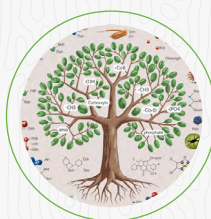




TECNOECUATORIANO
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO

LIBRO DE TEXTO: BIOQUÍMICA



**EDGAR EDURMAN
GARCÍA SILVERA**

**ISABEL CRISTINA
MELÉNDEZ MOGOLLÓN**

**ANA TERESA
BERRÍOS RIVAS**

Quito – Ecuador
Septiembre 2024



Libro de texto: Bioquímica

Edgar Edurman García Silvera
Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano
egarcia@istte.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-8116-8427>

Isabel Cristina Meléndez Mogollón
Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano
imelendez@istte.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-9030-8935>

Ana Teresa Berríos Rivas
Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano
aberrios@istte.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0101-176X>

Este libro ha sido sometido a revisión de doble par académico:

Dra. Selene Ayala Pilco, Mgs.
Instituto Superior Tecnológico Vicente León
SENESCYT

Dra. Tanya Velásquez Cajas
Distrito 05D06 Salcedo
Ministerio de Salud Pública del Ecuador

Corrección de estilo: Ángel Velásquez Cajas
Diseño y diagramación: Juan Carlos Tapia
Calama

Primera Edición
Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano
Rimana Editorial
Quito – Ecuador
Septiembre 2024

ISBN: 978-9942-676-92-4

Dedicatoria

A mi Padre Celestial, Jesucristo.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi esposa, cuya paciencia, apoyo incondicional y amor constante, han sido la fuerza que me ha impulsado en cada paso de este proyecto. A mi madre y mi padre, quienes con su ejemplo de esfuerzo, dedicación y valores me enseñaron a perseguir mis metas con determinación.

Asimismo, extendiendo mi gratitud a las autoridades del Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuadoriano, quienes con su confianza y respaldo hicieron posible que este libro tomara forma. Este logro es el reflejo de un esfuerzo colectivo y una inspiración compartida. A todos ustedes, gracias por ser parte esencial de este camino.

Dr. Edgar Edurman García Silvera

Biografía de los autores

■ Ph.D. Edgar Edurman García Silvera.

Ingeniero químico de la Universidad de Oriente, Cuba. Máster en Ingeniería de los Procesos Biotecnológicos del ISPJAE, Cuba. PhD en Ciencias Naturales realizado en el CEIB de la UAEM, México. Realizó sus estudios posdoctorales en la UANL, Monterrey, México. Ha trabajado en diferentes Centros de investigación como: Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CEIGB), Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Cuba (CENIC), Centro de Productos Naturales (CPN), Instituto de Biotecnología de la UNAM (IBT), Centro de Investigaciones en Biotecnología (CEIB), México. Como docente, se ha estado trabajando en diferentes universidades e institutos tanto en Cuba, México como en Ecuador. Con una sólida experiencia en investigación, ha publicado libros y artículos sobre ciencia, tecnología e innovación.

■ M.Sc. Isabel Cristina Meléndez Mogollón

Licenciada en Enfermería, diplomada en cuidado perioperatorio, docencia universitaria y docencia virtual. Máster en gestión de la seguridad clínica y calidad de atención al paciente. Consta de una amplia experiencia de más de 15 años en docencia e investigación. Además, se ha especializado en el campo de la edición científica. Fue directora de investigación del Instituto Superior Universitario Libertad y editora general de la revista Conecta Libertad. Su participación fue crucial para la conformación de la Red de la Comunidad Latinoamericana de Investigación, Innovación y Emprendimiento Educativo CLIIEE. Actualmente, es docente del Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano y parte del equipo de investigación.

■ Ph.D. Ana Teresa Berríos

Enfermera venezolana, cuenta con una destacada trayectoria académica y profesional. Es licenciada en Enfermería por la Universidad de los Andes, especialista en Medicina Crítica Pediátrica, magíster en Ciencias de la Salud y doctora en Tecnología Instruccional. Ha trabajado como enfermera en cuidados críticos, profesora universitaria y gestora educativa, desempeñándose en roles clave como directora de sistemas de educación a distancia, coordinadora de programas académicos y líder en proyectos de currículo. Con una sólida experiencia en investigación, ha publicado libros y artículos sobre educación, tecnología e innovación. Actualmente, dirige el área de investigación en el Instituto Superior Tecnológico Tecnoecuatoriano y es docente en metodología de la investigación.



ÍNDICE



ÍNDICE DE CONTENIDOS

Prólogo 10

Introducción 11

13 CAPÍTULO I

Grupos funcionales

Alcoholes. 14

Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones. 14

Cetonas y aldehídos. 17

Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones. 17

Ácidos carboxílicos. 19

Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones. 19

Ésteres y éteres. 20

Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones. 20

Aminas y amidas. 22

Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones. 22

Preguntas de reflexión del capítulo I. 24

Actividades de trabajo del capítulo I. 25

26 CAPÍTULO II

Introducción a las biomoléculas

Introducción a las biomoléculas. 27

Proteínas. 27

Aminoácidos. 27

Formación del enlace peptídico. 28

Estructura de las proteínas. 29

Desnaturalización de proteínas. 30

Hidratos de carbono. 30

Características y clasificación. 30

Reacciones de los monosacáridos. 31

Polisacáridos. 31

Lípidos. 32

Clasificación de lípidos. 32

Características de lípidos simples. 33

Reacciones de lípidos simples.	33
Ácidos nucleicos.	34
Preguntas de reflexión del capítulo II.	36
Actividades de trabajo del capítulo II.	36

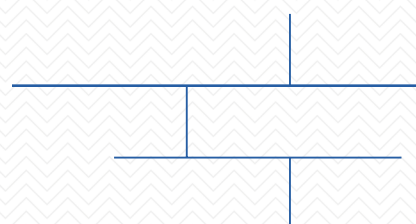
Transporte: el camino de las moléculas absorbidas.	47
Insulina.	48
Preguntas de reflexión del capítulo III.	49
Actividades de trabajo del capítulo III.	50

37

CAPÍTULO III

Introducción a conceptos generales.

Introducción a conceptos generales.	38
Visión de conjunto del metabolismo.	38
Estructura de la célula eucariota.	38
Principios básicos de bioenergética (energía), Adenosintrifosfato (ATP) y metabolismo.	40
Función bioenergética del ATP.	41
Orden biológico, catabolismo, anabolismo.	42
Vía metabólica, ciclo metabólico, vías anfibólicas.	43
Reacción enzimática, enzima, sustrato, producto, coenzima, cofactor, clasificación enzimática.	43
¿Qué son las enzimas?.	43
Regulación enzimática, regulación de las vías.	45
Digestión: su definición y localización.	47
Definición y localización del proceso de absorción.	



51

CAPÍTULO IV

Introducción a las biomoléculas

Hidratos de carbono.	52
Digestión.	52
Absorción: sitio de absorción.	53
Transporte.	54
Metabolismo.	55
Preguntas de reflexión del capítulo IV.	66
Actividades de trabajo del capítulo IV.	67

68

CAPÍTULO V

Lípidos.

Lípidos.	69
Digestión.	69
Bilis.	69
Transporte.	70
Metabolismo.	71
Preguntas de reflexión del capítulo V.	76
Actividades de trabajo del capítulo V.	77

79

CAPÍTULO VI

Proteínas.

Proteínas.	80
Digestión.	80
Absorción.	81
Transporte.	81
Síntesis de aminoácidos.	81
Síntesis de proteínas.	83
Síntesis de urea.	84
Biosíntesis del hemo.	85
Preguntas de reflexión del capítulo VI.	87
Actividades de trabajo del capítulo VI.	88

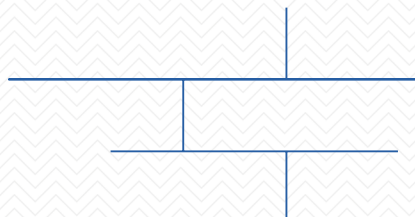
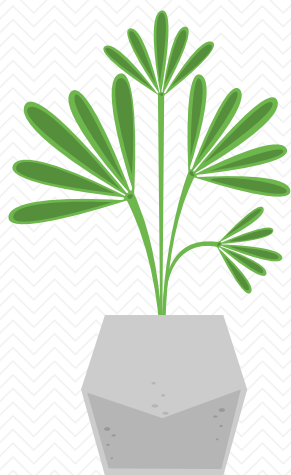


89

CAPÍTULO VII

Alcohol, vitaminas y minerales.

Alcohol, vitaminas y minerales.	90
Metabolismo del etanol.	90
Vitaminas.	91
Minerales.	96
Radicales libres y nutrientes antioxidantes.	97
Nutrientes antioxidantes.	99
Preguntas de reflexión del capítulo VII.	99
Actividades de trabajo del capítulo VII.	100
Bibliografía.	101



Prólogo

La bioquímica, término derivado de la palabra “química de la vida”, sirve como puente entre múltiples disciplinas científicas, como la química, la física, la biología y la microbiología. Sus contribuciones a los campos de la ciencia, la nutrición y la salud han sido transformadoras y de gran alcance. Este libro tiene como objetivo proporcionar una introducción completa y accesible a los conceptos fundamentales de la bioquímica, específicamente, adaptados a las ciencias nutricionales.

La bioquímica, como ciencia interdisciplinaria que conecta la química con la biología, ha revolucionado la comprensión de los procesos biológicos a nivel molecular. Hoy en día, no solo se presenta como una rama científica esencial para los investigadores, sino que también desempeña un papel central en la formación de los profesionales de la salud. A través de ella, los profesionales logran desentrañar los mecanismos moleculares que subyacen en los fenómenos fisiológicos, patológicos y terapéuticos, proporcionando una base sólida para comprender cómo las alteraciones en el metabolismo pueden desencadenar enfermedades y cómo los tratamientos pueden revertir estos procesos.

Este texto de bioquímica ha sido creado con un objetivo claro: dotar a los futuros profesionales de la salud conocimientos fundamentales y prácticos de esta disciplina, proporcionándoles las herramientas para entender principios bioquímicos que regulan el cuerpo humano en la salud y enfermedad. La estructura de este libro ha sido diseñada para facilitar el aprendizaje de manera progresiva, adaptándose a las necesidades educativas de los estudiantes de áreas como la medicina, la enfermería, la nutrición, la odontología, entre otras.

Los profesionales de la salud, más que otros, deben ser conscientes de la naturaleza dinámica y compleja de los procesos bioquímicos. Muchos de los desequilibrios en el organismo que llevan a la aparición de enfermedades tienen un origen bioquímico. Los avances en el tratamiento de trastornos metabólicos, el desarrollo de nuevos fármacos y las innovaciones en la medicina personalizada están directamente relacionados con los conocimientos adquiridos en bioquímica. Por ejemplo, la bioquímica clínica ha demostrado ser fundamental en el diagnóstico y monitoreo de diversas patologías, desde la diabetes mellitus hasta los trastornos renales y hepáticos, mediante la identificación y medición de biomarcadores específicos. Esto hace que un sólido conocimiento en bioquímica sea indispensable para la interpretación de pruebas diagnósticas y la toma de decisiones clínicas basadas en datos.

El objetivo principal de este libro es estimular la curiosidad y la comprensión entre los estudiantes, presentando conceptos bioquímicos esenciales de una manera clara y atractiva. Al final de cada capítulo se ofrecen lecturas adicionales y ejercicios prácticos para profundizar el conocimiento del alumno y mejorar su capacidad de aplicar lo aprendido.

Dr. Edgar Edurman García Silvera

Introducción

La bioquímica es una ciencia fundamental para la comprensión de los procesos biológicos y metabólicos que subyacen en el cuerpo humano. Dado que los profesionales de la salud trabajan directamente con el mantenimiento, promoción y restauración de la salud, es esencial que comprendan las bases bioquímicas que regulan el funcionamiento del organismo, permitiéndoles tomar decisiones informadas y efectivas en el tratamiento de enfermedades y la mejora del bienestar. Este libro de bioquímica ha sido diseñado específicamente para estudiantes y profesionales de la salud, con el propósito de proporcionarles las herramientas y conocimientos necesarios para entender los principios bioquímicos y su aplicación en el ámbito clínico.

