organismo y son degradadas en aminoácidos y luego sintetizadas para poder ser utilizadas por el organismo. Unas proteínas son estructurales, las cuales se encargan de mantenimientos corporales, y otras son funcionales.



- Crecimiento: el aporte de proteínas debe ser mayor en momentos de crecimiento (embarazo, desarrollo, etc.).

Las proteínas presentan algunos tipos de reacciones durante su metabolismo y forman parte de éste. Son conocidas como:

1. Reacción de Desaminación Oxidativa: consiste en la separación del grupo amino de los aminoácidos en forma de Amoníaco quedando el cetoácido homólogo al aminoácido desaminado, es una reacción que actuará en sentido degradativo o en sentido biosintético según las necesidades celulares.

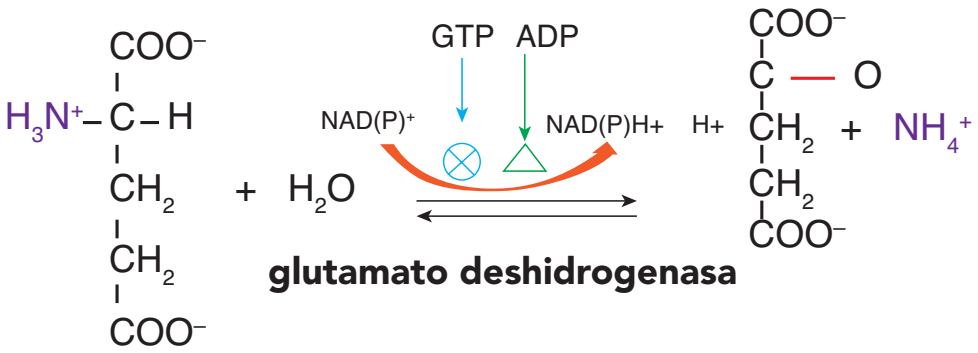


Figura 11. Reacción de oxidativa.

2. Reacción de Transaminación: consiste en la transferencia del grupo amino, de un aminoácido es transferido a un α-cetoácido, formándose un nuevo aminoácido y un nuevo α-cetoácido.

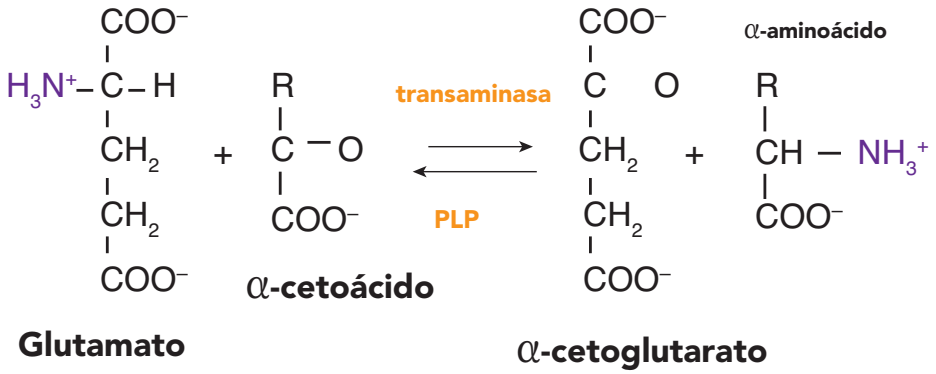


Figura 12. Reacción de transaminación.

3. Reacción de Descarboxilación: Es la separación del grupo carboxilo del aminoácido en forma de CO_2, por efectos del calor, ácidos, bases fuertes o enzimas descarboxilasas.

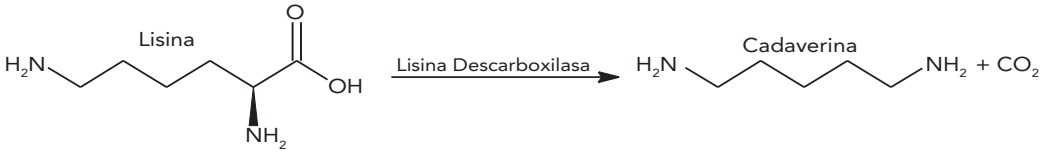
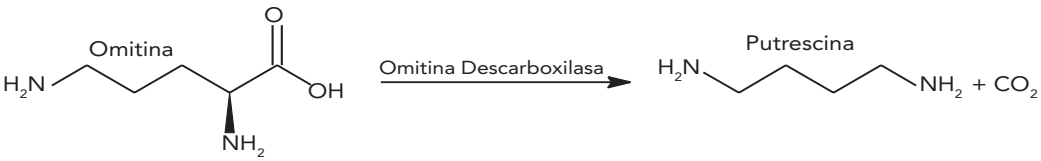


Figura 13. Reacción de descarboxilación.



Las dos primeras rutas anteriores, permiten que los aminoácidos sean catabolizados por la remoción del nitrógeno. En la transaminación los aminoácidos donan su grupo amino al α-cetoglutarato, lo cual ocurre en el ciclo de Krebs formándose un α-cetoácido y glutamato, el coenzima utilizado es principalmente el piridoxal fosfato, sólo la lisina, treonina, prolina e hidroxiprolina no sufren transaminación. La regeneración del α-cetoglutarato se consigue mediante la desaminación oxidativa del glutamato catalizada por la glutamato deshidrogenasa unida al NAD.

Sin embargo el amoniaco resultante de la desaminación de aminoácidos se transforma en urea en el hígado para destoxificarlo, la glutamina es el transportador del exceso de N. En el músculo esquelético existe el ciclo glucosa-alanina para transportar el amoniaco al hígado bajo la forma de alanina.

Por otro lado está la formación de urea que involucra una serie de pasos de la ornitina en arginina. La urea se forma a partir de la arginina. El ciclo de la urea utiliza cinco enzimas: argininosuccinato sintasa, arginasa, arginosuccinato liasa (los tres se encuentran en el citosol), ornitina transcarbamoilasa y carbamoil fosfato sintasa (presentes en la mitocondria). El amonio libre formado en la desaminación oxidativa del glutamato se convierte en carbamoil fosfato, reacción catalizada por la carbamoil fosfato sintetasa I y que requiere dos ATP. El carbamoil fosfato transfiere su grupo amino a la ornitina y forma citrulina. Ésta debe transportarse a través de la membrana mitocondrial al citosol, donde se formará la urea. En cada vuelta del ciclo de la urea se eliminan dos N, uno que se origina de la desaminación oxidativa del glutamato y el otro del aspartato. Como hay una hidrolisis, se necesitan 4 fosfatos de alta energía para formar una molécula de urea. El fumarato es el vínculo entre el ciclo de la urea y el de Krebs.

3.3.1 Digestión y absorción

Digestión

Cuando ingerimos los alimentos estos se mastican en la boca, pero es hasta que llegan al estómago cuando se inicia la digestión y allí actúan sobre ellas la pepsina y el HCl, donde el tripsinógeno, que es un precursor, se transforma en pepsina por acción del ácido clorhídrico gástrico. La pepsina es la enzima que ayuda a degradar las proteínas en péptidos. Estos péptidos pasan al intestino delgado, donde se lleva a cabo la parte de la digestión más importante (en el duodeno), en el que hay proenzimas (tripsinógeno, quimiotripsinógeno, procarboxipeptidasa A y B, procolagenasa y proelastasa) que necesitan ser convertidas en enzimas activas (tripsina, quimiotripsina, carboxipeptidasa, colagenasa y elastasa, las cuales activan la pepsina) para poder actuar sobre



los péptidos. Éstas enzimas pancreáticas actúan sobre los enlaces peptídicos transformando las proteínas en tripéptidos, dipéptidos y tetrapéptidos.

Absorción

Ésta se lleva a cabo en el yeyuno, a través de transportadores de aminoácidos libres, dipéptidos y tripéptidos; estos últimos ingresan al enterocito y son degradados por di y tripeptidasas para después ser enviados al sistema porta. Los únicos aminoácidos que no son enviados al sistema porta son glutamato y aspartato, dirigiéndose hacia el hígado.

Una vez en el hígado, muchos aminoácidos quedan allí depositados un cierto tiempo, pero su destino final será su transporte hacia las células para la reconstrucción tisular (reparación de tejidos). En situaciones extremas, los aminoácidos pueden ser utilizados como fuente de energía.

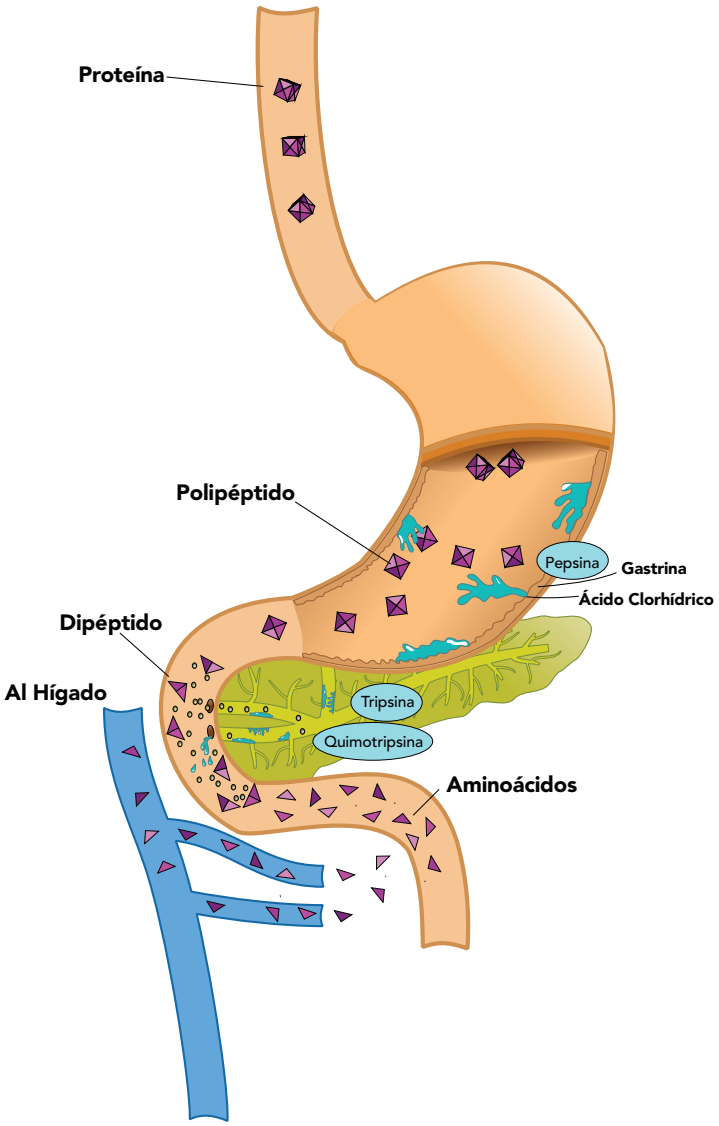


Figura 14.
Absorción de las proteínas.

Evaluación



Evaluación
Módulo 3

Subraya la respuesta correcta.

1. Se considera una proteína hormonal:
   a) Glucagón
   b) Insulina
   c) Mioglobina
   d) Miosina

2. En las proteínas, la secuencia de aminoácidos refleja su estructura:
   a) Primaria
   b) Cuaternaria
   c) Secundaria
   d) Terciaria

3. Biopolímero, en la cual su unidad básica o monómero, puede experimentar hidrólisis, generando aminoácidos:
   a) Proteína
   b) Ácidos Nucleicos
   c) Glucógeno
   d) Almidón

4. Enlace químico que se encarga de unir los aminoácidos para formar un péptido:
   a) Glucosídico
   b) Esteárico
   c) Puente de hidrógeno
   d) Peptídico

5. Para la formación del enlace peptídico, deben reaccionar dos aminoácidos a través de sus radicales. El radical amino (NH_2) de un aminoácido reacciona con el radical_____del otro aminoácido.
   a) Oxidrilo
   b) Hidroxilo
   c) Carboxilo
   d) Metilo

6. No es un aminoácido esencial:
   a) Acido glutámico
   b) Arginina
   c) Histidina
   d) Valina



Evaluación
Módulo 3

7. No es una proteína de tipo fibrosa:
   a) Colágeno
   b) Queratina
   c) Fibroína
   d) Histonas

8. ¿Cuál de los siguientes aminoácidos es No Esencial?:
   a) Triptófano
   b) Histidina
   c) Acido Glutámico
   d) Valina

9. ¿Cuál es la definición de proteínas?
   a) Son polímeros constituidos por la unión, mediante enlaces químicos, de unidades menores denominadas nucleótidos.
   b) Son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por carbono e hidrógeno y, generalmente, también oxígeno en porcentajes más bajos.
   c) Son polímeros formados por la unión, mediante enlaces peptídicos, de unidades de menor masa molecular denominadas aminoácidos.
   d) Ninguna de las citadas anteriormente.

10. ¿Qué tipo de función realiza el colágeno y en qué consiste?
   a) Defensiva: es un anticoagulante de la sangre.
   b) Reserva: es utilizado como nutriente durante el desarrollo embrionario.
   c) Movimiento: es usado durante la contracción muscular.
   d) Estructural: mantiene unidos los tejidos animales y forma tendones y matriz de huesos y cartílagos.

11. ¿Cuál de las siguientes proteínas realiza una función de tipo hormonal que consiste en disminuir el nivel de glucosa en la sangre?
   a) Insulina
   b) Queratina
   c) Dineina
   d) Ovoalbúmina

12. La estructura de un aminoácido está formada por:
   a) Un carbono unido a un hidrógeno, un grupo cetona y un grupo amino
   b) Un carbono unido a un hidrógeno, un radical, un grupo amino y otro grupo carboxilo
   c) Un carbono unido a un radical y un grupo carboxilo
   d) Un único hidrógeno unido a un grupo aldehído



13. Los aminoácidos que poseen más de un grupo amino en su estructura, como la histidina, la arginina o la lisina, pertenecen al grupo de:
    a) Aminoácidos polares ácidos
    b) Aminoácidos apolares o hidrófobos
    c) Aminoácidos polares no ionizables o hidrofílicos
    d) Aminoácidos polares básicos

14. Indica cuántos aminoácidos esenciales poseen los adultos y completa la frase "los aminoácidos esenciales son aquellos que...":
    a) El cuerpo humano puede fabricar con mucha mayor facilidad que los demás; en adultos son 12.
    b) El cuerpo humano no puede fabricar ni sintetizar y debe obtener a través de la ingestión de ciertos alimentos; en adultos son ocho.
    c) Poseen una estructura totalmente diferente a los demás aminoácidos, con diferentes grupos y enlaces, de ahí el nombre de aminoácidos esenciales; en adultos son 15.
    d) Todas las afirmaciones anteriores son falsas. Ningún aminoácido es esencial para el ser humano.