A lo largo de los años, el avance de la bioquímica ha transformado la medicina, la nutrición y otras disciplinas de la salud, al desentrañar las complejidades del metabolismo humano y los mecanismos moleculares que regulan la vida. Desde la identificación de las enzimas, hasta la elucidación de los procesos metabólicos, la bioquímica ha permitido una comprensión más profunda de cómo las enfermedades afectan al organismo y cómo pueden ser tratadas o prevenidas. Por ejemplo, muchas de las enfermedades metabólicas, como la diabetes mellitus, las dislipidemias o los trastornos del metabolismo de los aminoácidos, tienen su origen en alteraciones bioquímicas que afectan el equilibrio del cuerpo. Por esta razón, es imprescindible que los futuros profesionales de la salud tengan un dominio sólido de los principios bioquímicos, para interpretar las manifestaciones clínicas a través de una perspectiva molecular y celular.

Este libro ha sido estructurado en siete capítulos, con el objetivo de abordar de manera progresiva y comprensible los diferentes temas relacionados con la bioquímica y su relevancia en la formación de los profesionales de la salud. Cada capítulo incluye actividades diseñadas para consolidar el aprendizaje, de modo que el lector no solo adquiera conocimientos teóricos, sino que también desarrolle habilidades prácticas que podrán ser aplicadas en su futuro desempeño profesional.

El primer capítulo proporciona una descripción general de los conceptos metabólicos, comenzando con una introducción a la bioenergética, que explica cómo las células convierten los nutrientes en energía. Se explora el concepto de vías metabólicas, que son las rutas químicas que siguen las células para transformar los nutrientes en compuestos útiles o para eliminar productos de desecho. Este capítulo también destaca la importancia de las enzimas, proteínas especializadas que aceleran las reacciones químicas en las células. Las enzimas, no solo catalizan reacciones esenciales para la vida, sino que también actúan como puntos de control en las vías metabólicas, regulando la velocidad y dirección de los procesos metabólicos según las necesidades de la célula. En este sentido, comprender cómo funcionan las enzimas y cómo pueden ser moduladas es esencial para la aplicación clínica, ya que muchos medicamentos actúan inhibiendo o potenciando la actividad enzimática en el cuerpo.

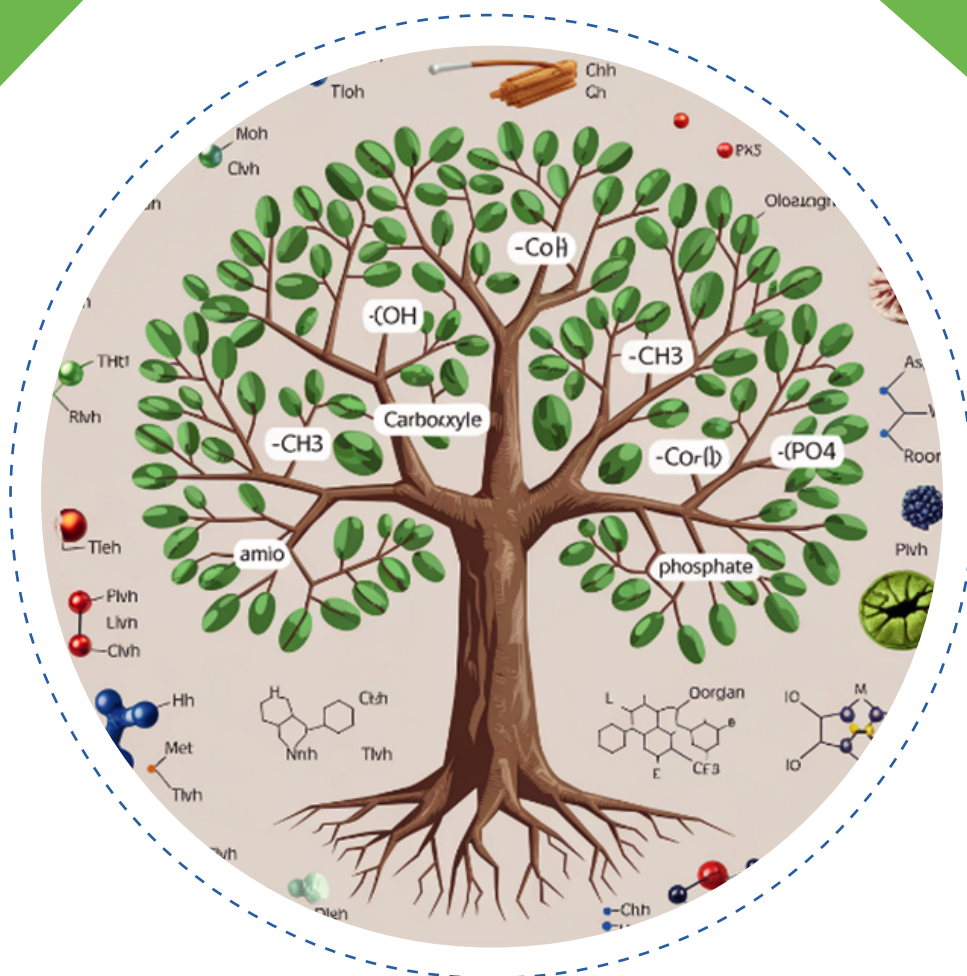
El segundo capítulo explica ampliamente la introducción al estudio de las biomoléculas, como elementos indispensables para la vida, con una visión preliminar de las proteínas, los hidratos de carbono, los lípidos y los ácidos nucleicos. Particularmente, se presenta una caracterización de cada grupo. Dentro de esta misma perspectiva, el tercer capítulo introduce a conceptos fundamentales de la bioquímica, apartado que facilita la comprensión del estudio de las unidades sucesivas.

El capítulo cuarto estudia los carbohidratos, una de las principales fuentes de energía del cuerpo humano. Los carbohidratos juegan un papel crucial en el metabolismo celular, no solo como fuente de energía, sino también como precursores de otras biomoléculas. En esta sección, se examinan las principales vías metabólicas asociadas con los carbohidratos, como la glucólisis, el ciclo de Krebs y la fosforilación oxidativa, así como la importancia del metabolismo de la glucosa en la homeostasis energética del organismo. Además, se aborda la gluconeogénesis, el proceso mediante el cual el cuerpo genera glucosa a partir de precursores no carbohidratos, un mecanismo esencial para mantener los niveles de glucosa en sangre durante el ayuno prolongado. Este capítulo también explora el almacenamiento de glucógeno y su importancia en la regulación del azúcar en la sangre, aspectos críticos para el manejo clínico de enfermedades metabólicas como la diabetes.

El quinto capítulo se dedica al estudio de los lípidos, una clase diversa de biomoléculas que incluyen grasas, aceites, fosfolípidos y esteroides. Los lípidos, no solo son una fuente rica de energía, sino que también son componentes fundamentales de las membranas celulares y precursores de hormonas y otros mediadores biológicos. Este capítulo examina, a profundidad, la β -oxidación de ácidos grasos, un proceso clave en la degradación de los lípidos para la obtención de energía. Además, se explora la biosíntesis de lípidos, particularmente, el proceso de formación de ácidos grasos y triglicéridos, así como la síntesis de colesterol, un lípido que, a pesar de su mala reputación, desempeña un papel esencial en la estructura de las membranas celulares y en la síntesis de hormonas esteroideas. La disfunción en el metabolismo de los lípidos puede conducir a enfermedades graves, como la obesidad, la aterosclerosis y las dislipidemias.

En el sexto capítulo, se aborda el metabolismo de las proteínas, otra clase fundamental de biomoléculas. Las proteínas desempeñan una multitud de funciones en el cuerpo humano, desde actuar como enzimas hasta formar parte de la estructura celular y participar en la señalización celular. Este apartado examina el ciclo de vida de las proteínas, desde su síntesis a partir de aminoácidos hasta su eventual degradación. Se presta especial atención a los aminoácidos esenciales y no esenciales, así como a las vías metabólicas que permiten la síntesis de nuevas proteínas y la degradación de las existentes. Este conocimiento es esencial para comprender condiciones como la desnutrición proteica, las enfermedades genéticas que afectan el metabolismo de los aminoácidos y el papel de las proteínas en la reparación tisular y la respuesta inmunitaria.

El capítulo final examina el metabolismo de alcohol, vitaminas y minerales, elementos que juegan un papel crucial en el desarrollo y mantenimiento del organismo humano. El alcohol, aunque es una fuente de energía, tiene efectos metabólicos adversos cuando se consume en exceso, lo que se traduce en problemas hepáticos y metabólicos. Las vitaminas y minerales, por su parte, actúan como co-factores enzimáticos en numerosas reacciones metabólicas. La deficiencia o exceso de estos micronutrientes pueden ocasionar una variedad de trastornos, desde anemia, por falta de hierro, hasta osteoporosis por deficiencia de calcio. Es así que esta parte explora la importancia de estos micronutrientes, sus fuentes dietéticas y las consecuencias de su desequilibrio.

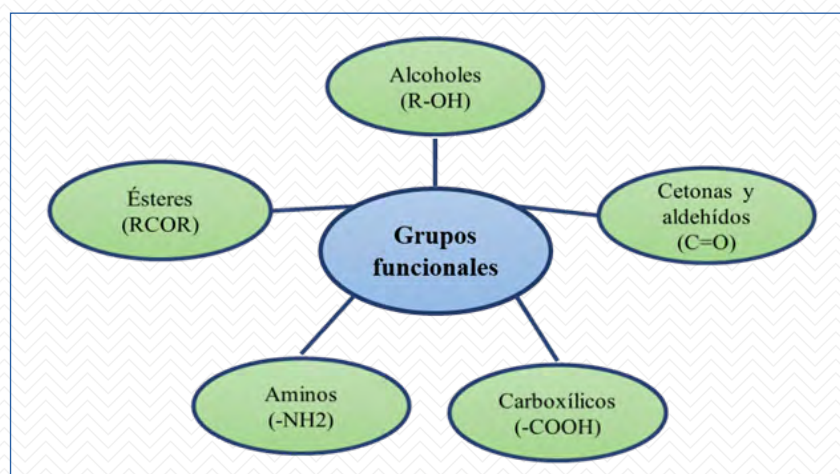


Grupos funcionales

Los grupos funcionales son átomos, o conjuntos de átomos, unidos a una cadena carbonada, que proporcionan las propiedades químicas características de una molécula, determinan las propiedades y la reactividad de las biomoléculas.

Figura 1

Principales grupos funcionales.



Fuente: autoría propia.

Estos grupos desempeñan un papel crucial en las interacciones moleculares y en las reacciones bioquímicas dentro de los sistemas vivos, tales como:

- Determinar la reactividad de las biomoléculas.
- Influir en la solubilidad y el pH.
- Facilitar la formación de enlaces entre moléculas.
- Definir las propiedades físicas y químicas de las macromoléculas biológicas.

Alcoholes

Los alcoholes (R-OH) son compuestos que presentan el grupo OH como característica.

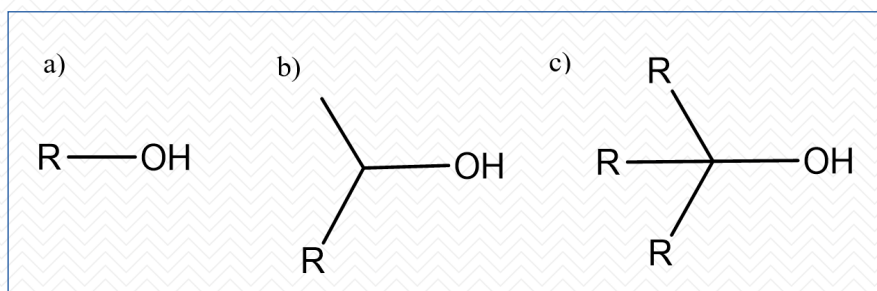
■ Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones

■ Clasificación

Se pueden clasificar como primario, secundarios y terciarios (Figura 2).

Figura 2

Clasificación de los alcoholes: a) primario, b) secundario, c) terciario.



Fuente: autoría propia.

De acuerdo al grado de sustituyentes en el carbono alfa se clasifica el alcohol.

■ *Nomenclatura y estructura*

La clasificación de los compuestos orgánicos consta de cinco aspectos:

- Estereoisomerismo: indica si el doble enlace es cis o trans y si presenta estereocentros R y S.
- Sustituyentes: grupos conectados a la cadena principal.
- Parental: es la cadena principal.
- Insaturación: indica si hay doble o triple enlaces.
- Grupos funcionales.

En la figura 3, se representa los distintos tipos de grupos funcionales. Dentro de estos conjuntos están:

Figura 3

Grupos funcionales y el prefijo para su nomenclatura.

	Clase de compuesto	Sufijo
$R-OH$	Alcohol	ol
$R-\begin{array}{c} H \\ \\ N \\ \\ H \end{array}$	Amina	amina
$R-\begin{array}{c} O \\ \\ R \end{array}$	Cetona	ona
$R-\begin{array}{c} O \\ \\ H \end{array}$	Aldehído	al
$R-\begin{array}{c} O \\ \\ OR \end{array}$	Ester	oato
$R-\begin{array}{c} O \\ \\ OH \end{array}$	Acido	ácido oico

Fuente: autoría propia.

En la Tabla 1, se muestra los prefijos de los nombres de los sustituyentes.

Tabla 1

Correspondencia del número de carbono sustituyente en la cadena carbonada y su prefijo.

Número de átomos de carbonos en sustituyente	Nombre de sustituyente
1	Metil
2	Etil
3	Propil
4	Butil
5	Pentil
6	Hexil
7	Heptil
8	Octil
9	Nonil
10	Decil

Fuente: autoría propia.

En el caso del alcohol, el prefijo es ol, es decir, que si se tiene una cadena carbonada de tres átomos de carbono, se llamará propanol ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{OH}$).

■ Isomería

Son isómeros aquellos compuestos que presentan la misma fórmula global, pero tienen propiedades distintas. La isomería puede ser estructural o estereoisomera. Dentro de la estructural está: isomería de cadena, de posición, y de función. El alcohol presenta las tres isomerías, la de función específicamente es un éter.

■ Propiedades

Si se analiza la estructura de un alcohol, no es más que una combinación de un alcano y agua. Este presenta un lipófilo del tipo alcano y un OH, un hidroxilo similar al agua. El alquilo es el que modifica sus propiedades dependiendo de su tamaño y forma. Los alcoholes presentan altas temperaturas de ebullición, la solubilidad disminuye a medida que incrementa la cadena carbonada especialmente $\text{C} > 5$. La solubilidad se incrementa, entre más grupos OH y ramificado esté la cadena.

■ Reacciones

Dentro de las reacciones de los alcoholes es que los primarios se pueden oxidar y convertirse a aldehído, el secundario a cetona. Por reducción, se puede obtener alcohol de estos mismos grupos funcionales. También realizan reacciones de sustitución y eliminación. Estas reacciones se podrán profundizar en las lecturas que se propondrán al terminar el capítulo.

Cetonas y aldehídos

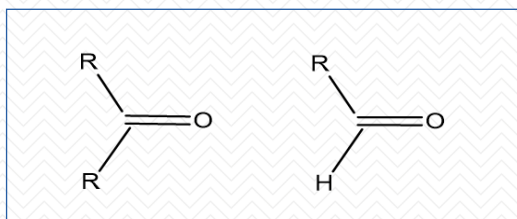
■ Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones

■ Clasificación

Las cetonas y aldehídos contienen el grupo carbonilo C=O . Este grupo es el que determina en gran medida la química de estos compuestos (Figura 4).

Figura 4

Estructuras de la cetona y aldehído respectivamente.



Fuente: autoría propia.

La diferencia en el H del aldehído y la cetona que no presenta H, es lo que hace que los aldehídos se oxiden con mayor facilidad, al contrario de las cetonas que lo hacen con dificultad.

■ *Nomenclatura y estructura*

CH₃-CH₂-CH₂-CH₂-CHO (Pentanal) para el caso de los aldehídos, se le añade el prefijo al.

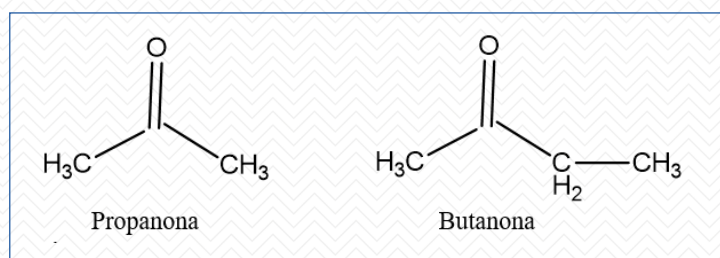
CH₃-CH₂-CH₂-CHO (Butanal)

CH₃-CH₂-CHO (Propanal)

En el caso de las cetonas, se le añade el prefijo ona.

Figura 5

Estructuras de cetonas.



Fuente: autoría propia.

■ *Isomería*

Los aldehídos pueden tener isomería de cadena y de función que, en este caso, es con las cetonas.

■ *Propiedades*

El grupo carbonilo de los aldehídos y cetonas los convierte en sustancias polares. Los puntos de ebullición son elevados, comparados con los compuestos no polares del mismo peso molecular, sin embargo, es menor que la de alcoholes y ácidos, debido a que no son capaces de formar puentes de hidrógeno, debido a que poseen un hidrógeno unido al carbono.

A menor número de carbonos son más solubles en solventes polares. Pero, usualmente, son más solubles en solventes orgánicos.

■ *Reacciones*

La oxidación de estos compuestos en el caso del aldehído se convierte en ácido. El aldehído se forma por la oxidación de alcoholes primarios, en cambio, los alcoholes secundarios darán cetonas. Otras reacciones son: la reducción que forma alcoholes; adición, en especial, a derivados del amoníaco. En la formación de acetales se forman reaccionando un aldehído o cetona con un alcohol, esta agrupación es muy importante en monosacáridos.

Ácidos carboxílicos

Los ácidos carboxílicos, también llamados ácidos grasos, contienen el grupo carboxílico que está compuesto por un grupo carbonilo y un hidroxilo. Esto le confiere características ácidas al compuesto que presenten este grupo.

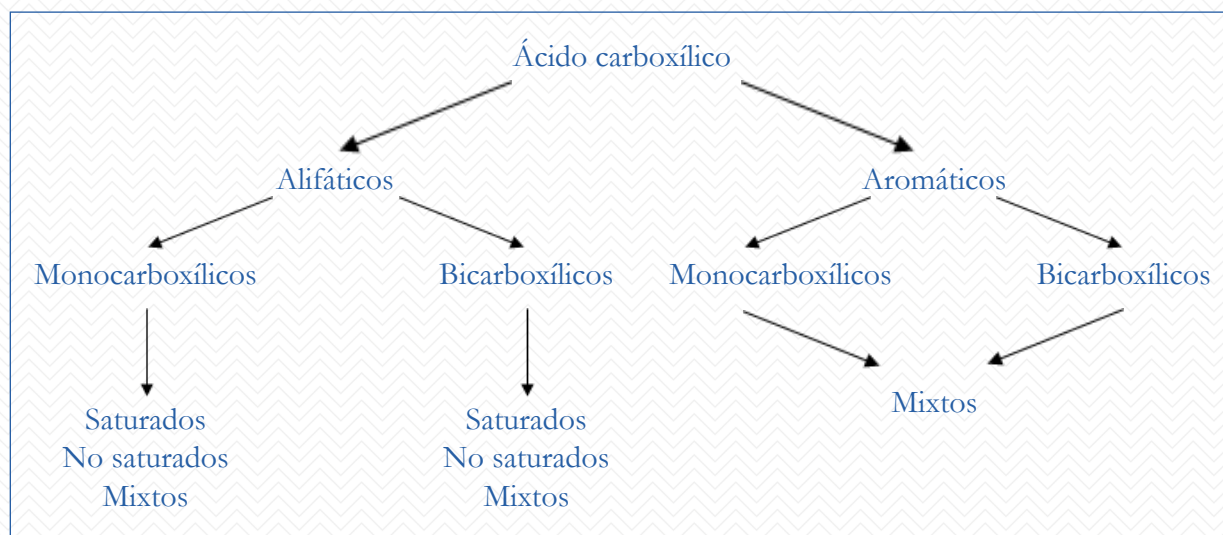
■ Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones

■ Clasificación

Se pueden clasificar de acuerdo al tipo de cadena, atendiendo al número de grupos carboxílicos y mixtos cuando presentan otros grupos funcionales. En la figura 6 se muestra su clasificación.

Figura 6

Clasificación de los ácidos grasos.



Fuente: autoría propia.

■ Nomenclatura y estructura

Su nomenclatura sistemática se obtiene por la adición del sufijo oico. Aunque, frecuentemente, también se le conoce por la fuente de obtención. Por ejemplo, el ácido fórmico proviene de la hormiga, el acético proviene del vinagre, el butírico proviene de la mantequilla, el esteárico del latín stear, sebo, etc.

C-C-C-C-COOH

$\delta \gamma \beta \alpha$

Se le asigna letras griegas al carbono carboxilo para indicar posición de sustituyentes.

CH₃-CH₂-COOH ácido propanoico

Los derivados de ácido se les añade el sufijo ato.

CH₃-CH₂-COONa propanoato de sodio

■ *Isomería*

Los ácidos presentan varios tipos de isomería, como isomería de cadena y de función. En este caso, es el éster e isomería óptica.

■ *Propiedades*

Al igual que los alcoholes, pueden formar puentes de hidrógenos entre sí con el agua. Presenta mayor solubilidad que los alcoholes en agua. A medida que aumenta la cadena carbonada disminuye su solubilidad; son solubles en éter, benceno, alcohol. La temperatura de ebullición crece al incrementar la longitud de la cadena carbonada. Presentan características ácidas, dado por la facilidad con que desprende el protón H^+ .

■ *Reacciones*

Llevan a cabo varias reacciones como la de sustitución del grupo hidroxilo por Cl^- formando los aluros, OR , formando los ésteres, NH_2 , formando las aminas. También, llevan a cabo la reacción de descarboxilación, eliminando así el grupo carboxilo, reaccionando con bases concentradas. La hidrólisis se lleva a cabo en derivados ácidos, formando ácidos grasos. La alcoholisis es la reacción de producción de biodiesel.

Ésteres y éteres

Los ésteres ($RCOR$) se forman al reaccionar un ácido con un alcohol, con pérdida de una molécula de agua. En el caso de los éteres (ROR), se forman al reaccionar dos alcoholes con pérdida de una molécula de agua.

■ *Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones*

■ *Clasificación*

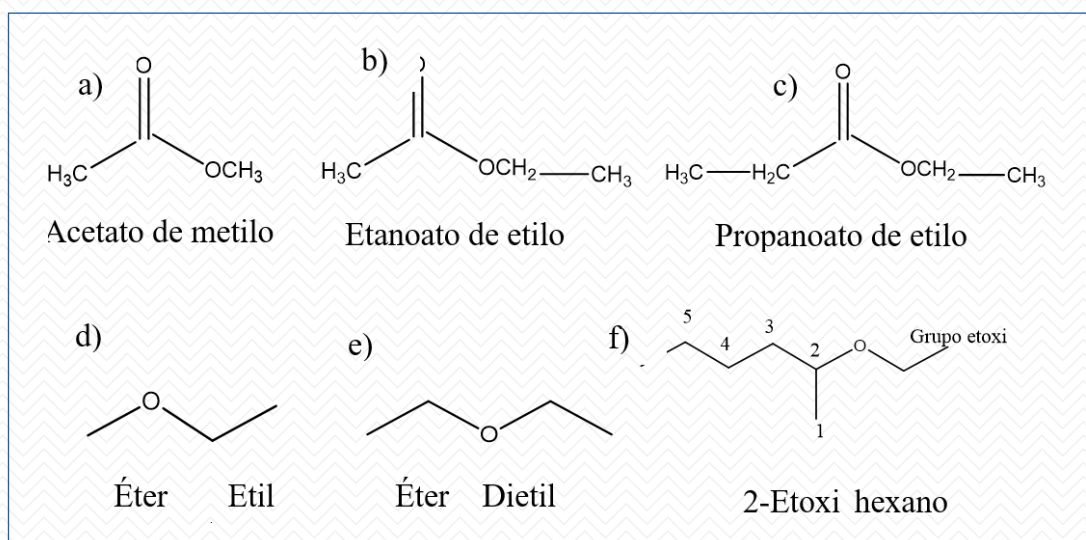
Los ésteres, al igual que los éteres, pueden ser alifáticos o aromáticos.