15. El enlace peptídico es una reacción de condensación en la que se produce una amida y una molécula de agua. Dicho enlace se forma cuando reaccionan:
    a) El radical de un aminoácido con el grupo amino de otro
    b) El grupo ácido de un aminoácido con el grupo amino de otro
    c) El radical de un aminoácido con el grupo ácido de otro
    d) El grupo amino de un aminoácido con el grupo amino de otro

16. ¿A qué estructura pertenece una secuencia lineal de aminoácidos?
    a) Secundaria
    b) Terciaria
    c) Primaria
    d) Cuaternaria

17. La estructura secundaria de una proteína es:
    a) La representación tridimensional o disposición de la estructura primaria en el espacio.
    b) La secuencia de aminoácidos que componen la cadena polipeptídica y el orden en que dichos aminoácidos se encuentran.
    c) La disposición espacial de un polipéptido al plegarse sobre sí misma, adoptando una forma espacial y características determinadas.
    d) La unión mediante enlaces débiles (no covalentes) de varias cadenas polipeptídicas con estructura terciaria, idénticas o no, para formar un complejo proteico.



Evaluación
Módulo 3

18. Existe una forma en la estructura terciaria que poseen las proteínas que realizan una función estructural, de protección o ambas, y son insolubles en agua y en disoluciones salinas (beta-queratina y colágeno), dicha forma es:
    a) Fibrosa o filamentosa
    b) Globular
    c) Rectilínea
    d) Ninguna de ellas

19. La cromatina, los ribosomas, las histonas y las protaminas de eucariotas son ejemplos de proteínas pertenecientes a un grupo denominado:
    a) Fosfoproteínas
    b) Glucoproteínas
    c) Lipoproteínas
    d) Nucleoproteínas

20. El concepto de desnaturalización de una proteína quiere decir que:
    a) Las diferencias existentes entre proteínas con la misma función son muchas en especies alejadas evolutivamente.
    b) Se produce la pérdida de todas las estructuras de orden superior (secundaria, terciaria y cuaternaria), tras lo que queda la proteína reducida a un polímero con estructura primaria.
    c) Las proteínas, debido a su gran tamaño, forman disoluciones coloidales al disolverse.
    d) Al ionizarse los radicales R se establecen puentes de hidrógeno con moléculas de agua. La proteína es recubierta por moléculas de agua, impidiendo la unión de otras proteínas, lo que provocaría su precipitación.



ÁCIDOS NUCLEICOS

MÓDULO 4

4.1 Generalidades
- 4.1.1 Antecedentes históricos
- 4.1.2 Nucleótidos

4.2 ADN
- 4.2.1 Estructura
- 4.2.2 Función biológica

4.3 ARN
- 4.3.1 Estructura
- 4.3.2 Tipos y función biológica



Propósito del módulo:

Comprender la estructura y función del ADN y el ARN, así como las bases para su estudio en la bioquímica.

4.1 Generalidades

Una de las características más importantes de los seres vivos es su capacidad de reproducción. Las peculiaridades de cada forma de vida se deben a la información genética que reciben de sus antecesores, la cual debe ser protegida y transmitida a su descendencia. Cada forma de vida almacena esa información genética a través de macromoléculas conocidas como los ácidos nucleicos, los cuales constituyen los últimos peldaños en la jerarquía molecular de los seres vivos.

Esa información esencial tiene instrucciones específicas codificadas por el encadenamiento de los nucleótidos que los constituyen. De su composición química depende la secuencia de aminoácidos de las proteínas que se construirán en un organismo, por lo que son responsables de la totalidad de la síntesis y el control de los procesos celulares. Asimismo, la capacidad del ácido desoxirribonucleico para replicarse permite que se obtengan copias exactas del código genético, que serán transferidas a las células descendientes, lo cual resulta esencial para la perpetuación de la vida.

Los ácidos nucleicos son macromoléculas presentes en las células de los seres vivos; existen dos tipos:

a) ADN (ácido desoxirribonucleico).

b) ARN (ácido ribonucleico).

Por su función en el almacenamiento de la información genética, el ADN podría ser considerado como la biomolécula de mayor importancia para los sistemas biológicos. Sin embargo, ésta constituye sólo una parte de la arquitectura básica de la vida. Otras macromoléculas, como los ácidos ribonucleicos (ARN) y las proteínas tienen un papel fundamental. La interrelación entre estos tres tipos de macromoléculas constituye el Dogma central de la biología molecular.

4.1.1 Antecedentes históricos

Los ácidos nucleicos fueron descubiertos en 1868 por F. Miescher, hacia finales del siglo XIX, y eran considerados constituyentes normales de todas las células vivas. Dos descubrimientos fueron particularmente revolucionarios:

- El primero, logrado por Avery, McLeod y McCarty, quienes identificaron a al ADN como único portador de la información genética, conclusión basada en la propiedad del ADN purificado para transfigurar a una bacteria de una forma a otra.

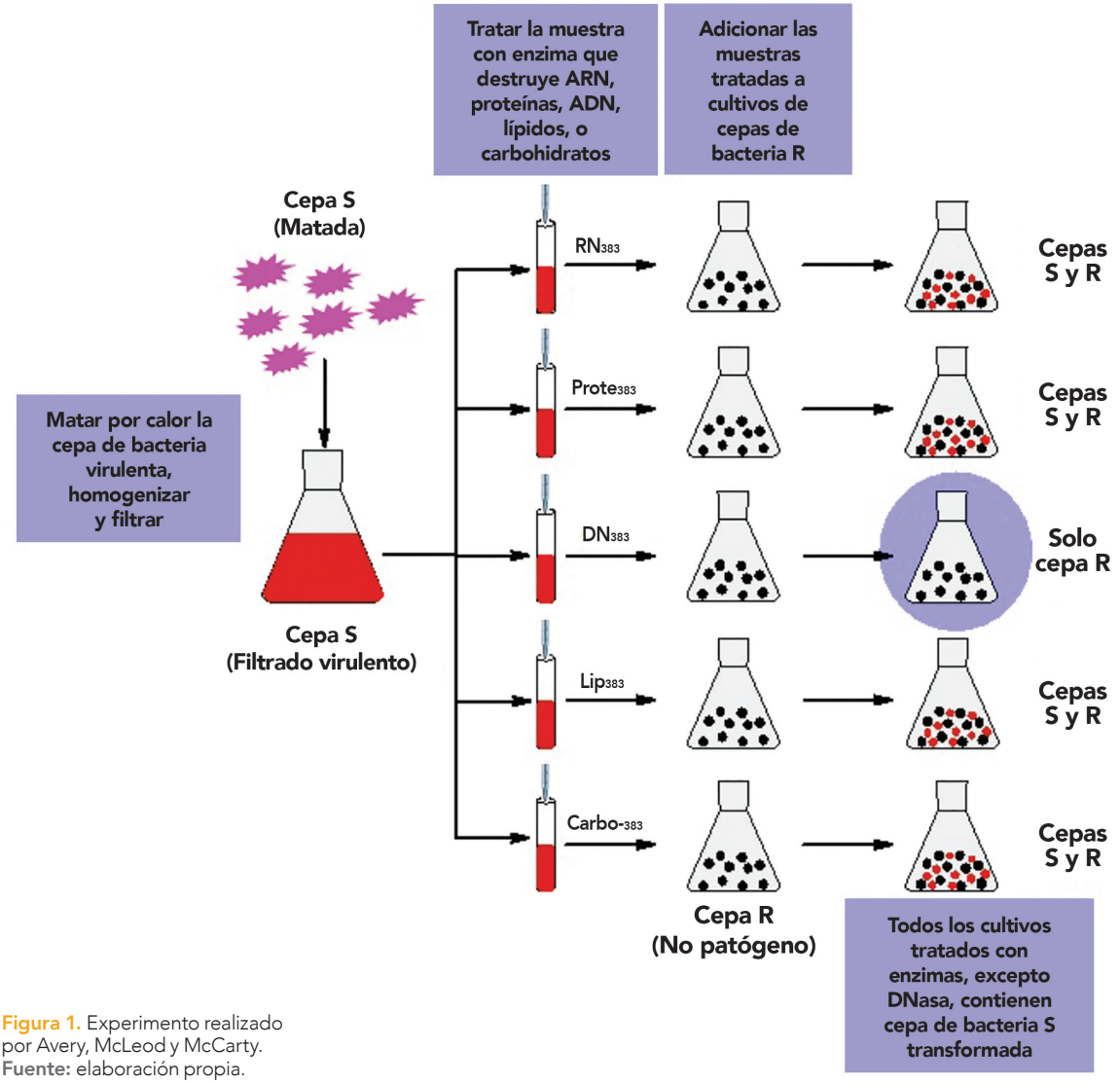


Figura 1. Experimento realizado por Avery, McLeod y McCarty.
Fuente: elaboración propia.

- El segundo fue la determinación de la estructura molecular del ADN por Watson y Crick en 1953.

A comienzos de la década de 1950, el biólogo estadounidense James Watson y el físico inglés Francis H. Crick comenzaron a estudiar el problema de la estructura del ADN. A partir de los resultados de estudios anteriores, se abocaron a construir un modelo de la molécula de ADN acorde con los datos previamente conocidos y que además explicara su papel biológico (Fig. 1).

Para ensayar dónde podía encajar cada pieza en este rompecabezas tridimensional, armaron modelos de las moléculas con alambre y hojalata. Si bien a muchos investigadores les interesaba descubrir la estructura molecular del ADN, Watson y Crick fueron los primeros en lograrlo. En 1962 recibieron el Premio Nobel de Medicina por los descubrimientos concernientes a la estructura molecular de los ácidos nucleicos y su importancia en la transferencia de información en la materia viva.



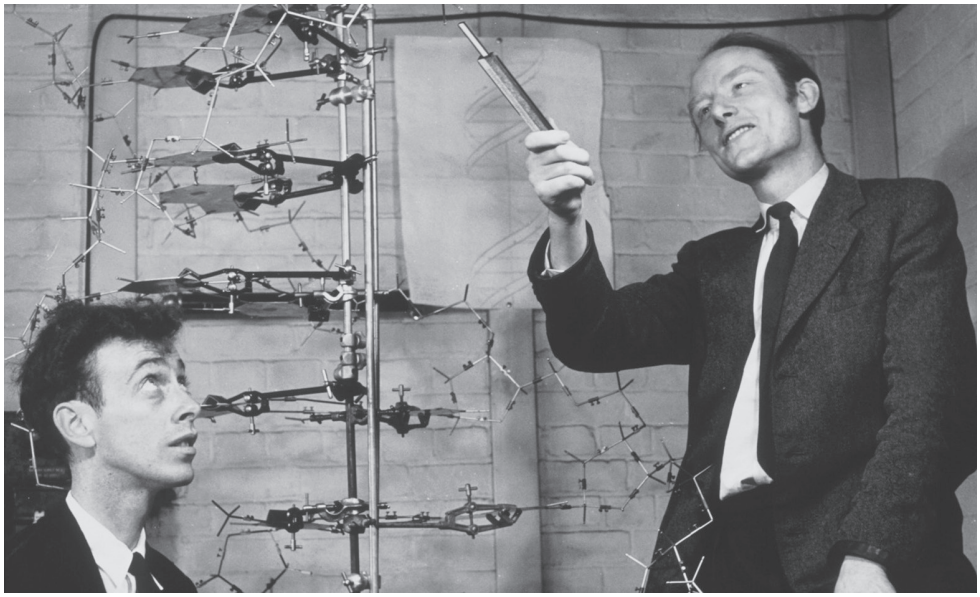


Figura 2. Imagen de la estructura del DNA donde aparecen Watson y Crick.
Fuente: http://esmateria.com/2013/04/25/el-secreto-de-la-vida-cumple-60-anos/

4.1.2 Nucleótidos

Los ácidos nucleicos (ADN y ARN) están formados por unidades monoméricas llamadas nucleótidos, los cuales, a su vez, están conformadas por la unión de tres especies químicas:

a. Una base nitrogenada
b. Una pentosa
c. Un grupo fosfato

Además de ser las unidades monómeras del ADN y ARN, estas estructuras forman parte de diversas moléculas de gran importancia biológica: 5´-trifosfato de adenosina (ATP), 5´-difosfato de adenosina (ADP), dinucleótido fosfato de nicotinamida y adenina (NADP), dinucléotido de nicotinamida y adenina (NAD), dinucleótido de flavina y adenina (FAD) y 5´-trifosfato de guanosina (GTP), los cuales funcionan como mensajeros intracelulares y participan en las reacciones de transformación energética y en la fosforilación.

A. Bases nitrogenadas

Son compuestos orgánicos heterocíclicos que incluyen dos o más átomos de nitrógeno. Existen cinco bases nitrogenadas en los ácidos nucleicos:

1. Adenina
2. Guanina
3. Citosina
4. Timina (presente sólo en el ADN)
5. Uracilo (presente sólo en el ARN)

En la siguiente tabla se muestran las fórmulas estructurales de las bases nitrogenadas:

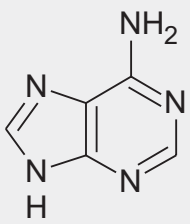
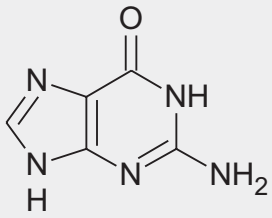
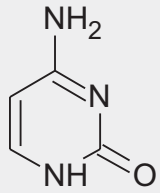
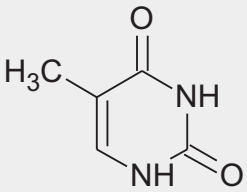
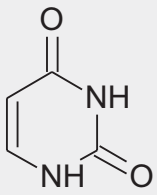
Base	Tipo de base	ADN/ARN
Adenina 	Purina	Ambos
Guanina 	Purina	Ambos
Citosina 	Pirimidina	Ambos
Timina 	Pirimidina	Sólo ADN
Uracilo 	Pirimidina	Sólo ARN

Tabla 1. Bases nitrogenadas.

B. Pentosas

Las pentosas son monosacáridos (carbohidratos) que forman parte fundamental de los nucleótidos. Dependiendo del tipo de ácido nucleico, será la pentosa correspondiente. Dos son las pentosas presentes en los ácidos: la ribosa y la desoxirribosa. Ambas están constituidas por un ciclo de 5 átomos de carbono, con la única diferencia de un grupo OH. Como se observa, el nombre de cada ácido nucleico deriva de la pentosa que forma parte del mismo.

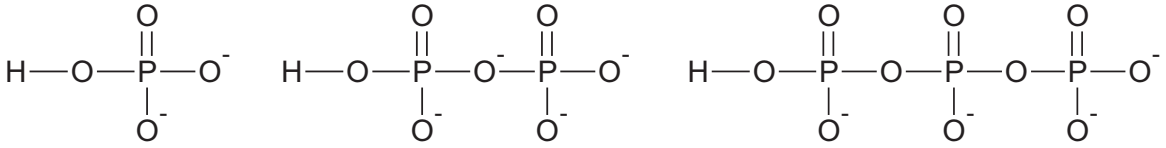


Ribosa Desoxirribosa

Figura 3. Pentosas.