■ *Nomenclatura y estructura*

En la Figura 7 se representa la estructura, con sus nombres de ésteres y éteres.

Figura 7

Estructura de ésteres (a, b, c) y de éteres (d, e, f).



Fuente: autoría propia.

Los éteres sencillos, sin otros grupos funcionales, se nombran identificando los dos sustituyentes orgánicos, anteponiendo la palabra éter.

En el caso de los ésteres, proceden de condensar ácidos con alcoholes y se nombran como sales del ácido del que provienen. La nomenclatura IUPAC cambia la terminación -oico del ácido por -oato, terminando con el nombre del grupo alquilo unido al oxígeno.

■ Isomería

Ambos presentan isomería de cadena y de función, éteres con alcohol, en el caso de los ésteres con ácidos.

■ Propiedades

Los éteres son excelentes solventes orgánicos. Estos presentan bajo punto de ebullición, por lo que es fácil evaporarlo al usarlo como solvente. El átomo de oxígeno electronegativo les da a los éteres un pequeño momento dipolar y los puntos de ebullición de los éteres son con frecuencia un poco más altos que los puntos de ebullición de los alcanos equiparables.

En el caso de los ésteres, presentan baja temperatura de fusión y ebullición. Al aumentar la cadena carbonada disminuye su solubilidad. Frente a solventes polares disminuye drásticamente a mayor de cinco carbonos, lo contrario si son apolares. Los ésteres más volátiles, tienen olores agradables por lo que suele emplearse en perfumería y condimentos artificiales.

■ Reacciones

Los ésteres pueden convertirse a ácidos por medio de hidrólisis. Se pueden convertir a amidas, a través de la amonólisis. Llevan a cabo la reacción de transesterificación o alcoholisis, muy usada para producir biodiesel. Puede usar reducción para producir alcoholes. En el caso de los éteres, no reaccionan con varios reactivos utilizados en química orgánica, una propiedad que explica su amplio uso como disolventes en reacciones.

Los halógenos, los ácidos diluidos, las bases y los nucleófilos no tienen efecto en la mayor parte de los éteres. De hecho, los éteres sólo experimentan una reacción de uso general: se rompen por ácidos fuertes, el HBr y el HI acuosos funcionan bien, pero el HCl no rompe éteres.

Aminas y amidas

Las aminas muestran considerable basicidad. Se encuentran distribuidas en la naturaleza, formando parte de aminoácidos, ácidos nucleicos, aminoazúcares, etc. Las amidas, por su parte, abundan en todos los organismos vivos.

Las amidas son las menos reactivas de los derivados de ácidos carboxílicos. Las amidas se forman al reaccionar el grupo carboxilo de un ácido con un grupo amino, perdiéndose una molécula de agua. Este tipo de enlace une a los aminoácidos para formar los péptidos y las proteínas.

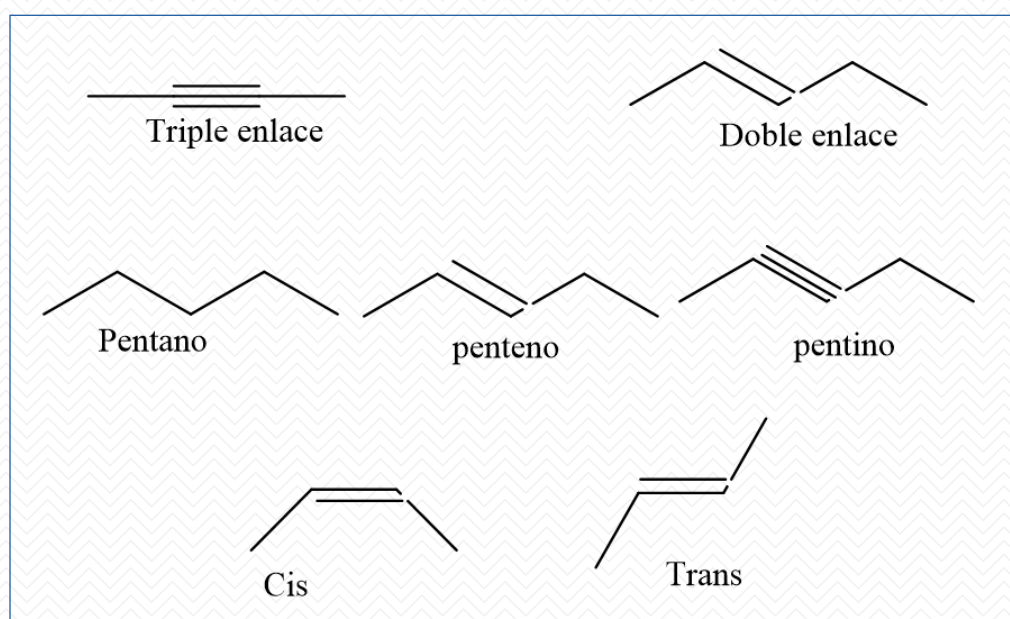
■ Clasificación, nomenclatura, estructura, isomería, propiedades y reacciones

■ Clasificación

Las aminas se pueden clasificar en alifáticas y aromáticas. También, se pueden clasificar en primarias, secundarias o terciarias. Finalmente, se pueden clasificar de acuerdo al número de grupos amino sustituidos.

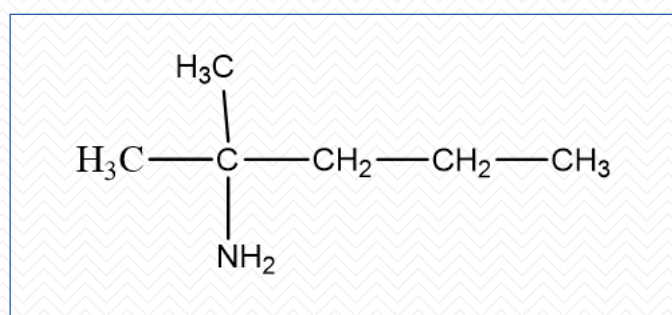
■ Nomenclatura y estructura

Las aminas simples se nombran añadiendo el sufijo amina a los nombres de los grupos alquilo que se encuentran unidos al nitrógeno. Antes de seguir es importante conocer los siguientes aspectos elementales de nomenclatura.

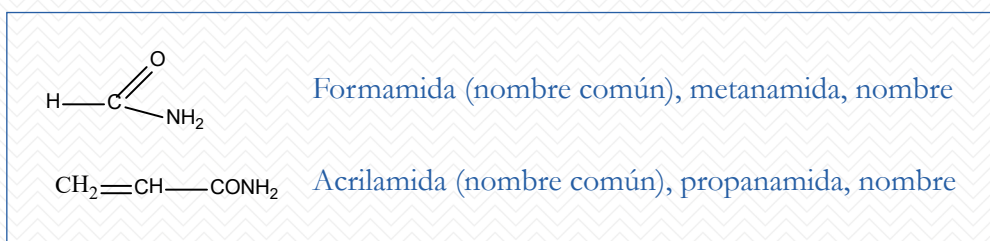
Figura 8*Estructura de las aminas.**Fuente:* autoría propia.

Para la nomenclatura de las aminas:

$\text{CH}_3\text{-NH}_2$ metil amina
 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-NH}_2$ etil amina
 $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-NH-CH}_2\text{-CH}_3$ dietil amina

Figura 9*2-amino, 2-metil pentano.**Fuente:* autoría propia.

En el caso de las amidas, se nombran preferentemente por sus nombres comunes, derivados del ácido del cual se han obtenido.

Figura 10*Estructura y nomenclatura de amidas.**Fuente:* autoría propia.**■ Isomería**

Ambas presentan isomería de posición y de cadena.

■ Propiedades

A excepción de las aminas terciarias, las demás pueden formar puente de hidrógeno. El punto de ebullición es bajo, al contrario de las amidas, que poseen un punto de ebullición altísimo por encima de 200°C.

Las aminas son solubles. Se incrementan más en aminas de bajo peso molecular. También, estas son solubles en solventes poco polares como éter, alcohol, benceno, etc. En el caso de las amidas, la solubilidad es semejante a la de los ácidos carboxílicos: son solubles en alcohol los de menor peso molecular e insolubles en éter o cloroformo.

■ Reacciones

Las aminas se caracterizan por su carácter básico, aceptando protones. Pueden reaccionar con iones metálicos, formando compuestos de coordinación. Además, reacciona con aluros de alquilo, formando sales de alquilamonio. Dentro de las reacciones de las amidas está la hidrólisis, produciendo el ácido carboxílico correspondiente y una sal de amonio. Las amidas no presentan características básicas y puede darse la conversión de amidas en aminas.

Preguntas de reflexión del capítulo I

En esta unidad se dio una panorámica de la química orgánica, analizando las diferentes clasificaciones, nomenclaturas, propiedades de los elementos que se estudian en esta rama de la química. La vida cotidiana está rodeada de estos elementos, gran parte de ellos, forman parte de la vida. Sus propiedades y reacciones hacen de la química orgánica indispensable en la ciencia de la actualidad.

1. Describa como varía el carácter ácido en los ácidos de acuerdo a su estructura.

2. Como varía la solubilidad en alcoholes con la variación de su estructura de primaria, secundaria y terciaria.
.....
3. Explique por qué el éter es poco reactivo.
.....
4. Explique porque las amidas no presentan un carácter básico.
.....
5. Explique en qué consiste la isomería, de cadena, de posición, de función y óptica.
.....
6. ¿Qué es isomería? Clasifíquelas y ponga ejemplo de cada una de ellas.
.....
7. La oxidación de un aldehído ¿qué producto se obtendría? Represente una reacción de este tipo.
.....
8. ¿Cómo se obtiene un éster? Exponga al menos dos propiedades físicas del éster.
.....

Actividades de trabajo del capítulo I

1. Escriba las fórmulas estructurales de las aminas isómeros de fórmula C_2H_7N . Nombre los compuestos y clasifique cada una como primarias, secundarias y terciarias.
.....
2. Realice un resumen de las reacciones químicas fundamentales de los alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, ésteres, amidas y aminas.
.....
3. Cree, empleando materiales desechables, un éster y un éter y sus isómeros de función.
.....
4. Realice una investigación documental de las aplicaciones prácticas e industriales de cada elemento de estudio que se estudió en la unidad.
.....
5. Analizar los videos que se muestran a continuación y realizar una breve discusión de los mismos.
 - a) Puntaje Nacional Chile. (2017). Reacciones en química orgánica/PSU química/Clase No 17. <https://www.youtube.com/watch?v=LzdVcAEo9B4>
 - b) Puntaje Nacional Chile. (2017). Nomenclatura y grupos funcionales/PSU química/Clase No 16. <https://www.youtube.com/watch?v=E80oIukPuio>
 - c) Khan Academy Español. (2014). Introducción a los mecanismos de reacción. <https://www.youtube.com/watch?v=PYkbIbdzuKQ>
.....



CAPÍTULO II

INTRODUCCIÓN A LAS BIOMOLÉCULAS



Introducción a las biomoléculas

El objetivo particular de este capítulo es ofrecer un panorama general de la estructura molecular de las biomoléculas y su función en el organismo.

Proteínas

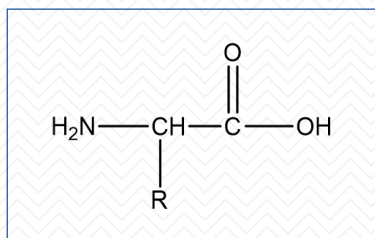
Las proteínas son polímeros de aminoácidos unidos por el enlace peptídico. Cuando el peso molecular es menor a 5000, se les llama oligopéptidos. Mayor a este peso molecular se les denomina proteínas. Dentro de sus funciones biológicas se desarrolla como enzima, transporte, estructurales, defensa y reguladoras.

■ Aminoácidos

Como se dijo anteriormente, los aminoácidos son los constituyentes de las proteínas. Estos son ácidos orgánicos en los que un hidrógeno está sustituido por un grupo amino. Su estructura general se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Estructura de los aminoácidos.



Fuente: autoría propia.

Donde R, representa un residuo de cadena carbonada, es lo que diferencia a los distintos aminoácidos. Estos pueden ser una cadena alifática, tener grupos químicos como OH, SH, NH₂, COOH o anillos aromáticos, heterociclos.

Los aminoácidos también se nombran con abreviaturas y con una letra, que identifican a cada uno de ellos (Tabla 2).

Tabla 2

Simbología de los aminoácidos, peso molecular, punto isoelectrico y clasificación de los aminoácidos según su número de grupos carboxilos y aminos en la molécula.

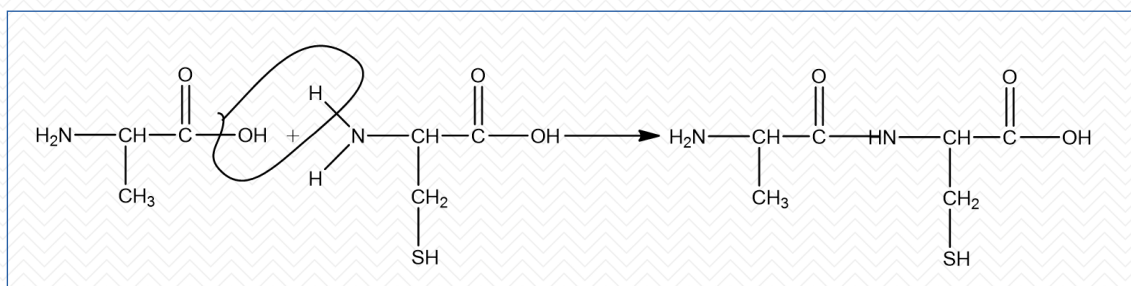
Nombre	Abreviatura	Letra	Peso Molecular	Punto isoelectrico
Alanina	Ala	A	89	6.01
Arginina	Arg	R	174	10.76
Acido aspártico	Asp	D	133	2.77
Asparagina	asN	N	132	5.41
Cisteína	Cis	C	121	5.07
Acido glutámico	Glu	E	147	3.22
Glicina	Gli	G	75	5.97
Glutamina	glN	Q	146	5.65
Histidina	His	H	155	7.59
Isoleucina	Ile	I	131	6.02
Leucina	Leu	L	131	5.98
Lisina	Lis	K	146	9.74
Metionina	met	M	149	5.74
Fenilalanina	Fen	F	165	5.48
Prolina	Pro	P	115	6.3
Serina	Ser	S	105	5.68
Treonina	Tre	T	119	5.6
Triptófano	Tri	W	204	5.89
Tirosina	Tir	Y	181	5.66
Valina	Val	V	117	5.96

Nota. Color negro: aminoácidos neutros; color rojo: aminoácidos básicos; color amarillo: aminoácidos ácidos. *Fuente:* autoría propia.

Como se muestra en la tabla, existen 20 α aminoácidos y 19 de ellos son aminas primarias. A excepción de la glicina, el resto de los aminoácidos son centros quirales. El punto isoelectrico de un aminoácido es el valor del pH donde la carga neta es cero.

■ Formación del enlace peptídico

El enlace peptídico es una amida sustituida, se forma al reaccionar el grupo carboxilo de un aminoácido con el grupo amino del otro aminoácido, perdiendo en el proceso una molécula de agua (Figura 13).

Figura 12*Formación del enlace peptídico.**Fuente:* autoría propia.

Este enlace permite la formación de péptidos y proteínas. Además, es un enlace que limita el giro de los elementos que la componen y presenta una conformación tipo trans.

■ Estructura de las proteínas

Las proteínas suelen clasificarse en dos categorías principales, en función de su conformación tridimensional: fibrosas o globulares. Las proteínas fibrosas, como el colágeno, presente en los tendones y en el tejido conectivo o la miosina en el tejido muscular. Estas están compuestas por cadenas de polipéptidos dispuestas lateralmente en filamentos de considerable longitud.

Por otro lado, las proteínas globulares tienden a enrollarse en formas compactas que se asemejan a esferas. Generalmente, estas proteínas son solubles en agua, permitiéndoles desplazarse dentro de las células. La mayoría de las aproximadamente 3.000 enzimas que se han caracterizado hasta la fecha, pertenecen a la categoría de proteínas globulares.

Al describir las proteínas, se reconocen cuatro niveles distintos de estructura. La estructura primaria de una proteína se define como la secuencia lineal de aminoácidos que la componen. La estructura secundaria, por su parte, se refiere a la disposición de segmentos del esqueleto del péptido en un patrón regular; las principales estructuras secundarias son la alfa-hélice y la conformación beta.

La estructura terciaria describe el modo en que toda la molécula de proteína se pliega en una conformación tridimensional global. Cuando una proteína adquiere esta forma, se considera que está en su estado nativo, que es esencial para que la proteína ejerza su función biológica.

Finalmente, la estructura cuaternaria se refiere a la forma en que diferentes moléculas de proteínas se ensamblan para formar estructuras complejas de mayor tamaño. La estructura primaria se determina a través de procesos de secuenciación de la proteína, mientras que las estructuras secundarias, terciarias y cuaternarias se esclarecen mediante técnicas de cristalografía de rayos X.

■ Desnaturalización de proteínas

La presencia de agentes químicos o físicos, puede incidir en el rompimiento de la estructura terciaria de la proteína, debido a la ruptura de interacciones no covalentes como puentes de hidrógeno, uniones hidrofóbicas, entre otras. Además, del rompimiento de los puentes disulfuros, los químicos como alcoholes, acetona, urea y detergentes destruyen las uniones hidrofóbicas.

En este sentido, agentes físicos como variación extrema de pH o la temperatura, afectan los puentes de hidrógeno de la proteína. Aunque la estructura terciaria puede reorganizarse, en un proceso llamado renaturalización.

Hidratos de carbono

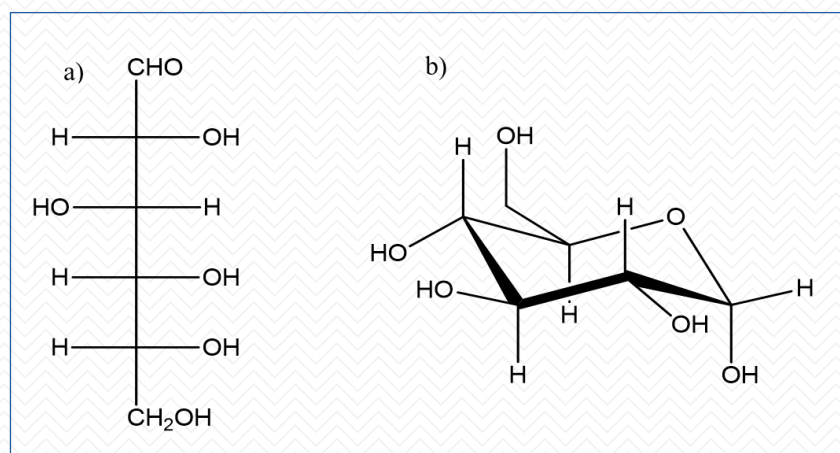
Los hidratos de carbono o carbohidratos, también llamados glúcidos, se encuentran en todos los organismos vivos. Su función es almacenar energía y formar parte de componentes estructurales, como por ejemplo la pared celular. En la naturaleza, su producción se realiza por las plantas verdes, a través del proceso de fotosíntesis.

■ Características y clasificación

Los carbohidratos se pueden definir como polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas. Estos, en su hidrólisis producen aldehídos o cetonas. Se clasifican en simples y complejos. Entre los simples están los monosacáridos o azúcares simples, como la glucosa y fructosa. En cambio, los complejos se forman por dos o más azúcares unidos por el enlace acetal. Entre este grupo se encuentra la sacarosa, maltosa, celulosa, almidón, etc.

Figura 13

Representación esquemática de la glucosa. a) Representación lineal, b) Representación de Reeves en forma de silla.



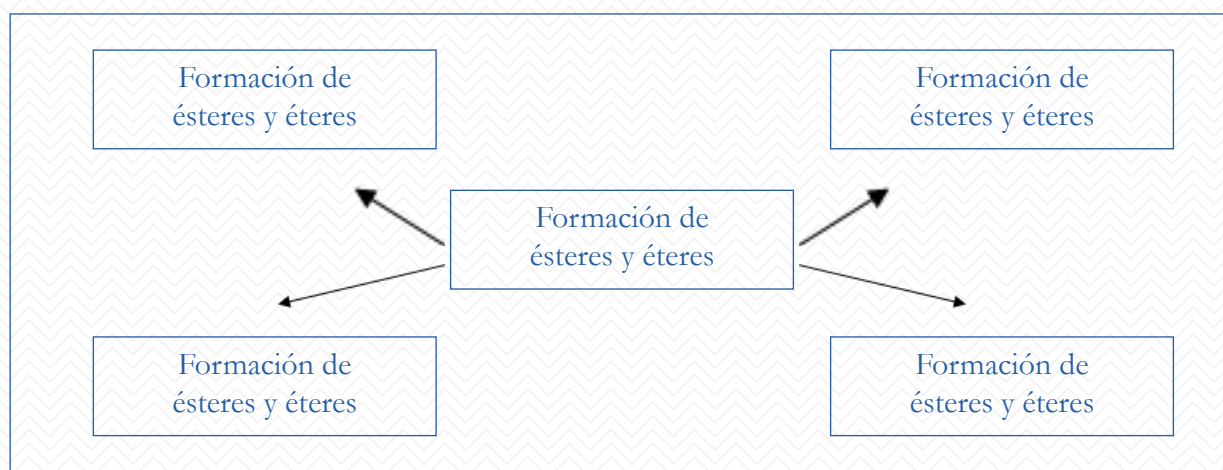
Fuente: autoría propia.

■ Reacciones de los monosacáridos

Debido a que los monosacáridos sólo contienen dos tipos de grupos funcionales, hidroxilos y carbonilos, la mayor parte de la química de los monosacáridos corresponde a estos dos grupos. Los alcoholes pueden convertirse a ésteres y éteres y pueden oxidarse. Los compuestos carbonílicos pueden reaccionar con nucleófilos y pueden reducirse (Figura 14).

Figura 14

Estructura de los aminoácidos.



Fuente: autoría propia.

Los monosacáridos son dulces, cristalinos y solubles en agua; son ópticamente activos. Dentro de los disacáridos tenemos a la maltosa, celobiosa, lactosa, sacarosa.

■ Polisacáridos

Los polisacáridos son compuestos de alto peso molecular, formados por múltiples monosacáridos, unidos mediante enlaces glucosídicos. Sus funciones, más generales, son las de almacenamiento (almidón en plantas y glucógeno en animales); estructural (celulosa en vegetales, la quitina en artrópodos y los glicosaminoglicanos, en vertebrados) y reconocimiento.

Se pueden clasificar como homopolisacárido (aquellos que contienen una sola unidad básica estructural como la celulosa, el almidón y unidades de glucosa) y los heteropolisacáridos, que se caracterizan por unidades estructurales distintas, como las gomas y resinas. Estos compuestos son insolubles en agua.