C. Grupo fosfato

El grupo fosfato (PO_4^{3-}) se une a la base nitrogenada mediante un enlace fosfodiéster. Este grupo puede presentarse en forma de monofosfato, difosfato o trifosfato, y debido a éste, un nucleótido adquiere su carácter ácido.

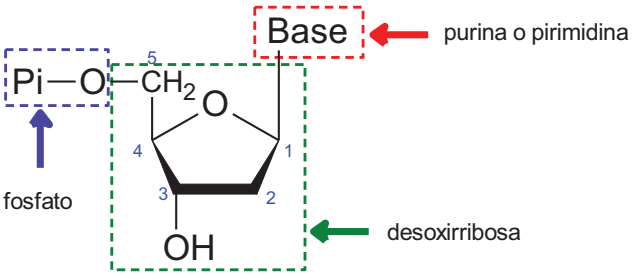


Monofosfato Difosfato Trifosfato

Figura 4. Grupo fosfato.

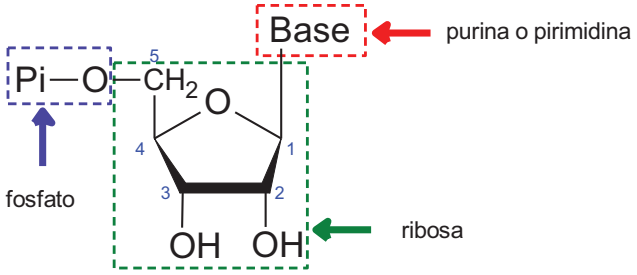
El enlace fosfodiéster con la pentosa se puede establecer en la posición 3´ o en la 5´. Cuando dos o tres grupos fosfato se unen a la pentosa, el nucleótido resultante se denomina di-fosfo o tri-fosfonucleótido, respectivamente.

Un nucleótido se puede representar de la siguiente manera:



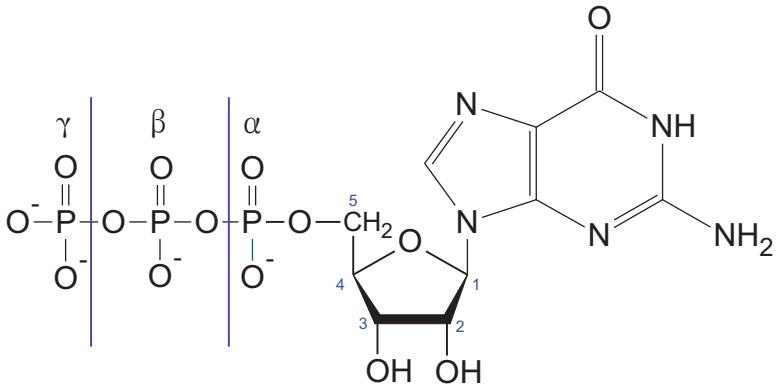
Figuras 5, 6 y 7. Representaciones de los nucleótidos.

Representación de un nucleótido del ADN, donde la Base puede ser: adenina, guanina, citosina, o timina; Pi es fosfato, difosfato o trifosfato.



Representación estructural de un nucleótido del ARN, dónde la Base puede ser: adenina, guanina, citosina, o uracilo; Pi es fosfato, difosfato o trifosfato.

Para ambos casos, el grupo Pi se puede ubicar en la posición 3´o 5´, dependiendo de la naturaleza del nucleótido.

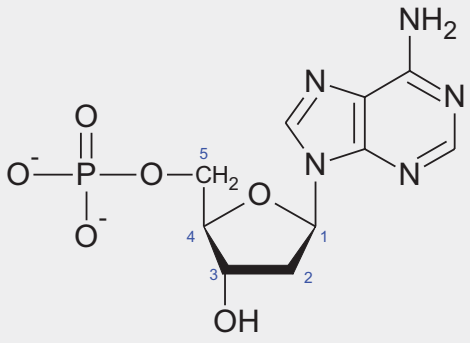
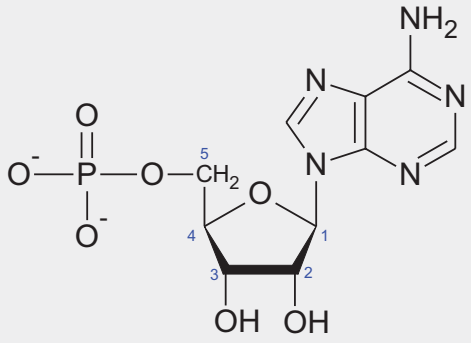


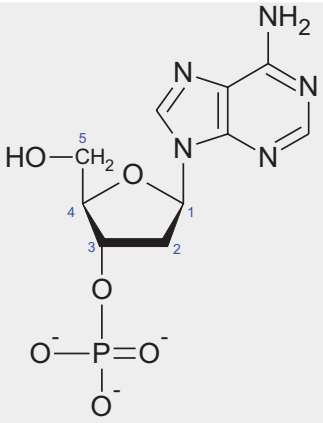
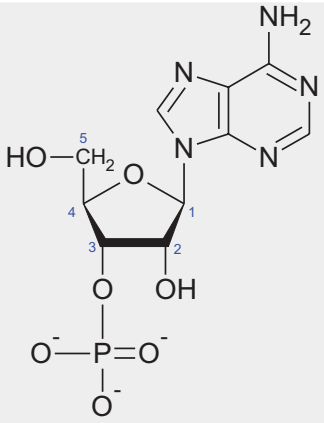
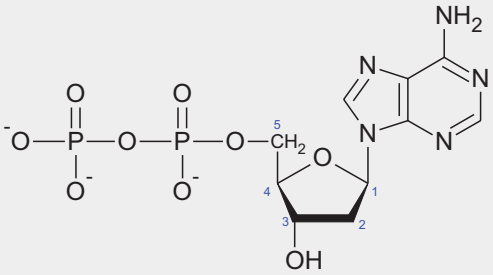
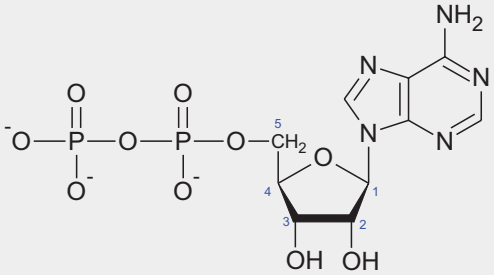
5´trifosfato (purina)

Todos los enlaces alfa (α), beta (β) y gamma (γ) son ricos en energía, la cual se utiliza como fuente para múltiples actividades celulares. Los nucleótidos 5´trifosfatados son los precursores de la síntesis de los ácidos nucleicos.

En la siguiente tabla se muestran ejemplos de nucleótidos para el ADN y ARN, en los cuales la base es adenina y Pi el grupo monofosfato o difosfato.

Tabla 2. Ejemplos de nucleótidos para el ADN y el ARN.

Nucleótidos del ADN	Nucleótidos del ARN
	
5´fosfato-desoxiadenosina o AMP o 5´monofosfato de desoxiadenosina	5´fosfato-adenosina o AMP o 5´monofosfato de adenosina

Nucleótidos del ADN	Nucleótidos del ARN
	
3´fosfato-desoxiadenosina o AMP o 3´monofosfato de desoxiadenosina	3´fosfato-adenosina o AMP o 3´monofosfato de adenosina
	
5´difosfato-desoxiadenosina o ADP o 5´difosfato de desoxiadenosina	5´difosfato-adenosina o ADP o 5´difosfato de adenosina

Los nucleótidos se unen entre sí por medio de enlaces fosfodiéster (Fig. 8) entre los átomos de carbono 5´ y 3´, cuando forman ácidos nucleicos. La secuencia lineal de los nucleótidos en una cadena de ácido nucleico se abrevia con un código de una sola letra, A – G – C – T – T – A – C – A (por ejemplo), con el extremo 5´ de la cadena a la izquierda.

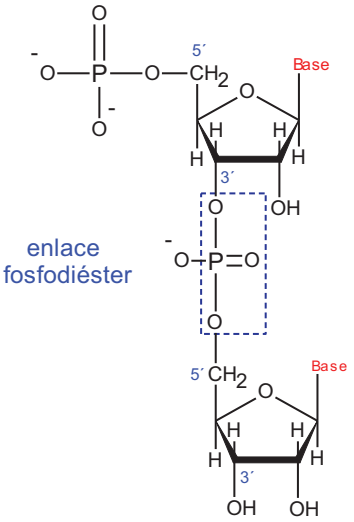


Figura 8. Enlace fosfodiéster.

Enlace fosfodiéster en la unión de dos nucleótidos en un ácido nucleico.

Los nucleótidos, además de formar parte de los ácidos nucleicos, desempeñan otras funciones importantes:

1. Transportan energía química, en sus enlaces fosfoanhídro, altamente ionizables, por ejemplo el ATP.

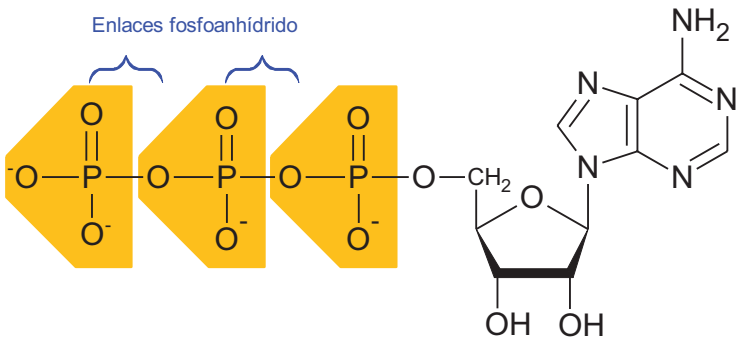


Figura 9. Molécula de ATP.

2. Se combinan con otros grupos para formar coenzimas, por ejemplo: la coenzima A (CoA).

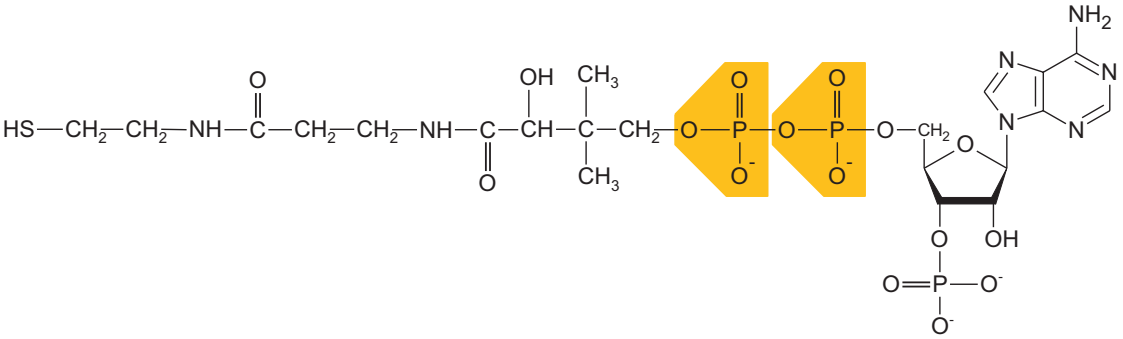


Figura 10. Coenzima A (CoA).

3. Funcionan como moléculas señalizadoras específicas en las células, como el AMP cíclico (cAMP).

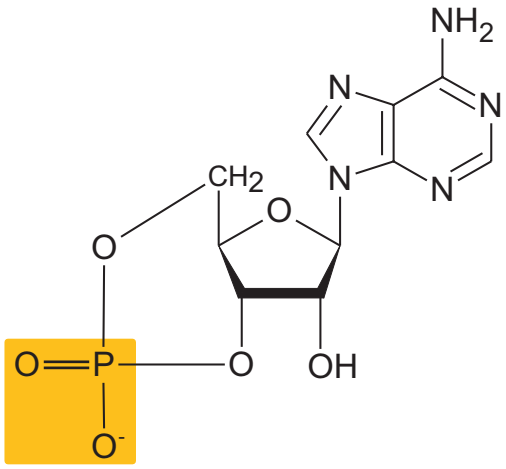


Figura 11. AMP cíclico (cAMP).



4.2 ADN

El ácido desoxirribonucléico, comúnmente abreviado ADN, es un ácido nucleico que contiene instrucciones genéticas usadas en el desarrollo y funcionamiento de todos los organismos vivos conocidos y algunos virus, y es responsable de su transmisión hereditaria.

En el ADN se lleva a cabo el proceso semiconservativo de replicación que consiste en crear una copia exacta de sí mismo con la ayuda de enzimas específicas que poseen un sistema de reparación de errores.

Una molécula de ADN de doble hélice da lugar a otras dos moléculas de ADN con la misma secuencia de bases.

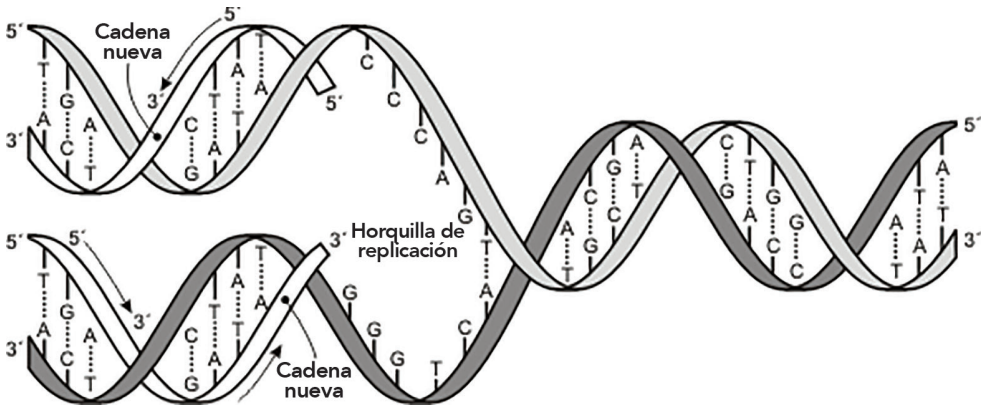


Figura 12. Molécula de ADN.

4.2.1 Estructura

La información genética en el ADN posibilita la síntesis del ARN y éste, a su vez, la síntesis de proteínas que se constituyen como los productos de expresión de la información genética. Estas proteínas pueden tener una función estructural o enzimática. Si tienen una función estructural, formarán parte de alguna de las estructuras de la célula, como la membrana plasmática, la envoltura nuclear, las mitocondrias, etc. Si poseen una función enzimática, las proteínas habrán de catalizar reacciones químicas específicas en las células.

Nucleósidos

Un **nucleósido** es una unidad que consta de una base (A, G, C, T, U) unida a un azúcar (como la ribosa o la desoxirribosa). Los nucleósidos del ARN se denominan: adenosina, guanosina, citidina, y uridina. Para el ADN, se conocen como: desoxiadenosina, desoxiguanosina, desoxicitidina y timidina.

4.2.2 Función biológica

El ADN es el almacén de la información genética, así como la molécula encargada de transmitir a la descendencia las instrucciones necesarias para construir todas

las proteínas presentes en un ser vivo. Para ello, tiene la capacidad de realizar copias de sí mismo mediante el mecanismo de replicación, que se basa en la complementariedad de las bases nitrogenadas de las dos cadenas del ADN.

Existe cierta correspondencia entre la complejidad de un organismo y la cantidad de ADN que contiene; esto es, cuanto más complejo sea, mayor número de proteínas diferentes necesitará. Así, existe una notable diferencia en el contenido del ADN de virus, bacterias, levaduras y seres pluricelulares. Sin embargo, dentro de un mismo grupo, como ocurre en los vertebrados, pueden haber, a su vez, grandes desigualdades en el contenido del ADN, sin que exista una significativa disimilitud en su complejidad. Si comparamos el contenido del ADN en ranas y tritones, se pueden apreciar hasta 100 grados de diferencia.

En las células eucariotas y procariotas, el ADN puede adoptar diversas formas y niveles de complejidad. En las procariotas existe una molécula de ADN circular, es decir, con sus extremos cerrados, que recibe el nombre de cromosoma bacteriano. Además, a veces contiene otras moléculas circulares más pequeñas llamadas plásmidos.

En las células eucariotas, el ADN se encuentra en el interior del núcleo, formando largas moléculas lineales asociadas a las proteínas básicas. Cada molécula de ADN, con sus proteínas asociadas, forma una fibra visible al microscopio electrónico. El conjunto de todas esas fibras constituye la cromatina. Cuando la célula se va a dividir, cada fibra de cromatina se compacta para formar cromosomas. Se calcula que todo el ADN contenido en los 46 cromosomas de una célula humana midan unos 2,36 nm.

Figura 13. ADN.





Una alteración de la secuencia de bases púricas y pirimídicas en un gen debido a un cambio (eliminación o inserción) de una o más bases, puede suscitar un producto de gen alterado. Esa alteración del material genético se conoce como **mutación.**

La información genética en el ADN de un cromosoma puede transmitirse por medio de replicación precisa o se puede intercambiar mediante diversos procesos, como el entrecruzamiento, la recombinación, la transposición y la conversión, los cuales proporcionan un medio para asegurar la adaptabilidad y diversidad para el organismo. No obstante, cuando estos procesos tienen errores, pueden dar por resultado una enfermedad.

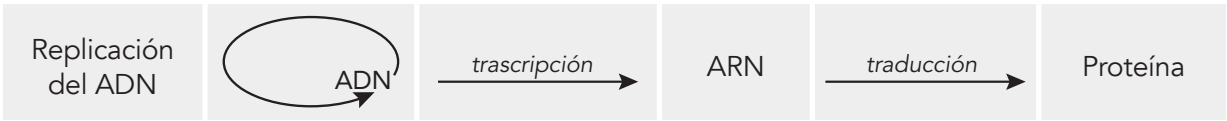
Varios sistemas enzimáticos participan en la replicación, alteración y reparación del ADN. Las mutaciones se deben a un cambio de la secuencia de bases del ADN y, en ocasiones, dependen de defectos de la replicación, del movimiento o de la reparación del ADN, lo cual ocurre con una frecuencia de una en cada 106 divisiones celulares. A veces las anormalidades en productos de un gen (sea en el ARN, la función o la cantidad de proteínas) son el resultado de mutaciones en el ADN codificador o de región reguladora.

Una mutación en una célula germinal se transmite hacia la descendencia (la denominada transmisión vertical de enfermedad hereditaria). Diversos factores, como los virus, las sustancias químicas, la luz ultravioleta y la radiación ionizante, aumentan el índice de mutación. Las mutaciones suelen afectar las células somáticas y de esta manera se transmiten hacia generaciones sucesivas de células, aunque sólo dentro de un organismo (es decir, de modo horizontal). Cada vez es más claro que varias enfermedades –y tal vez casi todos los tipos de cáncer– se deben a los efectos combinados de la transmisión vertical de mutaciones, así como a la transmisión horizontal de mutaciones inducidas.

4.3 ARN

El ácido ribonucleico (ARN) es el ácido nucleico formado por la unión de nucleótidos, cuya pentosa es la ribosa (ribonucleótidos), y en los que las bases nitrogenadas pueden ser la adenina, guanina, citosina y el uracilo.

El ADN (mejor dicho, un segmento de una hebra de ADN) sirve como molde para la síntesis de una molécula de ARN que, en la mayoría de los casos, dirige la síntesis de una proteína específica. En algunos casos, el ARN es el producto final de la expresión genética y así aparece en la célula. El principio del flujo dirigido de información del ADN al ARN y a la proteína se conoce como **Dogma central de la biología molecular,** expresión ideada por Francis Crick después de que el modelo de la doble hélice de ADN fuera propuesto, y se resume de la siguiente manera:



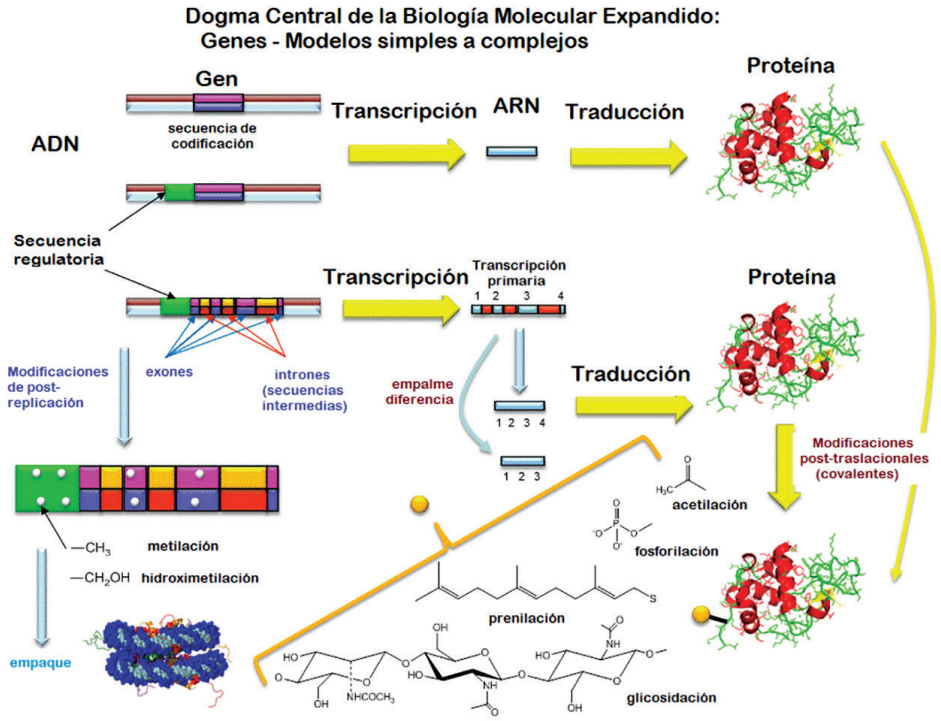


Figura 14. Dogma central de la biología molecular.

Así, el flujo de información genética involucra la replicación del ADN, la transcripción de la información del ADN en forma de ARN y la traducción de esta información del ARN a la proteína. Por lo tanto, el ARN (en sus diversas formas) tiene un papel esencial en los procesos celulares.

4.3.1 Estructura

El ARN está constituido por largas cadenas de ribonucleótidos ensamblados. Estas unidades nucleotídicas consecutivas se encuentran unidas covalentemente mediante enlaces fosfodiéster establecidos entre los grupos 5´-hidroxilo de un nucleótido y el grupo 3´-hidroxilo del siguiente (una configuración similar al ADN, en el sentido 5´-3´). De este modo, el esqueleto del ARN está formado por grupos alternados de fosfato y de ribosa, en los que los enlaces fosfodiéster proveen un encadenamiento covalente. Un aspecto estructural importante radica en que las bases púricas y pirimídicas de los nucleótidos no se encuentran en la estructura del esqueleto, sino que configuran cadenas laterales diferenciadas. Igualmente, los grupos R del resto de aminoácidos representan las cadenas características de los polipéptidos.

Los polinucleótidos de ARN son menos estables que los respectivos del ADN, debido al efecto estérico del oxhidrilo en la posición 2´ de la pentosa. Generalmente las cadenas de ARN tienen menos de unos cuantos miles de nucleótidos de longitud.

Existen diferencias significativas entre el ARN y el ADN, algunas de las cuales se muestran en la siguiente tabla:

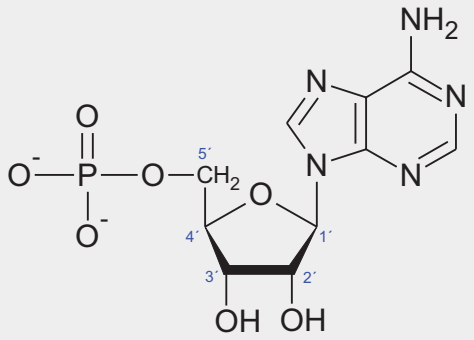
Ácido nucleico	Estructurales	Biológicas
ADN	Forma dos cadenas polinucleotídicas en espiral (doble hélice). Contiene desoxirribosa. Contiene timina.	Contiene la información genética (mantiene la herencia). Opera en el núcleo y mitocondría.
ARN	Es monocatenario, excepto el ARN bicatenario de los reovirus. Contiene ribosa. Contiene uracilo.	Su principal función es la síntesis protéica (expresa la herencia). Opera en el núcleo y citoplasma.

Tabla 3. Diferencias significativas entre el ARN y el ADN.

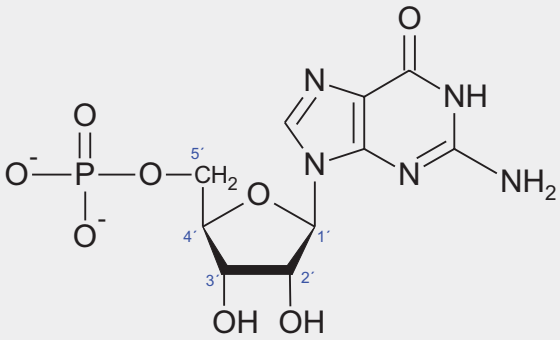
Los cuatro nucleótidos que sirven como unidad monomérica para estructurar el ARN son:

- Adenosina 5´-monofosfato
- Citidina 5´-monofosfato
- Guanosina 5´-monofosfato
- Uridina 5´-monofosfato

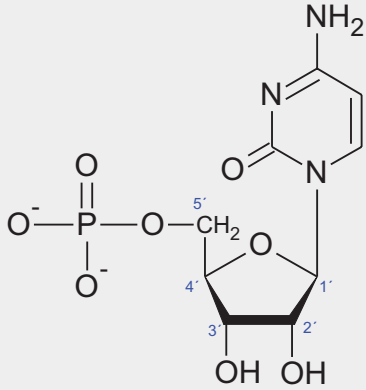
Tabla 4. Nucleótidos del ARN.



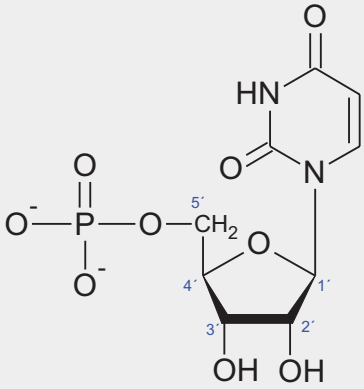
Adenosina 5´-monofosfato



Guanosina 5´-monofosfato



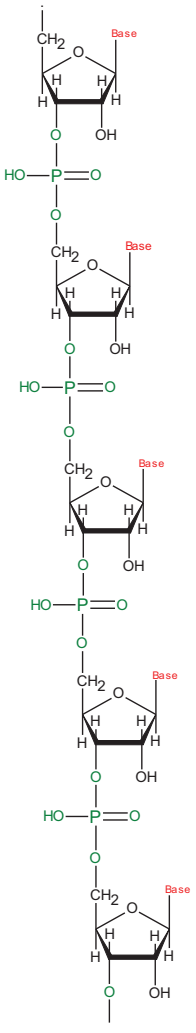
Citidina 5´-monofosfato



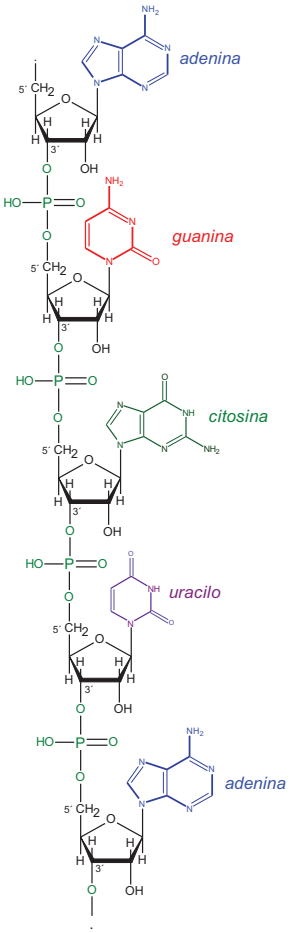
Uridina 5´-monofosfato

Como veremos más adelante, el ARN que se traduce a proteína se denomina ARN mensajero (ARNm), porque lleva el mensaje desde el ADN, hasta los ribosomas, donde realmente tiene lugar la síntesis de proteínas. Además del ARNm, hay otros dos tipos de ARN implicados en la síntesis de proteínas: las moléculas de ARN ribosómico (ARNr), que forman parte del ribosoma, y las moléculas de ARN de transferencia (ARNt), que transcriben la base codificada en el ARNm y llevan el aminoácido adecuado al ribosoma. Por sí mismos, el ARN ribosómico y el de transferencia no codifican proteínas; así, los genes que los codifican son ejemplos de genes cuyos productos finales son moléculas de ARN en lugar de proteínas.

Los avances en la biología molecular han permitido determinar que muchos virus con genomas de ARN sintetizan moléculas de ARN utilizando también ARN como molde. Otros virus de ARN, tal como el VIH, efectúan un proceso de transcripción inversa, donde su propio ARN se utiliza como molde para la síntesis de ADN, lo cual representa el flujo de información genética "a la inversa".



Estructura del esqueleto covalente de las cadenas del ácido ribonucleico (donde la base es adenina, citosina, guanina o uracilo).



Estructura primaria del ARN.

Figura 15. Estructuras de ARN.

Estructura primaria del ARN

Está constituida por una sola cadena polimérica, la cual describe el esqueleto covalente formado por la secuencia de nucleótidos que contienen las bases características del ARN (A, C, G y U).

Estructura secundaria del ARN

Se presenta cuando en una misma cadena hay regiones con secuencias complementarias capaces de aparearse. Esto genera zonas organizadas, como una doble hélice que forma horquillas, y otras cuyas bases no son complementarias y dan lugar a bucles. Esto se muestra en la estructura de la siguiente figura.