Lípidos

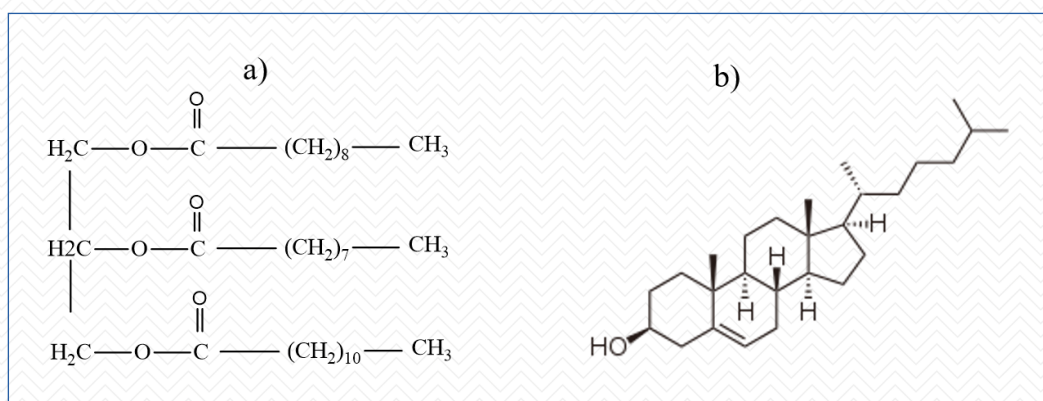
Los lípidos poseen una alta cantidad de ácidos grasos o de cadenas hidrocarbonadas las que, debido a su proporción apolar, su solubilidad en agua es escasa.

■ Clasificación de lípidos

Los lípidos se clasifican en dos tipos generales: los que son semejantes a las grasas y las ceras, contienen enlaces éster y pueden hidrolizarse; aquellos semejantes al colesterol y otros esteroides, no tienen enlaces éster y no pueden hidrolizarse, tal como lo muestra la Figura 15.

Figura 15

Representación de lípidos: a) Triacilglicerol, b) Colesterol.

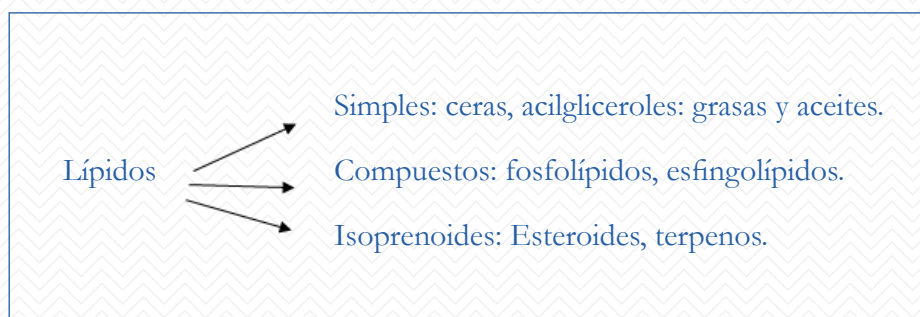


Fuente: autoría propia.

También se pueden clasificar de acuerdo a su similitud estructural.

Figura 16

Clasificación de lípidos de acuerdo a su similitud estructural.



Fuente: autoría propia.

Ceras. Son ésteres formados por un ácido carboxílico de alto peso molecular (16-36 carbonos) y un alcohol de cadena larga (24-36 carbonos). Sus fuentes provienen de la cera de la abeja, de caña, de palmas.

Aceites. Son líquidos a temperatura ambiente. Por su insaturación presentan este estado líquido. Ejemplo de ellos están los ácidos oleico, linoleico, linolénico. La fuente de obtención proviene de aceite de semillas, de animales como del hígado de pescado.

Figura 17

[illegible]

Figura 18

$$\begin{array}{c}
 \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\text{C}-(\text{CH}_2)_{16}-\text{CH}_3 \\
 | \\
 \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-(\text{CH}_2)_{16}-\text{CH}_3 \\
 | \\
 \text{H}_2\text{C}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-(\text{CH}_2)_{16}-\text{CH}_3
 \end{array}
 + \text{NaOH}/\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}^+ + \begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ | \\ \text{CH}-\text{OH} \\ | \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array}$$

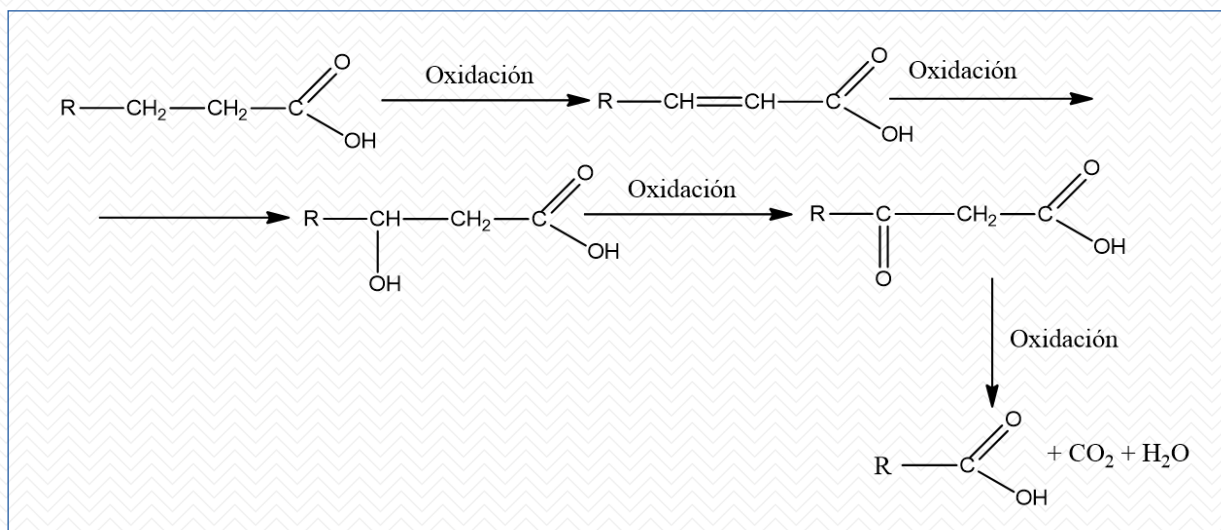
Jabón

Índices importantes en la medición de lípidos. Índice de yodo: da la idea del grado de saturación de una grasa; índice de saponificación: permite determinar el peso molecular de un triglicérido; índice de acidez: da la cantidad de KOH necesario para neutralizar los ácidos.

Otra reacción importante es la beta-oxidación que sufre los ácidos carboxílicos (Figura 19).

Figura 19

Reacción de la beta-oxidación.



Fuente: autoría propia.

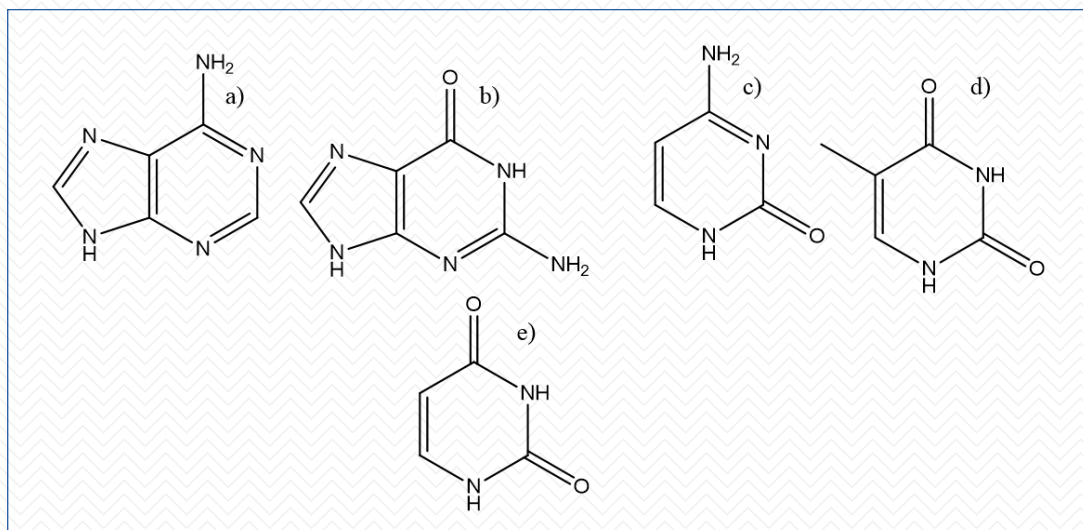
Ácidos nucleicos

Los ácidos nucleicos, ácido desoxirribonucleico (ADN) y ácido ribonucleico (ARN), son los mensajeros químicos de la información genética de las células relacionado con su funcionamiento. Los ácidos nucleicos son biopolímeros conformados de nucleótidos unidos entre sí formando una cadena larga. Cada nucleótido está compuesto de un nucleósido, unido a un grupo fosfato y cada nucleósido está compuesto de un azúcar aldopentosa, unida a través de su carbono anomérico al átomo de nitrógeno de una base heterocíclica de purina o de pirimidina. En la Figura 20 se muestran las diferentes bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos.

El componente azúcar en el ARN es la ribosa, y el azúcar en el ADN es la 2-desoxirribosa. (El prefijo 2-desoxi indica que falta el oxígeno de la posición 2 de la ribosa.) El ADN contiene cuatro amino bases distintas, dos purinas sustituidas (adenina y guanina) y dos pirimidinas sustituidas (citosina y timina). Solo el uracilo (U), se sustituye en el ARN por la timina (T).

Figura 20

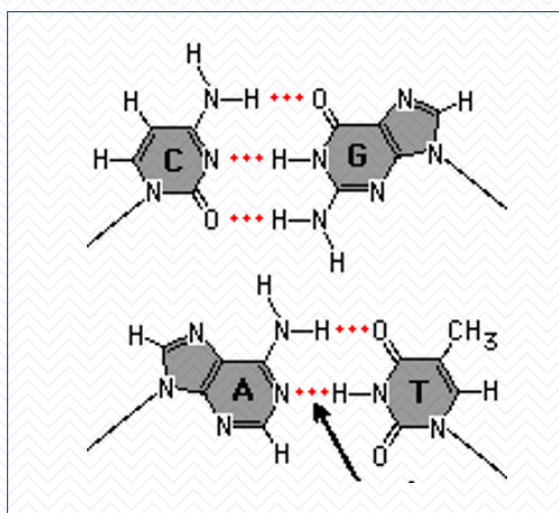
Representación de las bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos. a) adenina (A), b) guanina (G), c) citosina (C), d) timina (T), e) Uracilo (U).



Fuente: autoría propia.

Figura 21

Apareamiento de bases según las reglas de Chargaff.



Fuente: tomado de <http://www.maph49.galeon.com/adn/chembase.html>

Según Chargaff, el apareamiento de bases se forma por A-T, G-C, cualquier otro par de bases distorsionaría la hélice del ADN (Figura 21). Existen otras formas del ADN celular, como, por ejemplo: ADN viral, ADN de plásmidos, ADN mitocondrial. Los ARN, son menos estables que el ADN. Existen tres tipos de ARN: mensajero, de transferencia y el ARN ribosomal.

El dogma de la biología dice que la información genética se transfiere del ADN al ARNm,

para así en los ribosomas producir la proteína. La complementariedad de las dos cadenas de ADN es fundamental para su función como almacén de información genética, ya que esta información debe replicarse para cada nueva generación. Como sugirieron inicialmente Watson y Crick, las hebras separadas del ADN guían la síntesis de cadenas complementarias, lo que genera dos moléculas de ADN de doble cadena idénticas.

Las cadenas parentales actúan como plantillas para la formación de las nuevas cadenas, ya que su secuencia de nucleótidos determina la secuencia de nucleótidos en las cadenas nuevas. Cuando una célula se divide, cada célula hija recibe información genética en forma de moléculas de ADN que contienen una hebra antigua y una nueva.

Preguntas de reflexión del capítulo II

En esta unidad se ha abarcado el estudio general de las biomoléculas. El papel que juegan en el desarrollo de la vida es vital, de ahí la importancia de estudiarlas. Con las preguntas, se profundizará algo más relacionado con las biomoléculas.