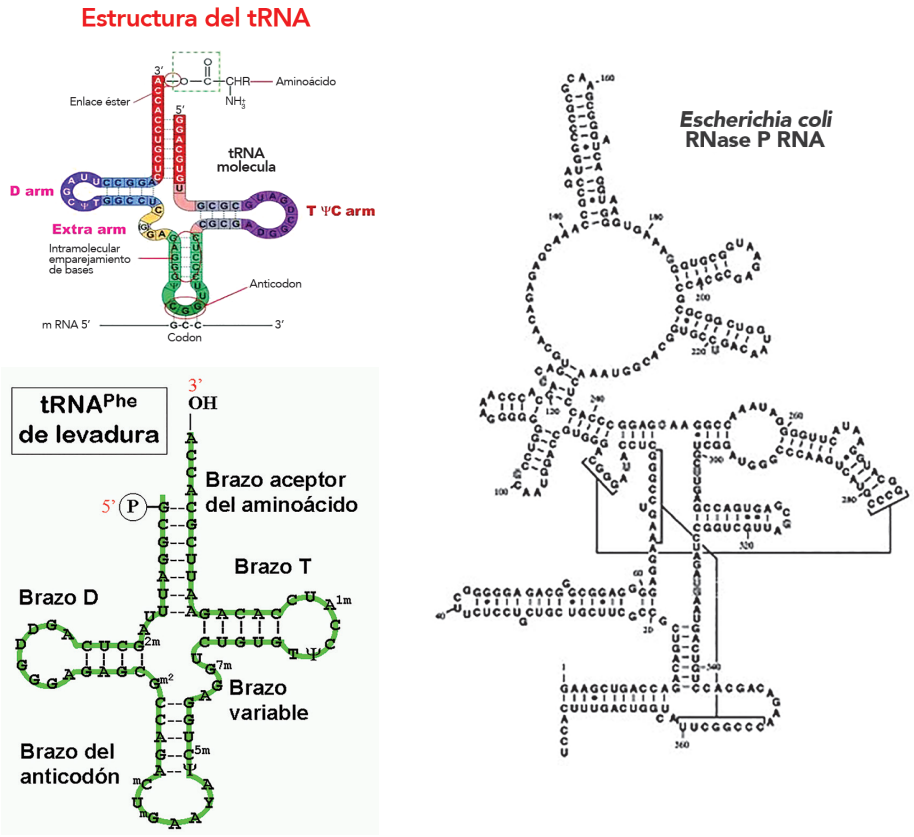


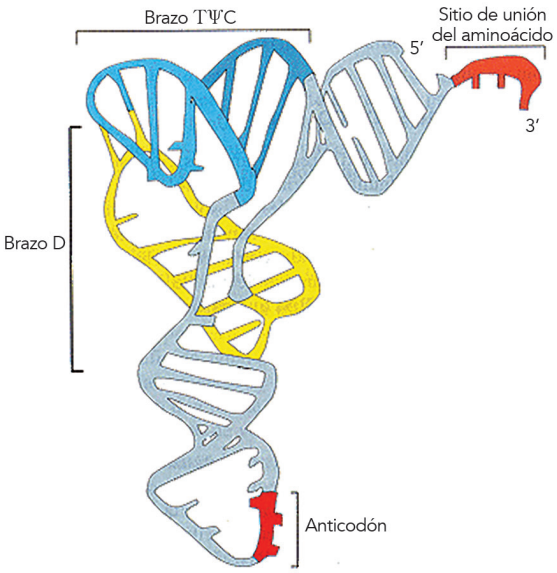
Figura 16. Estructuras secundarias del ARN.

Estructura secundaria del ARNt.

Estructura secundaria del ARNr.

Estructura terciaria del ARN

Es un plegamiento complejo sobre la estructura secundaria, donde se genera el repliegue de las cadenas de los ácidos nucleicos para dar estructuras compactas de la macromolécula. En algunas secciones de secuencias complementarias, éstas se aparean para generar tramos helicoidales dobles espaciados por zonas sin aparear. La cadena generada se encuentra replegada y su capacidad de plegamiento depende de zonas no helicoidales donde la molécula es flexible.



Estructura terciaria del ARNt

Figura 17. Estructura terciaria del ARN de transferencia.

4.3.2. Tipos y función biológica

Los tres principales tipos de ácido ribonucleico de las células se denominan **ARN mensajero (ARNm), ARN ribosómico (ARNr) y ARN de transferencia (ARNt).** Aunque los tres se encuentran en forma de cadenas polinucleotídicas sencillas, cada uno tiene un intervalo característico de pesos moleculares y de coeficientes de sedimentación. Además, se presentan en múltiples formas moleculares. La mayor parte de las células contiene de dos a ocho veces más ARN que ADN.

En células bacterianas, la mayor parte del ARN se encuentra en el citoplasma, aunque en parte se encuentra unido de modo no covalente al ADN durante su formación en el proceso de transcripción.

Tabla 5. Propiedades de los ARNs de E. Coli.

Tipo	S (coeficiente de sedimentación)	Peso molecular	Núm. de restos nucleotídicos	Porcentaje del ARN total de la célula
ARNm	6 – 25	25 000 ~ 1 000 000	75 ~ 3000	~ 2 %
ARNt	~ 4	23 000 ~ 30 000	75 ~ 90	16 %
ARNr	5	~ 35 000	~ 100	82 %
	16	~ 550 000	~ 1500	
	23	~ 1 100 000	~ 3100	

Una división importante de los tipos de ARN es la del ARN codificante y el ARN no codificante.

El ARN codificante

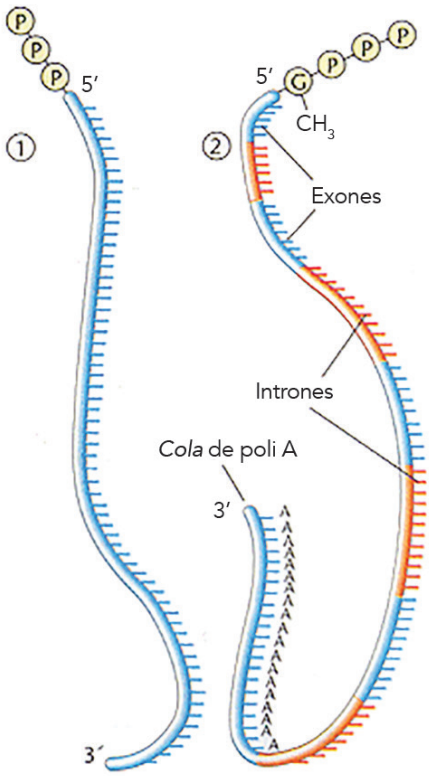
Es el transcriptoma y está compuesto por una sola clase de molécula: el ARN mensajero (ARNm), que son los transcritos de genes que codifican las proteínas y, por ende, son traducidos a proteínas en el segundo estadio de expresión del genoma.

ARN mensajero

El ARN mensajero aparece en centenares, o quizá miles, de formas diferentes. Los ARNm rara vez representan más de 4% del ARN total y tienen vida breve, ya que son degradados poco después de su síntesis. Los ARNm bacterianos tienen vidas medias de no más de minutos y la mayoría de los ARNm eucariontes son degradados pocas horas después de su síntesis.

Durante el proceso de transcripción se transfiere la información genética del ADN al ARN mensajero. Las moléculas de ARNm son secuencias de 500 a 10000 nucleótidos, copiadas a partir de una de las dos hebras de ADN, en forma de una sola hebra de ARNm complementaria. Al final, en la síntesis protéica, esa información se traduce del lenguaje de cuatro letras del ARNm al lenguaje de 20 letras de las proteínas.

Figura 18. Algunas características estructurales del ARNm.



ARN mensajeros (ARNm) de procariotas (bacterias) (1) y de eucariotas (2)

El ARNm se sintetiza mayormente en el núcleo y, menormente, en la mitocondria. Después de la transcripción, el ARNm pasa al citoplasma y luego a los ribosomas, en donde actúa como matríz para la ordenación secuencial de aminoácidos durante la biosíntesis de las proteínas. Aunque el ARNm constituye una pequeña parte del ARN total celular, aparece en muchas formas distintas que pueden variar considerablemente en peso molecular y en secuencia de bases.

Cada una las proteínas sintetizadas en la célula es codificada por un ARNm específico o por un segmento de una molécula de ARNm, es decir, lleva la información (codificada en forma de tripletes de nucleótidos o codones), la cual establece qué aminoácidos formarán la proteína que se va a sintetizar.

El ARNm monocistrónico es aquel que contiene la información para la síntesis de una proteína en particular (eucariotas), mientras que el ARNm policistrónico contiene información para la síntesis de varias proteínas (procariotas).

En la figura 18 se muestran algunas características estructurales del ARNm:

En esta figura se observa que en los procariontes, el extremo 5´ tiene un grupo trifosfato (marcado aquí como P-P-P) (1), mientras que en los eucariontes, en el extremo 5´, hay un grupo metil-guanosina (G-CH_3) unido al trifosfato (2), y el extremo 3´ tiene una cola de poli-A.

En la siguiente figura se muestra detalladamente una parte de una molécula de ARNm eucariota:

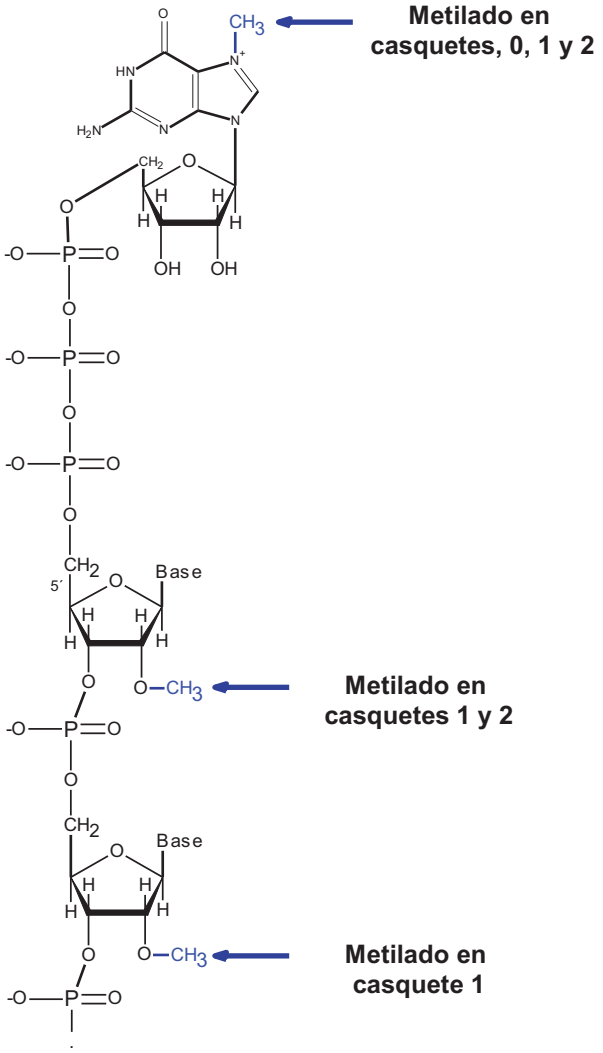


Figura 19. Molécula de ARNm eucariota.

ARNm eucariota durante el proceso de protección de caperuza o casquete (CAP), el cual es necesario para el proceso normal de traducción del ARN, para conservar su estabilidad (esencial para el reconocimiento y el acceso adecuado del ribosoma).

ARN no codificante

El segundo tipo de ARN se denomina no codificante, dado que estas moléculas no son traducidas a proteínas. El ARN funcional puede ser un nombre más acertado, pues implica que, aunque no es parte del transcriptoma, cumple con una gran variedad de funciones esenciales dentro de la célula. Hay varios tipos de ARN funcional, de los cuales los más importantes son el ARNr y el ARNt.

ARN ribosómicos

Estos se encuentran presentes en todos los organismos y, por lo general, son los ARN más abundantes de la célula, llegan a representar hasta más de 80% del ARN total de algunas bacterias. El ARN ribosómico de cualquier especie biológica existe por lo menos en tres formas principales. Sus moléculas son largas y monocatenarias, aunque presenta fragmentos con estructura de doble cadena. Al formar parte de los ribosomas, tiene función estructural, esto es, varias moléculas de ARNr diferentes se aglomeran en un grupo de aproximadamente 50 proteínas. Cada ribosoma es una maquinaria de síntesis de polipéptidos y está constituido por dos subunidades de diferente tamaño.

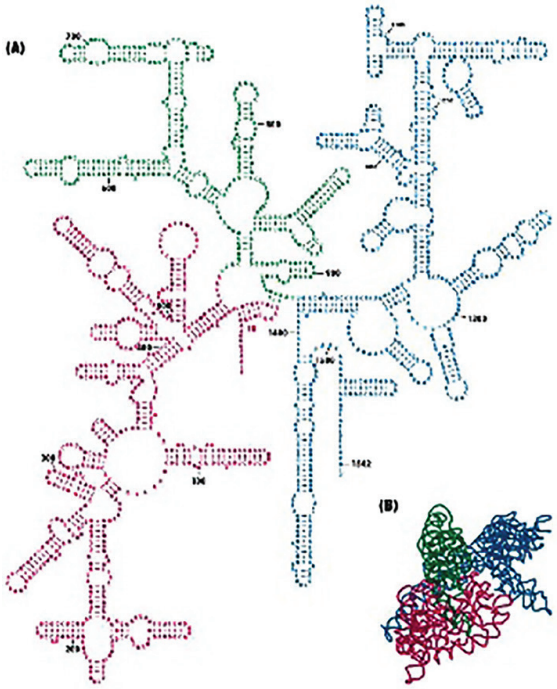


Figura 20. Representación esquemática del ARNr.

La longitud de las moléculas del ARNr y la cantidad de proteínas de cada subunidad son diferentes en procariontes y eucariontes, por lo que los ribosomas son de tamaños distintos en estos dos tipos de organismos. A pesar de estas diferencias, los ribosomas de todos los organismos son similares en estructura y función.

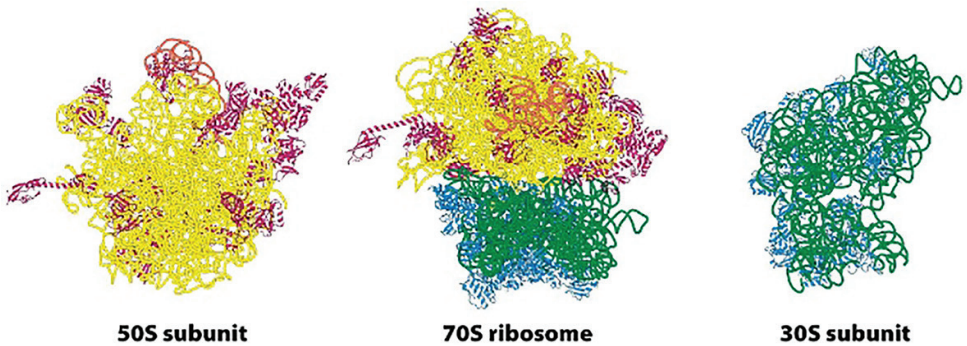


Figura 21. Distintos tipos de ARNr.

Un hecho muy importante es que un componente del ARNr hidroliza un aminoacil éster, por lo que juega un papel central en la función del enlace peptídico (peptidil transferasas). Lo anterior demuestra que el ARN puede actuar como una enzima, algo transcendental para comprender el origen de la vida.

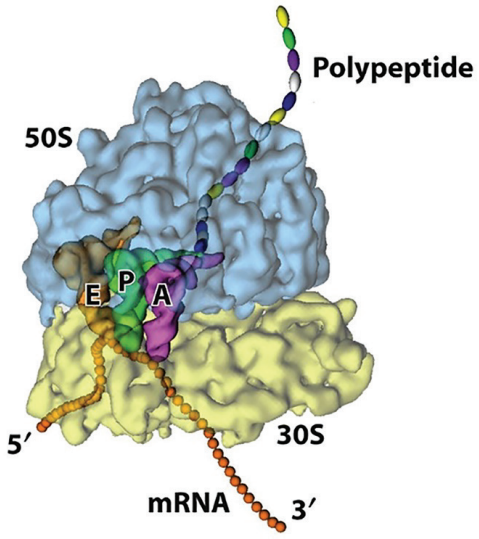


Figura 22. Estructura de un ribosoma.

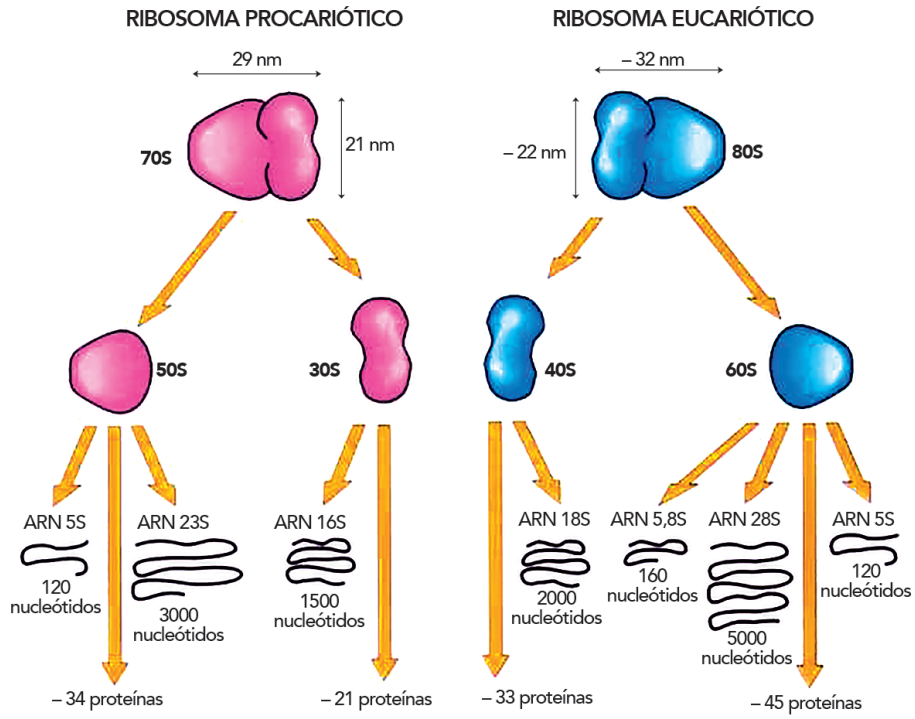


Figura 23. Comparación de ribosomas procariótico y eucariótico, en donde se muestran algunas características de sus unidades constituyentes.

ARN de transferencia

Son moléculas pequeñas que también participan en la síntesis protéica y, al igual que el ARNr, se encuentran en todos los organismos. La función de los ARNt es

transportar aminoácidos al ribosoma y garantizar que estos se unan en el orden especificado por la secuencia nucleotídica del ARNm que está siendo traducido. Los ARNt son moléculas relativamente pequeñas, de 70 a 90 nucleótidos, cada uno con dos sitios de unión. Uno de ellos, el anticodón, se aparea al codón de la molécula de ARNm. El otro sitio, el cual se encuentra en el extremo 3´del ARNt, se acopla a un aminoácido particular en forma muy específica. Así, las moléculas de ARNt permiten que los aminoácidos se ordenen de acuerdo con la secuencia de nucleótidos del ARNm, con lo que se construye el eslabón entre los ácidos nucleicos y las proteínas. La unión de cada molécula de ARNt a su aminoácido depende de un grupo de enzimas, las aminoacil-ARNt sintetasas. La precisión de esta unión es crucial, ya que determinará que el aminoácido adecuado se ubique en el lugar correcto dentro de la secuencia del polipéptido que se está sintetizando.

Las células sintetizan varias docenas de tipos de ARNt, cada uno diseñado para llevar un aminoácido concreto a uno o más codones del ARNm. Sin embargo, todas las moléculas tienen una estructura común. El apareamiento entre secuencias de bases complementarias en distintas regiones hace que cada molécula se pliegue, formando una estructura secundaria que contiene varias horquillas. La mayoría de los ARNt tiene cuatro regiones apareadas, en algunos ARNt se encuentra una quinta región apareada en el bucle variable. Cada una de estas regiones es un estiramiento corto de la doble hélice de ARN. Los biólogos moleculares llaman a esta estructura secundaria (Fig. 24), estructura de trébol, porque recuerda la forma de un trébol cuando se dibuja en dos dimensiones.

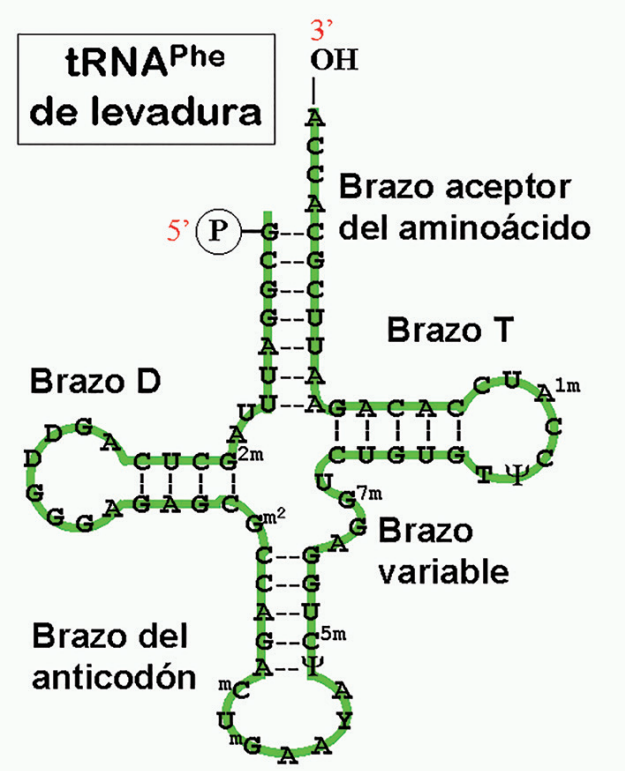


Figura 24. Estructura secundaria del ARNt.

Sin embargo, la molécula tridimensional normal está plegada de manera que su forma se parece realmente a la letra "L".

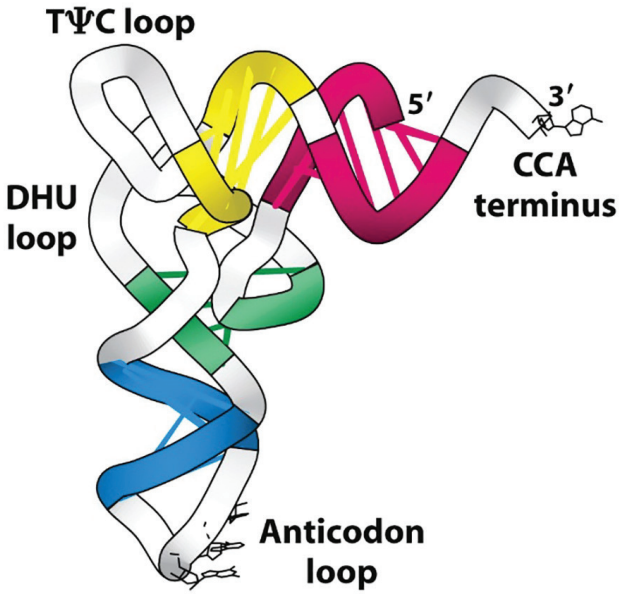


Figura 25. Estructura tridimensional del ARNt.

En la siguiente tabla se describen algunas características importantes de la estructura del ARNt.

Tabla 6. Características importantes de la estructura del ARNt.

Extremo 5'	Tiene un triplete de bases nitrogenadas que tiene una guanina y un ácido fosfórico libre.
Extremo 3'	Está conformado por el triplete de bases desapareadas CCA en donde se une el aminoácido.
Brazo T	Denominado así por tener timina, mediante la cual se une al ribosoma.
Brazo D	A través del él se une a la enzima aminoacil-ARNt-sintetasa, que cataliza su unión con el aminoácido.
Brazo A	Tiene un triplete de bases llamado anticodón, el cual es complementario al correspondiente codón del ARNm.

El Código Genético

El código genético es el conjunto de reglas que define cómo se traduce una secuencia de nucleótidos en el ARNm a una secuencia de aminoácidos en una proteína. Este código es universal y se encuentra conservado en todos los organismos vivos (con pequeñas excepciones). La información genética para el ensamblaje de aminoácidos se encuentra almacenada en pequeñas secuencias de tres nucleótidos que en el ARNm se denominan codones. Cada codón representa uno de los veinte aminoácidos empleados en la fabricación de proteínas. El código se representa en una tabla que identifica el aminoácido codificado por cada codón. El número de codones posibles es 64, de los cuales 61 codifican aminoácidos (siendo además uno de ellos el codón de inicio, AUG) y los tres restantes son sitios de parada (UAA, UAG, UGA).

SEGUNDA LETRA

PRIMERA LETRA	U		C		A		G		TERCERA LETRA
U	UUU	Phe	UCU	Ser	UAU	Tyr	UGU	Cys	U
	UUC	Phe	UCC	Ser	UAC	Tyr	UGC	Cys	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	STOP	UGA	STOP	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	STOP	UGG	Try	G
C	CUU	Leu	CCU	Pro	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Iso	ACU	Thr	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Iso	ACC	Thr	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Iso	ACA	Thr	AAA	Lys	AGA	Arg	A
	AUG	Met	ACG	Thr	AAG	Lys	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gly	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gly	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gly	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gly	G

Figura 26. Código Genético.
Fuente: elaboración propia.

La **Epigenética** es una parte de la Genética que estudia los cambios "heredables" en la expresión génica (se transmiten a lo largo de las divisiones celulares o incluso de una generación a otra), que no se deben a modificaciones en la secuencia de las bases de su ADN, sino a alteraciones químicas del ADN (metilación), y a las histonas (particularmente metilaciones, deacetilaciones y fosforilaciones), y las consiguientes remodelaciones en la configuración de la cromatina (Fernández, *et al.*, 2002).

Los procesos de desarrollo y diferenciación se controlan por mecanismos genéticos y epigenéticos. Como ejemplos de procesos epigenéticos se pueden contar al mantenimiento de linajes celulares, los fenómenos de "imprinting" o marcado (los cuales diferencian funcionalmente los genomas de ambos sexos), la inactivación de un cromosoma X en la línea somática de las hembras de mamíferos, así como el mantenimiento de las regiones de heterocromatina.

Cuando existen alteraciones en los patrones epigenéticos durante el desarrollo, se pueden presentar problemas de morbilidad, viabilidad, inestabilidad genómica y cáncer. De ahí que los mecanismos epigenéticos constituyen un sistema de "salvaguarda" que garantiza la estabilidad de "elementos transponibles" del genoma y son una defensa contra la inclusión de genomas virales o "transgenes".

El genoma de un organismo o de un virus está constituido por el ADN (en el caso de algunos virus ARN) que constituye una copia completa de toda la información genética del organismo y contiene la información de todas las proteínas que va a sintetizar dicho organismo.

Los organismos eucariotas tienen al ADN distribuido en un conjunto de cromosomas, los cuales se encuentran en el núcleo. El **genoma humano** está distribuido en 24 cromosomas distintos y consta de aproximadamente 3.2 x 109 nucleótidos. Cada cromosoma está constituido por una sola molécula muy larga de ADN, la cual se asocia a proteínas que pliegan y empaquetan la delgada hebra del ADN dando origen a una estructura todavía más compacta.

El paso inicial para la síntesis de proteínas es la transcripción y es indicativa de la respuesta celular a los estímulos ambientales. Así mismo, el transcriptoma constituye el conjunto de genes expresados o transcriptos del ADN genómico y es por lo tanto un determinante fundamental del fenotipo y la función celular. Ya que la función primaria de la mayoría de los genes es producir proteínas y estas son las responsables de las funciones celulares, actualmente es muy importante el estudio del **proteoma** (la estructura y propiedades de cada una de las proteínas producidas por el genoma), el cual se puede describir como la representación funcional del genoma. Cuya complejidad es mucho mayor que la del genoma; a manera de ejemplo se puede mencionar que los 30,000 genes que se encuentran en células humanas pueden producir de 200,000 a 1,000,000 de proteínas.

Por otro lado, el metaboloma es el conjunto completo de metabolitos originados en una célula o tejido, bajo un conjunto de condiciones específicas. El metaboloma humano representa todas los metabolitos detectados en sus procesos bioquímicos, aunque la gran mayoría de ellos están mal caracterizados, en la actualidad se han reconocidos alrededor de 2,500 metabolitos y se estima que el total no superará los 3,000. La figura siguiente se muestra la conexión del genoma con la bioquímica de la célula.



Figura 27. Conexión del genoma con la bioquímica general.



Evaluación
Módulo 4

Evaluación

Subraya la respuesta correcta.