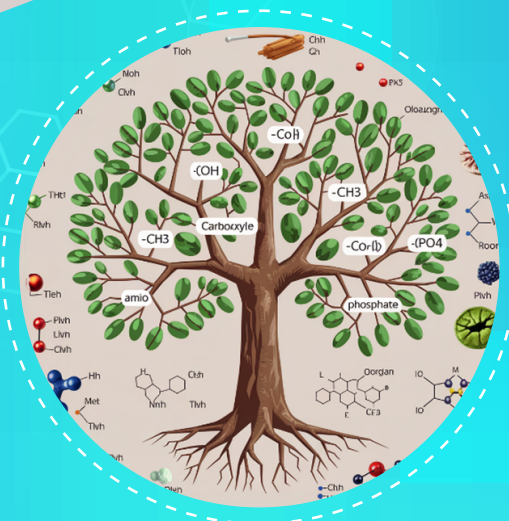
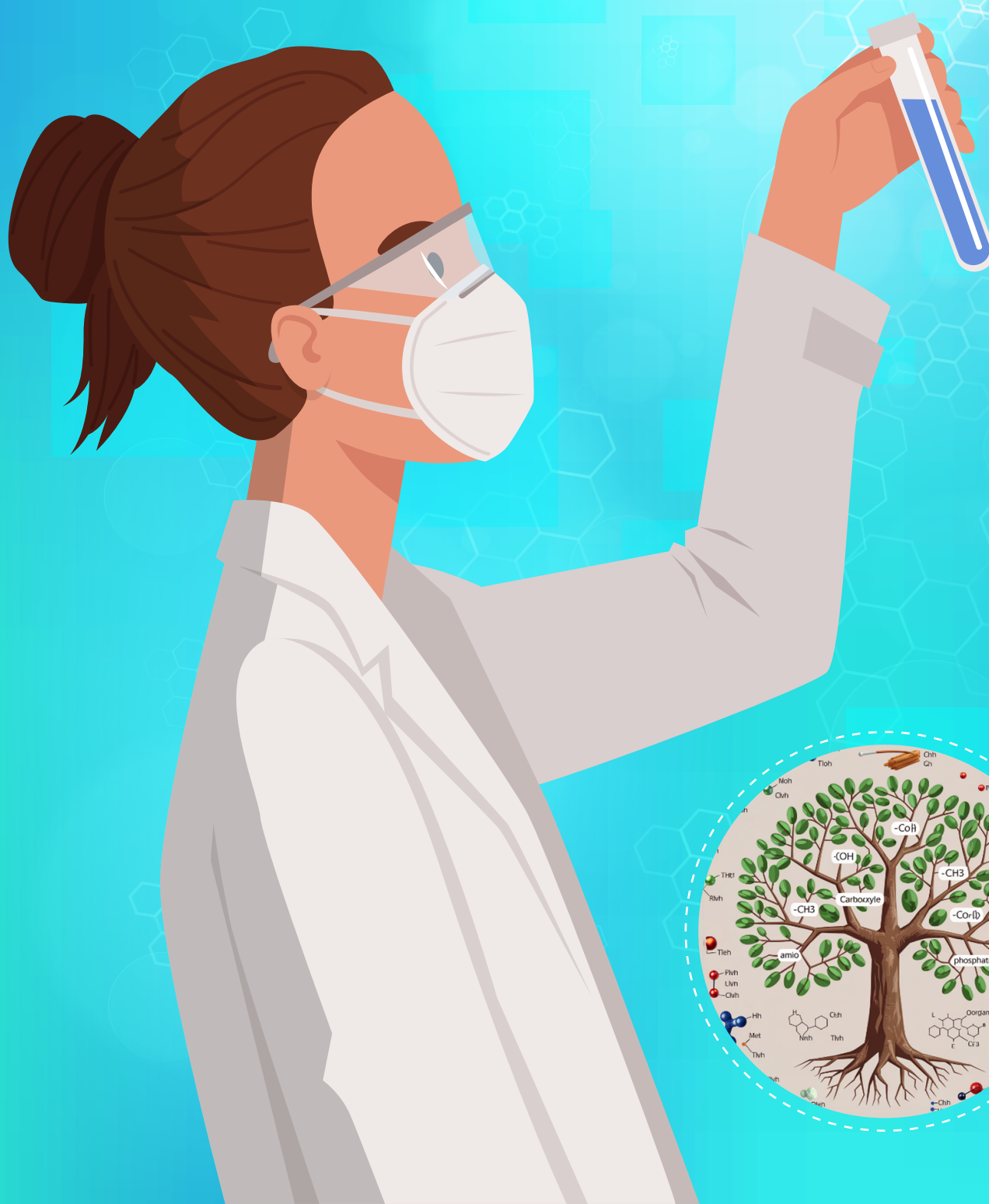
1. ¿Por qué el ADN es quien contiene la información genética y no el ARN?
2. Explique la importancia de la variabilidad estructural de las proteínas?
3. ¿Qué ventaja tiene el jabón de ser anfipático?
4. ¿Cuál es la importancia funcional de los polisacáridos?
5. ¿Qué funciones presentan los lípidos complejos en el organismo?
6. ¿Qué se entiende por estructura primaria, secundaria en proteínas?
7. ¿Cómo se forma el enlace peptídico?
8. Describa y compare los ácidos grasos saturados e insaturados, atendiendo a sus propiedades físicas

Actividades de trabajo del capítulo II

1. Realizar una investigación del empleo de los lípidos en la industria.
2. Explique los mecanismos de desnaturalización de proteínas y de ácidos nucleicos.
3. Desglose la beta-oxidación en un triglicérido y explique qué importancia biológica tiene?
4. Explique por qué el ácido glutámico presenta un punto isoelectrico más bajo que la glicina.
5. Realizar un resumen de la literatura obligatoria



INTRODUCCIÓN A CONCEPTOS GENERALES



Introducción a conceptos generales

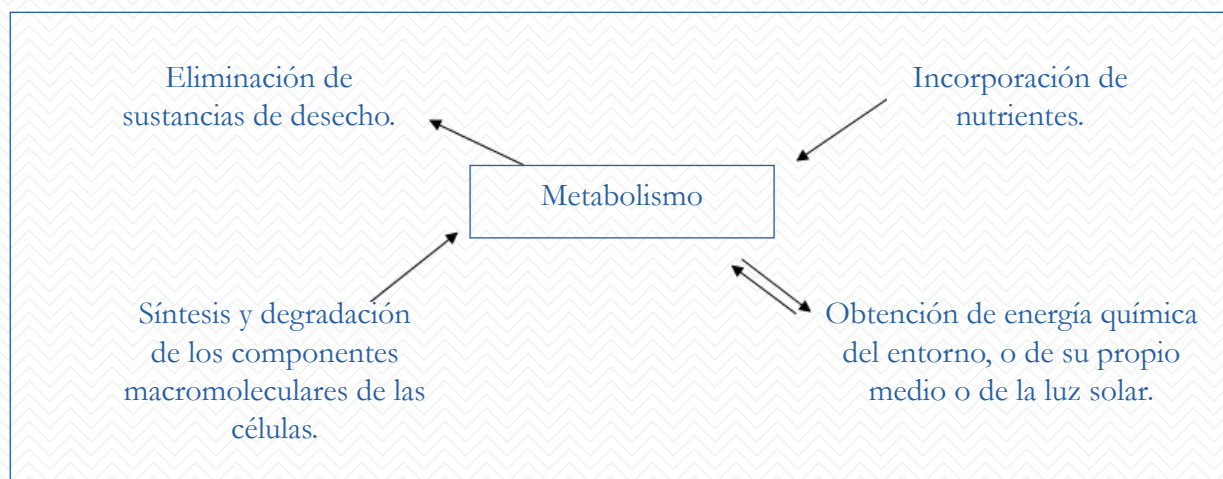
Al finalizar la unidad, el estudiante identificará los principios básicos del metabolismo energético y sus factores involucrados.

Visión de conjunto del metabolismo

El metabolismo se define como el proceso general por el que los sistemas vivos intercambian sus componentes y energía con el entorno, para llevar a cabo sus diversas funciones. Un resumen de dichas funciones se muestra en la Figura 22.

Figura 22

Funciones del metabolismo.

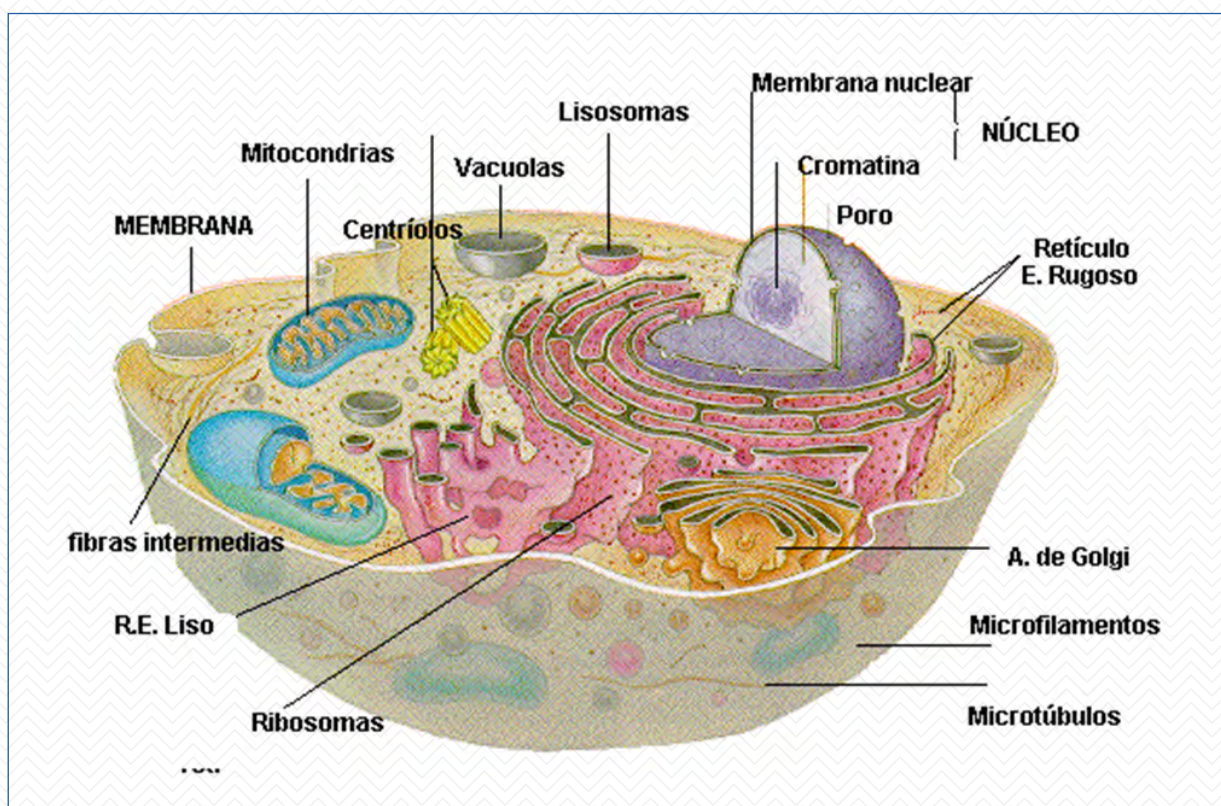


Fuente: autoría propia.

Todas estas funciones son llevadas a cabo por la célula, forma fundamental de organización de la materia viva. La comprensión del funcionamiento celular es vital para el entendimiento de los fenómenos biológicos en su conjunto.

■ Estructura de la célula eucariota

La célula representa la forma más avanzada del desarrollo de la materia en el universo. Entre las características que distinguen a una célula eucariota de una procariota es la posesión de un núcleo bien delimitado, aspecto que no cumplen estas últimas. También, las primeras poseen varios órganos celulares y sistemas membranosos que se representan en la Figura 23.

Figura 23*Estructura de una célula eucariota.*

Fuente: tomado de www.thinkinglink.com/scene/703192346027622402

A continuación, se explican las funciones de algunos organelos presentes en la célula de la Figura 23.