1. Un nucleótido está conformado por la unión covalente de:
   a) Base nitrogenada y pentosa
   b) Base nitrogenada y fosfato
   c) Base nitrogenada, pentosa y fosfato
   d) Pentosa y fosfato

2. El ADN difiere estructuralmente del ARN en una base nitrogenada, ¿cuál es?
   a) Citosina
   b) Treonina
   c) Metionina
   d) Timina

3. Los grupos fosfato en los ácidos nucleicos están enlazados por un tipo de enlace en particular, denominado:
   a) Peptídico
   b) Fosfodiéster
   c) Glucosídico
   d) Fosfatídico

4. Un nucleósido está conformado por la unión covalente de:
   a) Base nitrogenada, pentosa y fosfato
   b) Pentosa y fosfato
   c) Base nitrogenada y pentosa
   d) Pentosa y base nitrogenada

5. Es una pirimidina que forma parte del ARN:
   a) Uracilo
   b) Citosina
   c) Timina
   d) Guanina

6. Este nucleótido funciona como molécula señalizadora específica en las células:
   a) Pi
   b) ADP
   c) ATP
   d) AMP cíclico



7. Es el ARN más abundante en la células:

a) Ribosómico
b) Mensajero
c) De transferencia
d) Nucleolar

8. Es un tipo de ARN que forma parte estructural esencial del corpúsculo celular, que es la maquinaria para la síntesis de proteínas:

a) ARNm
b) ARNt
c) ARNr
d) ARNsn

9. Es una de las principales diferencias del ARN con el ADN:

a) Siempre forma estructuras bicatenarias
b) Está constituido de 5 bases nitrogenadas
c) Generalmente forma una sola cadena
d) Está constituido por glucosa

10. Durante una etapa del proceso de duplicación celular se transfiere la información genética del ADN al ARN:

a) De transferencia
b) Mensajero
c) Ribosomal
d) No codificante

11. Esta clase de ARN tiene el mayor peso molecular de todos los ARN:

a) Mensajero
b) De transferencia
c) Nuclear
d) Ribosomal

12. Es la estructura del ARN que se genera cuando algunas de sus regiones tienen secuencias complementarias que se aparean, formando horquillas y otras no complementarias, generando bucles:

a) Primaria
b) Secundaria
c) Terciaria
d) Cuaternaria



Evaluación
Módulo 4

13. Generalmente el contenido de ARN con respecto al ADN en la célula es:

a) Casi el mismo
b) Aproximadamente el doble
c) Entre 10% y 15% menor
d) Entre dos a ochos veces mayor

14. Es el ARN que se traduce a proteínas:

a) De transferencia
b) Mensajero
c) Ribosomal
d) Transductor

15. ¿Qué componente de los nucleótidos almacena en sus enlaces energía química que se utiliza en los procesos celulares?

a) Base nitrogenada.
b) Grupos fosfato.
c) Grupo hidroxilo.
d) Base nitrogenada.

16. El Dogma central de la biología molecular describe el proceso de:

a) Transformación celular desde ARN hasta ADN
b) Flujo de información genética desde ADN hasta proteínas
c) Contenido génico en el ADN
d) Transformación celular desde ARNm hasta ARNr

17. El ARN de transferencia que tiene la información para traducir más de una proteína se denomina:

a) Policistrónico, procariotas
b) Poliprótico, procariotas
c) Policistrónico, eucariotas
d) Poliprótico, eucariotas

18. Las propiedades del ARN difieren de las del ADN por diversas razones, una de ellas es porque tiene un grupo – OH unido a su pentosa en la posición:

a) 1´
b) 2´
c) 3´
d) 4´



19. ¿Cuál es el porcentaje aproximado de ARN mensajero en la célula?
    a) Más de 80%
    b) Menos de 50%
    c) Menos de 30%
    d) Menos de 5%

20. El ARN no codificante está compuesto por:
    a) ARNt y ARNr
    b) ARNm y ARNt
    c) ARNr y ARNsm
    d) ARNm y ribozima



ANEXOS

MÓDULO 1

MÓDULO 2

MÓDULO 3

MÓDULO 4



Actividades
Módulo 1

Módulo 1

Actividad 1
1. Realiza un mapa mental con las palabras siguientes:

Glucosa, almidón, ribosa, celulosa, maltosa, monosacáridos, sacarosa, polisacáridos, fructosa, disacáridos, glucógeno, carbohidratos, quitina.

2.¿Por qué la celulosa no puede ser digerida por los humanos y algunos animales?

_____

_____

_____

Actividad 2
Escribe la fórmula de los siguientes monosacáridos y realiza la conversión de la estructura de Fisher a la estructura de Haworth.

Glucosa	Fructosa	Sorbosa
Ribosa	Eritrosa	Ribulosa

Actividad 3
Escribe los nombres con la nomenclatura IUPAC de los siguientes monosacáridos:

Glucosa:

_____

Fructosa:

_____

Galactosa:

_____

Arabinosa:

_____

Eritrosa:

Xilulosa:

Actividad 4
Clasifica los siguientes monosacáridos según el número de carbonos que los forman y con respecto a la posición del grupo carbonilo (aidosas ocetosas):

Gliceraldehído, glucosa, fructosa, galactosa, arabinosa, eritrosa y xilulosa:

Actividad 5
Escribe y balancea las reacciones de oxidación de la ribosa, xilulosa y la sacarosa:

Actividad 6
Revisa el siguiente video sobre glucólisis, disponible en https://www.youtube.com/watch?v=15zcABaR-Aw, y responde las siguientes preguntas:



1. ¿Cuál es el significado de la palabra glucólisis?

2. ¿Cuál es la molécula que alimenta el proceso de la glucólisis?

3. ¿Cuáles son los productos que se obtienen en la glucólisis?

4. ¿Qué importancia biológica tiene la glucosa en los organismos?

5. ¿Cuál es la diferencia entre la D-glucosa y la L-glucosa; y entre la α y la β-D-glucopiranosa?



Actividades
Módulo 2

Módulo 2

Actividad 1

Responde el siguiente cuestionario y localiza las respuestas en la sopa de letras.

1. Son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por carbono e hidrógeno y, en menor proporción, oxígeno:

_____

2. Sustancia en la que los lípidos no presentan solubilidad:

_____

3. Lípidos formados por la unión de un alcohol con uno o varios ácidos grasos:

_____

4. Son un grupo de glucósidos oleosos, los cuales son solubles en agua y producen espumosidad cuando las soluciones son agitadas:

_____

5. Son las hormonas sexuales femeninas:

_____

6. Esteroide presente en las materias fecales:

_____

7. Son fosfolípidos importantes que contienen un glicerol, dos ácidos grasos, un ácido fosfórico y la base nitrogenada serina o etanolamina:

_____

8. Su función principal es la de constituir la reserva más grande de energía en el organismo humano y la única que permite la sobrevida durante el ayuno prolongado:

_____

Sopa de letras:

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



Actividades
Módulo 2

Actividad 2

Realiza un organizador gráfico de clasificación de lípidos y utiliza palabras clave.

Módulo 3

Actividades
Módulo 3

Actividad 1
Completa la tabla siguiente anotando el grupo prostético que identifica a cada una de las proteínas conjugadas.

Proteína conjugada	Grupo prostético
Nucleoproteína	
Lipoproteína	
Fosfoproteína	
Metaloproteína	
Glucoproteína	

Actividad 2
Elabora un mapa mental de la clasificación de proteínas.



Actividades
Módulo 3

Actividad 3
Reúnete en equipo y elijan un experimento casero de desnaturalización de proteínas para que lo realicen, posteriormente expliquen su experiencia en clase.

Actividad 4
Desde el punto de vista de las proteínas ¿cómo explicarías la enfermedad de la diabetes?

Actividad 5
Resuelve el siguiente crucigrama:

Horizontal

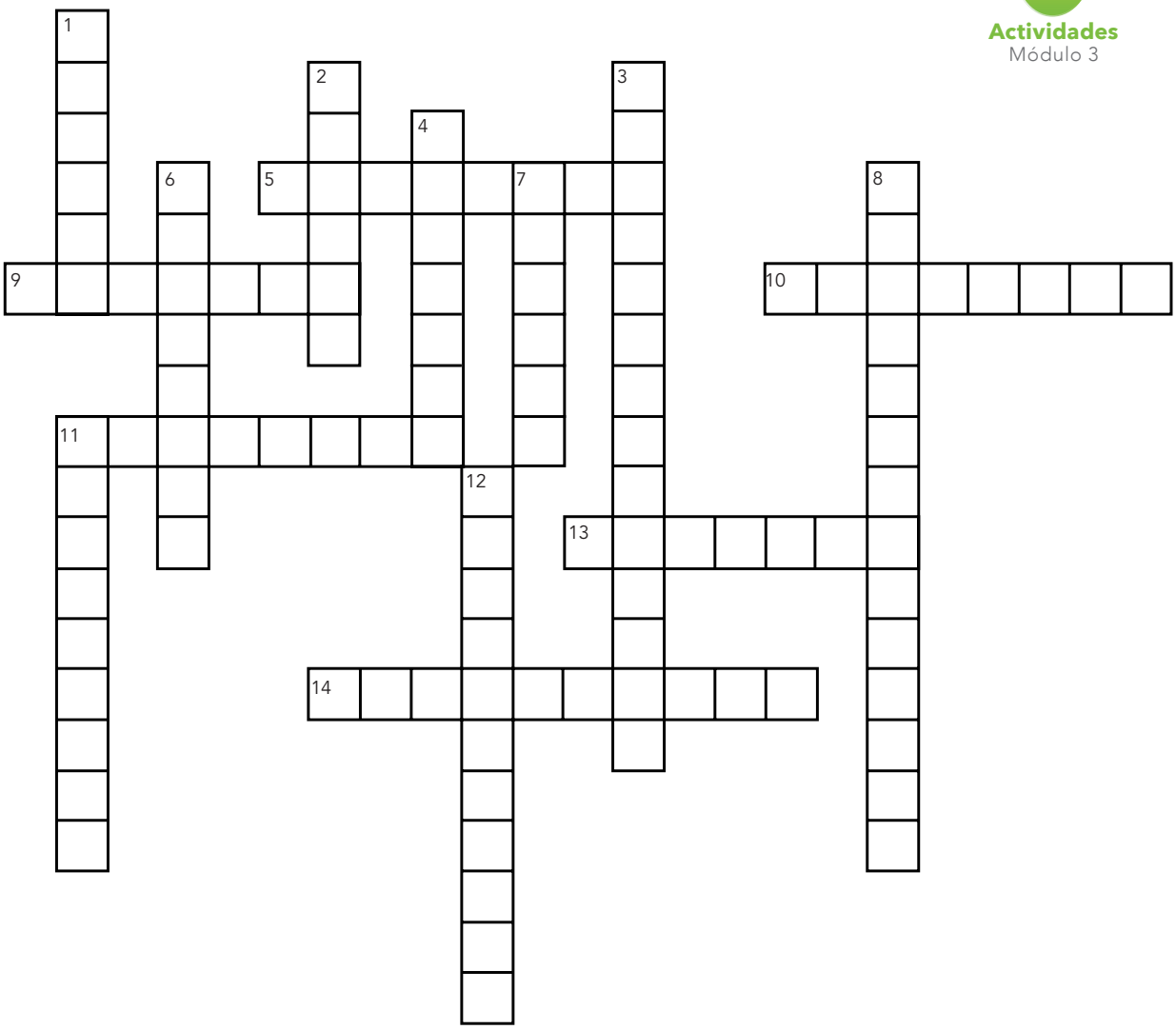
6. Aminoácido no esencial que es precursor de la adrenalina.
9. Aminoácido que se encuentra en las bebidas energéticas.
10. Proteína que tiene una función hormonal en el organismo.
11. Estructura proteica donde los aminoácidos tienen una estructura lineal conocida.
13. Proteína que tiene una función enzimática en el organismo.
14. Proteína con una estructura cuaternaria.

Vertical

1. Aminoácido esencial que garantiza la absorción adecuada de calcio.
2. Los alfa-aminoácidos tienen cuatro grupos diferentes en ese carbono, por lo que se conoce como carbono_____.
3. En la clasificación de proteínas conjugadas tenemos como una de ellas a la llamada_____.
4. Aminoácido no polar hidrófobo que tiene como grupo R a una amina cíclica.
5. En la clasificación de proteínas simples se encuentran las llamadas_____.
7. Aminoácido con grupo polar sin carga que tiene un grupo R de alcohol primario.
8. Proceso que ocurre cuando se desnaturaliza una proteína.
11. La unión de dos aminoácidos se da por un enlace llamado_____.
12. Proceso metabólico donde se destruyen moléculas.

Crucigrama:

Actividades
Módulo 3



Anexo
Basado en Competencias

Actividades
Módulo 4

Módulo 4

Actividad 1
Código QR

Actividad 2
Código QR

Actividad 3
Código QR

Actividad 1

En el siguiente link consulta la línea del tiempo del descubrimiento de los ácidos nucleicos: https://prezi.com/vg3oqrlmhvx5/linea-del-tiempo-acidos-nucleicos.

En equipo, elaboren en su libreta una línea del tiempo que incluya los acontecimientos mostrados en el Prezi y complétala con acontecimientos que no estén incluidos en esta presentación.

Actividad 2

A partir de la lectura del texto "Rosalind Franklin, la mujer que descubrió la estructura de la vida", disponible en https://hipertextual.com/2014/11/rosalind-franklin, responde las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál fue la importancia del trabajo de Rosalind Franklin en el descubrimiento de la estructura molecular del ADN?

2. ¿A qué atribuyen el hecho de que Rosalind Franklin no haya sido reconocida como una investigadora clave en el descubrimiento de la estructura molecular del ADN?

3. ¿Consideras que la condición de género influye en la actividad científica? Discutan el tema en equipo.

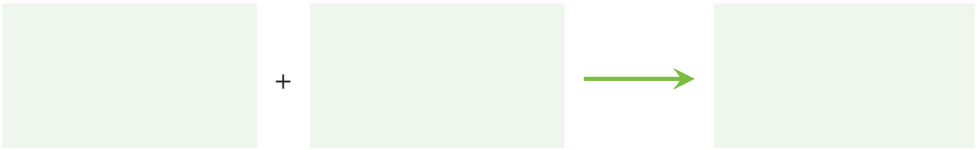
Actividad 3

Escribe en los cuadros siguientes cada uno de los compuestos (moléculas) que forman los nucleótidos, según la información proporcionada en la página: https://es.khanacademy.org/science/biology/classical-genetics/molecular-basis-of-genetics-tutorial/v/dna-deoxyribonucleic-acid

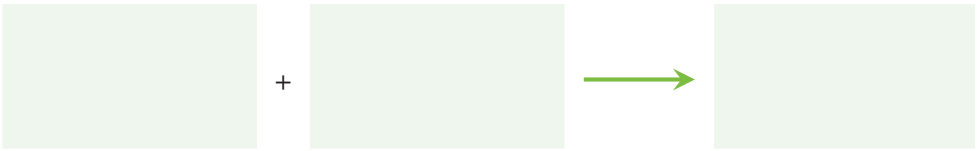
Base nitrogenada	Azúcar	Grupo fosfato

Actividad 4

a) Un **nucleótido** está constituido por la unión de:



b) Escribe un ejemplo de un nucleótido y anota dentro de cada recuadro el nombre y fórmula química de cada componente.

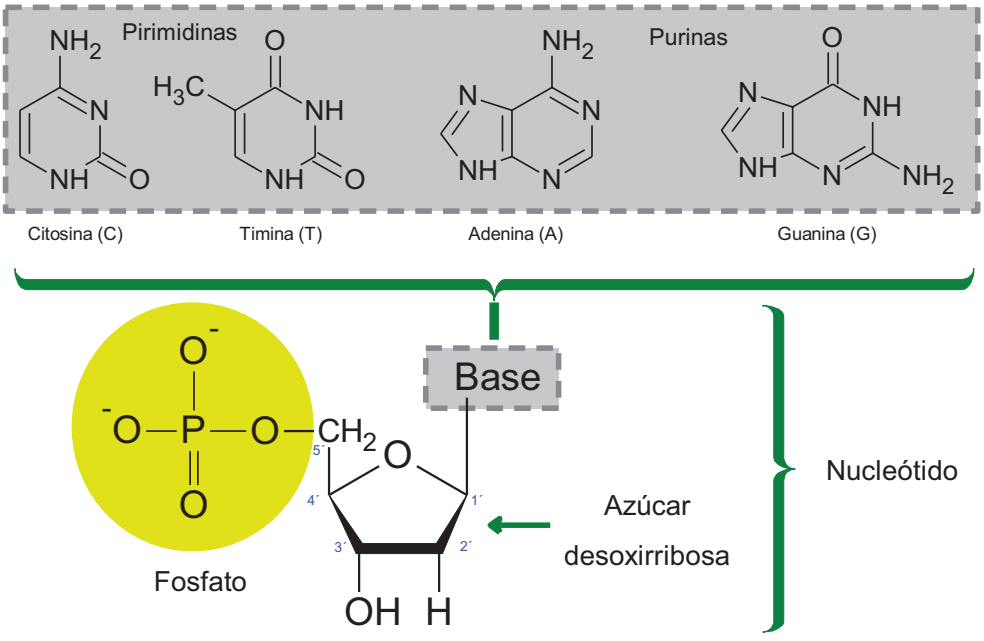


Actividad 5

1. Realiza una investigación con base en las referencias bibliográficas de este libro y en internet sobre la estructura del ADN, y responde el siguiente cuestionario:

   - ¿Qué es un nucleótido? ¿Cuáles son sus componentes?
   - ¿Cuáles son los nucleótidos que forman parte del ADN?
   - ¿Qué es un polímero? ¿El ADN es un polímero? ¿Por qué?

2. De acuerdo con el siguiente esquema de las bases nitrogenadas que conforman el ADN, especifica brevemente cuáles son las diferencias en sus estructuras químicas.





Diferencias

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

Actividad 6

1. Establece la correspondencia existente entre los términos de la columna A y la columna B. Razona tu respuesta.

Columna A	Columna B
1. Uracilo	a) Azúcar constitutivo del ARN
2. Adenosina	b) Nucleósido
3. Histonas	c) Nucleótido
4. ATP	d) Base pirimídica
5. Ribosa	e) Proteínas asociadas al ADN

2. En una muestra de un ácido nucleico se ha observado la siguiente proporción de bases: A = 25%, T = 18%, G = 22%, C = 35%.

   a) ¿Cumple la regla de Chargaff la muestra estudiada? Justifica por qué.

   b) ¿Qué tipo de ácido nucleico será el de la muestra?

Actividad 7

Analiza la información de los distintos tipos de ARN y sus funciones biológicas, y realiza lo siguiente:

1. Elabora un mapa conceptual en donde esquematices su clasificación y describas brevemente sus funciones biológicas.

2. Existen otros tipos de ARN diferentes a los que hemos descrito, investiga acerca de ellos y descríbelos.

Actividad 8
Resuelve el siguiente crucigrama acerca de los distintos tipos de ARN.

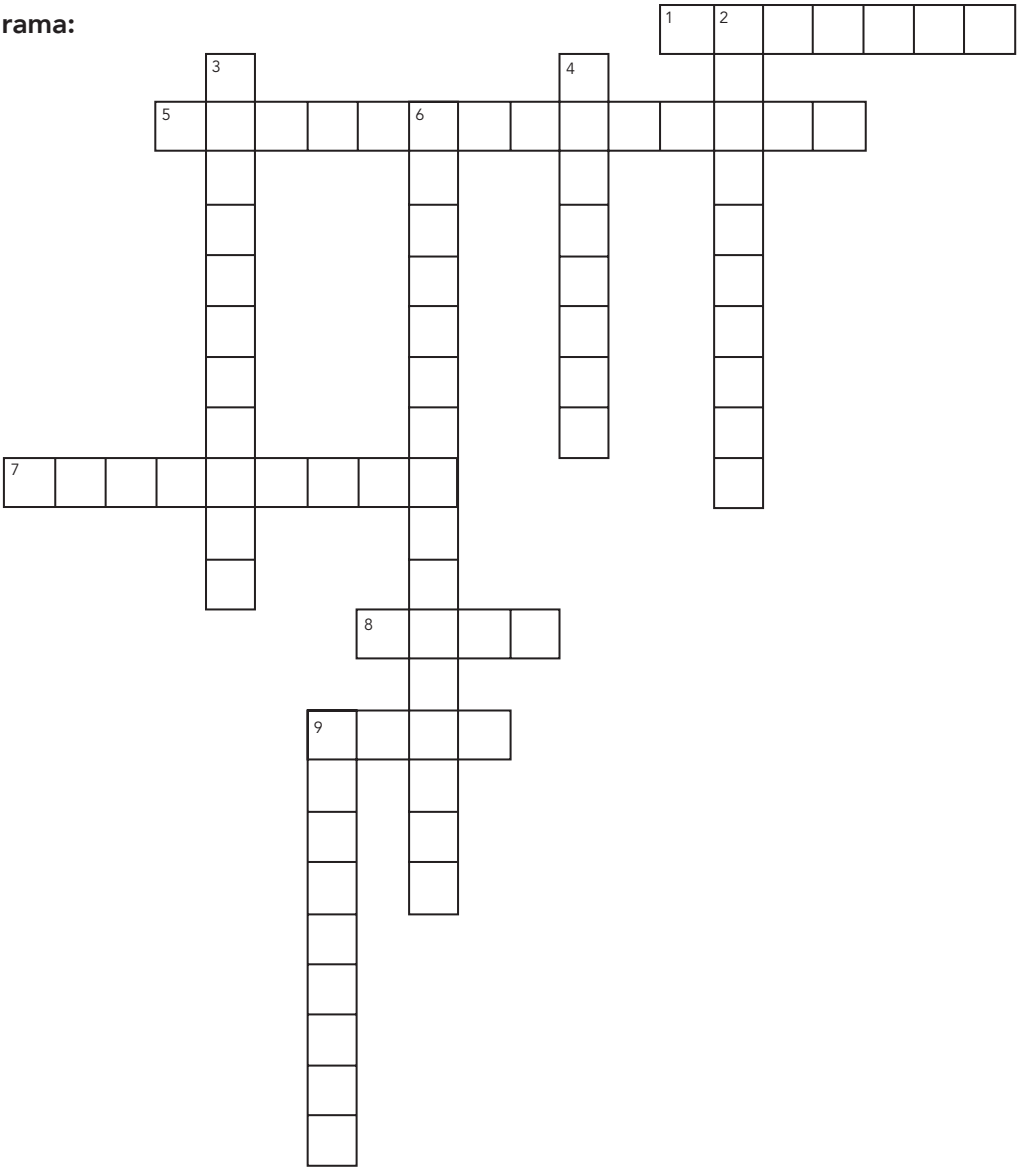
Horizontales

1. Parte estructural de ARNt, posee un triplete de bases denominado anticodón que es complementario al correspondiente codón del ARNm.
5. Se refiere al ARN que no es traducido a proteínas.
7. Son las unidades que se utilizan para expresar la masa molecular media de los distintos tipos de ARN; se basan en la velocidad de sedimentación.
8. Sus moléculas presentan una estructura secundaria característica, similar a una hoja de trébol (nombre abreviado).
9. Es el tipo de ARN que representa el menor porcentaje en las células (nombre abreviado).

Verticales

2. Es el ARN más abundante de las células.
3. Tipo de ARN que es traducido a proteínas.
4. Es una gran maquinaria se síntesis de polipéptidos y está constituido por dos subunidades de diferente tamaño.
6. Las moléculas de este tipo de ARN permiten que los aminoácidos se alineen de acuerdo con la secuencia de nucleótidos del ARNm.
9. El ARN que se traduce a proteína.

Crucigrama:



Actividad 9

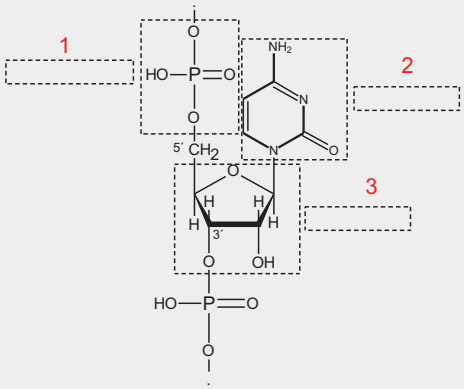
Elabora un cuadro comparativo en el que describas cada una de las estructuras del ARN.

Estructura del ARN	Primaria	Secundaria	Terciaria	Cuaternaria
Descripción				

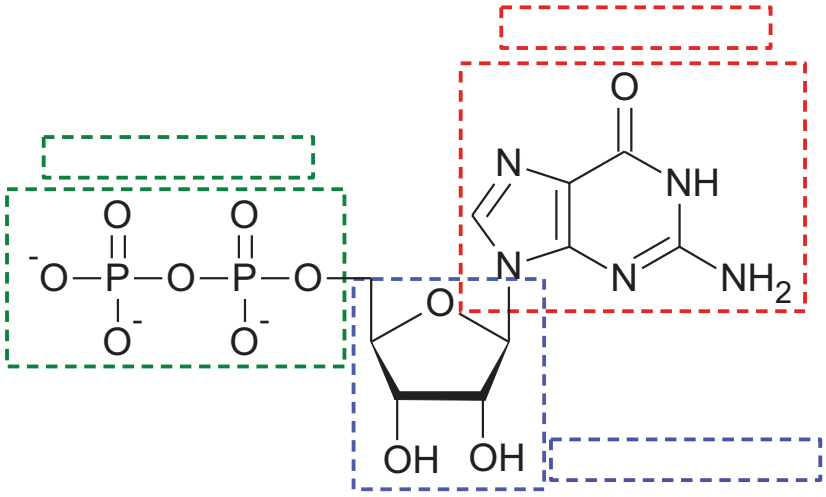
Completa la siguiente tabla relacionada con la estructura del ARN.

A. Escribe los nombres de los tres elementos marcados en un nucleótido del ARN de la siguiente figura.

B. Escribe el nombre de las bases nitrogenadas que forman parte del ARN y dibuja su fórmula estructural.

A	B	
	Nombre	Fórmula estructural
1		
2		
3		

Identifica en la siguiente imagen cada elemento que representa un nucleótido del ARN y anota su nombre en el espacio correspondiente.



Ribosa	Desoxirribosa	Fosfato	Monofosfato	Difosfato	Trifosfato	Base púrica	Base pirimídica

BIBLIOGRAFÍA

Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M... Walter, P. (2008). *Introducción a la biología celular.* México: Médica Panamericana.

Becker, W. M., Kleinsmith, L. J., Hardin, J. (2007). *El mundo de la célula.* Madrid: Pearson Addison Wesley.

David, K. (2013). *Química orgánica.* México: Médica Panamericana.

Devlin, T. M. (2006). *Bioquímica. Libro de texto con aplicaciones químicas.* Barcelona: Reverté.

Feduchi, C. E. (2010). *Bioquímica: Conceptos esenciales.* Madrid: Médica Panamericana.

Karp, G. (2006). *Biología celular y molecular: conceptos y experimentos.* México: McGraw-Hill Interamericana.

Laguna, J. y Piña, G. E. (2002). *Bioquímica de Laguna.* México: El Manual Moderno.

Lehninger, A. L., Nelson, D. L. y Cox, M. M. (2005). *Principios de bioquímica.* Barcelona: Omega.

Mathews C. K. y Van Holde, K. E. (2000). *Bioquímica.* España: Addison Wesley Longman, Inc.

Murray, R. K. (2010). *Bioquímica ilustrada.* México: McGraw-Hill Interamericana.

McKee T. y McKee, J. R. (2003). *Bioquímica: La base molecular de la vida.* Colombia: McGraw-Hill Companies, Inc.

Lehninger, A. L., Nelson, D. L. y Cox, M. M. (2001), *Lehninger: principios de bioquímica.* Barcelona: Omega.

Voet D. y Voet, J. G. (2000). *Biochemistry.* United States of America: John Wiley & Sons.

Voet, D. y Voet, J. G. (2006). *Bioquímica.* Buenos Aires: Médica Panamericana.

DIRECTORIO

Doctor en Ciencias e Ingeniería Ambientales
Carlos Eduardo Barrera Díaz
Rector

Doctor en Ciencias Computacionales
José Raymundo Marcial Romero
Secretario de Docencia

Doctora en Ciencias Sociales
Martha Patricia Zarza Delgado
Secretaria de Investigación y Estudios Avanzados

Doctor en Ciencias de la Educación
Marco Aurelio Cienfuegos Terrón
Secretario de Rectoría

Doctora en Humanidades
María de las Mercedes Portilla Luja
Secretaria de Difusión Cultural

Doctor en Ciencias del Agua
Francisco Zepeda Mondragón
Secretario de Extensión y Vinculación

Doctor en Educación
Octavio Crisóforo Bernal Ramos
Secretario de Finanzas

Doctora en Ciencias Económico Administrativas
Eréndira Fierro Moreno
Secretaria de Administración

Doctora en Ciencias Administrativas
María Esther Aurora Contreras Lara Vega
Secretaria de Planeación y Desarrollo Institucional

Doctora en Derecho
Luz María Consuelo Jaimes Legorreta
Abogada General

Doctora en Ciencias de la Educación
Yolanda Eugenia Ballesteros Sentíes
Secretaria Técnica de la Rectoría

Licenciada en Comunicación
Ginarely Valencia Alcántara
Directora General de Comunicación Universitaria

Doctor en Ciencias Sociales
Luis Raúl Ortiz Ramírez
Director General de Centros Universitarios y Unidades Académicas Profesionales Región A

Doctora en Ciencias de la Educación
Sandra Chávez Marín
Directora General de Centros Universitarios y Unidades Académicas Profesionales Región B

Doctora en Investigación Educativa
Eva Lilia García Escobar
Directora de Estudios de Nivel Medio Superior

PLANTELES DEPENDIENTES
de la Escuela Preparatoria

Doctor en Tecnología e Innovación de la Educación
Arturo Mejía Zamora
Plantel "Lic. Adolfo López Mateos"

Maestro en Ciencias de la Educación
Erick Vieyra Méndez
Plantel "Nezahualcóyotl"

Maestro en Administración Pública y Gobierno
Raúl Juárez Toledo
Plantel "Cuauhtémoc"

Doctora en Ciencias de la Educación
María del Rocío García de León Pastrana
Plantel "Ignacio Ramírez Calzada"

Doctor en Ciencias de la Educación
Alejandro Morales Velázquez
Plantel "Dr. Ángel Ma. Garibay Kintana"

Maestra en Ciencias de la Educación
Sofía Sandoval Trejo
Plantel "Texcoco"

Maestro en Docencia
Erick Rodolfo Sánchez Cortés
Plantel "Sor Juana Inés de la Cruz"

Maestra en Ciencias Ambientales
Janette Jaimes García
Plantel "Dr. Pablo González Casanova"

Doctora en Tecnología e Innovación en la Educación
Mónica Garduño Suárez
Plantel "Isidro Fabela Alfaro"

Licenciada en Comunicación
Ana Vianey Suárez Castro
Plantel "Mtro. José Ignacio Pichardo Pagaza"