Mitocondria. Son los organelos encargados de la producción de energía celular. En este organelo se transforma la energía contenida en las moléculas orgánicas complejas en energía química, en forma de ATP (Adenosintrifosfato). También, se vinculan tres procesos oxidativos finales: el ciclo de los tricarboxílicos, la cadena respiratoria y fosforilación oxidativa.

Centríolos. Es el principal centro organizador de los microtúbulos que caracterizan la geometría espacial de la posición de los organelos en el citoplasma de la célula. Además, actúa en el desplazamiento de macromoléculas en el citoplasma.

Núcleo. Es en donde se encuentra la mayor parte del material genético celular, siendo el centro de control de la célula. La principal función del núcleo es mantener la integridad de los genes y la regulación de la expresión genética.

Retículo endoplasmático. Su función fundamental es la síntesis de proteínas, en especial glicoproteínas.

Complejo de Golgi. Se considera un centro de procesamiento y distribución de biomoléculas dentro de la célula, principalmente, glicoproteínas y glicolípidos.

Ribosomas. Organelo implicado en la síntesis de proteínas, donde lee el ARNm y ensambla los aminoácidos por el ARN de transferencia para formar la proteína.

Lisosoma. Está implicado en la degradación de diferentes biomoléculas. Además, participa en el intercambio de componentes celulares y la remodelación de tejidos durante la embriogénesis y el desarrollo.

Nucleolo. Es donde ocurre la síntesis de los ARN ribosomales. Además, aquí se forman las subunidades de los ribosomas.

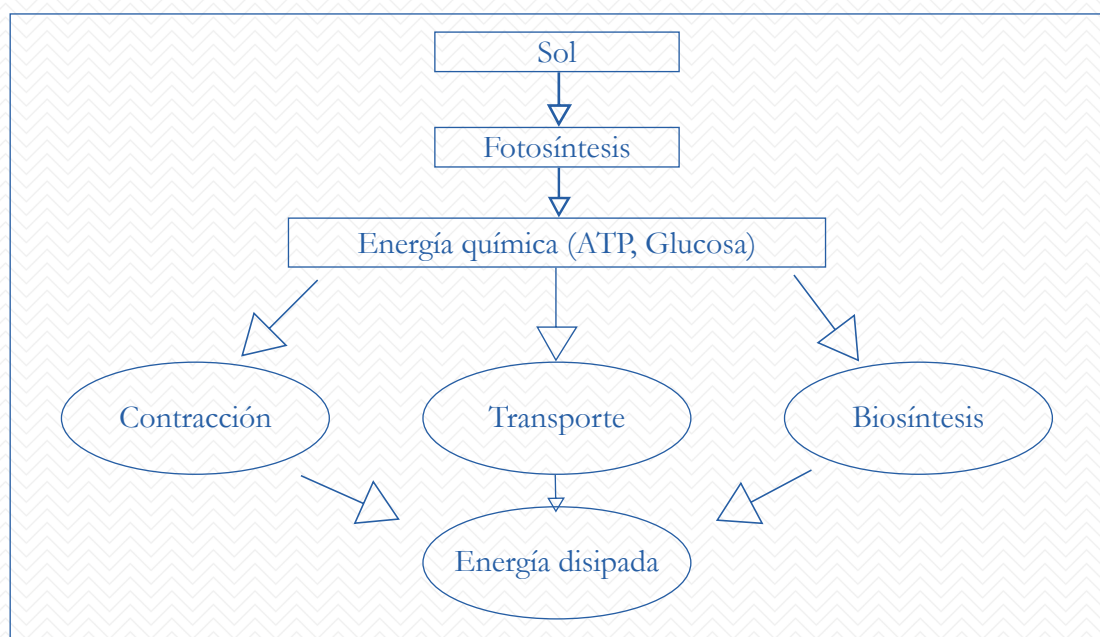
Membrana celular. Su función es darle forma a la célula. Este revestimiento delimita la célula del medio exterior y regula la presión osmótica del medio interno por la permeabilidad selectiva que presenta.

Principios básicos de bioenergética (energía), Adenosintrifosfato (ATP) y metabolismo

En el organismo existen diversos procesos que requieren energía, como la síntesis de biomoléculas, el transporte, a través de las membranas, entre otras. Ahora, la pregunta es ¿de dónde obtienen la energía? Una gran parte se obtiene de glúcidos, grasas y proteínas. Ahora, un principio en la bioenergética es que la transferencia de energía, entre sustratos y productos, son catalizadas por enzimas. Esto posibilita el acoplamiento energético. Es así que, la energía que emplean los organismos para llevar a cabo sus funciones puede provenir de diversas fuentes.

Figura 24

Flujo de energía empleada por los organismos.



Fuente: autoría propia.

En la Figura 24 se representan distintas fuentes de energía de los organismos vivos. La fuente primaria es el sol, produciendo la fotosíntesis y sus componentes (glucosa y otros). La oxidación de la glucosa conlleva a la liberación de energía libre, conservada en energía química, específicamente en moléculas de ATP. Así el ATP se esparce hacia aquellos procesos celulares en los que sea necesaria su presencia.

■ Función bioenergética del ATP

La primera ley de la termodinámica establece que la energía total de un sistema, incluyendo sus alrededores, se mantiene constante. Esto significa que, dentro del sistema total, esta no se pierde ni se crea a ningún momento, sin embargo, puede transferirse de una parte del sistema a otra o transformarse en diferentes formas. En los sistemas vivos, la energía química se convierte en calor o en energías eléctrica, radiante o mecánica.

La segunda ley de la termodinámica establece: para que un proceso ocurra de manera espontánea, es necesario que la entropía total de un sistema aumente. La entropía refleja el grado de desorden o aleatoriedad del sistema y alcanza su valor máximo cuando el sistema llega al equilibrio. Bajo condiciones constantes de temperatura y presión, la relación entre el cambio de energía libre (ΔG) de un sistema en reacción y el cambio de entropía (ΔS) se expresa mediante la siguiente ecuación, que combina las dos leyes de la termodinámica:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Donde ΔH es el cambio de la entalpía (calor) y T es la temperatura absoluta.

Cuando ΔG es menor que cero, se dice que la reacción es espontánea o exergónica. Por el contrario, una reacción no espontánea o endergónica tiene un cambio de energía libre mayor que cero. En este caso, la reacción inversa es espontánea.

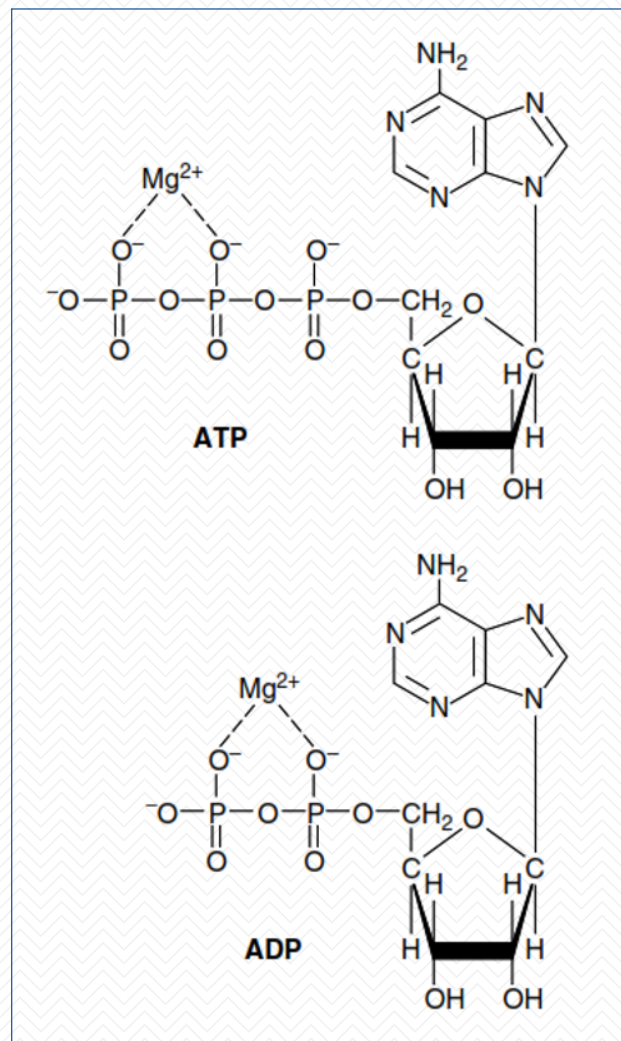
Los términos exergónico y endergónico, en lugar de los términos químicos habituales “exotérmico” y “endotérmico”, indican que un proceso está acompañado por una pérdida o ganancia, respectivamente, de energía libre en cualquier forma, no necesariamente como calor. En la práctica, un proceso endergónico no puede ocurrir de forma independiente: debe ser parte de un sistema acoplado exergónico-endergónico, donde el cambio neto general es exergónico. Las reacciones exergónicas, que implican la descomposición u oxidación de moléculas de combustible, se conocen como catabolismo; mientras que las reacciones sintéticas que acumulan sustancias se denominan anabolismo. Juntas, las reacciones catabólicas y anabólicas constituyen el metabolismo.

Los procesos vitales, como las reacciones sintéticas, la contracción muscular, la conducción de impulsos nerviosos y el transporte activo, obtienen energía mediante el acoplamiento con reacciones oxidativas. Un método alternativo, para acoplar un proceso exergónico a uno endergónico, consiste en sintetizar un compuesto de alta energía potencial durante la reacción exergónica e incorporar este compuesto en la reacción endergónica. Esto permite transferir energía libre desde la vía exergónica hacia la reacción endergónica.

En la célula viva, el principal intermediario de alta energía o compuesto acarreador es el trifosfato de adenosina (ATP).

Figura 25

Trifosfato de adenosina (aTp) y el difosfato de adenosina mostrados como complejos de magnesio.



Fuente: autoría propia.

■ Orden biológico, catabolismo, anabolismo

El metabolismo es dividido en dos partes:

Catabolismo. Es la fase de degradación del metabolismo, donde los nutrientes y constituyentes celulares se transforman en constituyentes más simples. En este proceso ocurren reacciones oxidativas en las que se desprende energía químicamente utilizable (ATP).

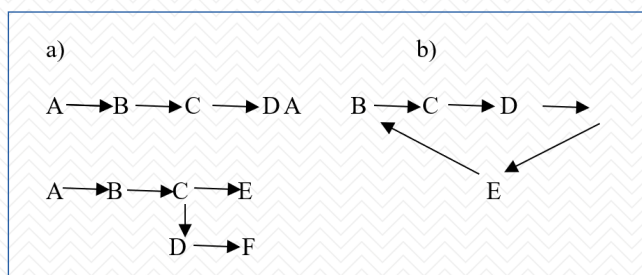
Anabolismo. Es la fase de biosíntesis, en las que las biomoléculas son sintetizadas de componentes simples. Estos procesos ocurren con consumo energético (ATP), además, suelen emplear etapas reductoras usando NADPH (Nicotinamida adenina dinucleótido fosfato) y otros.

■ Vía metabólica, ciclo metabólico, vías anfibólicas

Las reacciones que se llevan en el metabolismo pueden ser lineales o vías metabólicas (Figura 26a) y cíclicas (Figura 26b).

Figura 26

Ejemplos de las secuencias de reacciones en el metabolismo.



Fuente: autoría propia.

Las transformaciones que ocurren son graduales, comenzando con un metabolito A. Este se va transformando hasta llegar al producto final (Figura 26a). En el caso de ciclo metabólicos, los productos de cada reacción son el sustrato de la siguiente reacción. Las vías anfibólicas o de relleno, reponen intermediarios en las vías metabólicas.

Dentro de las características de las vías metabólicas se encuentran:

- Entre el sustrato inicial y producto final, se encuentran compuestos intermediarios.
- Las vías metabólicas están reguladas, generalmente al principio de la vía.
- Pueden ser anabólicas o catabólicas.
- Están determinadas en una localización celular específica.
- Las reacciones están catalizadas por enzimas.

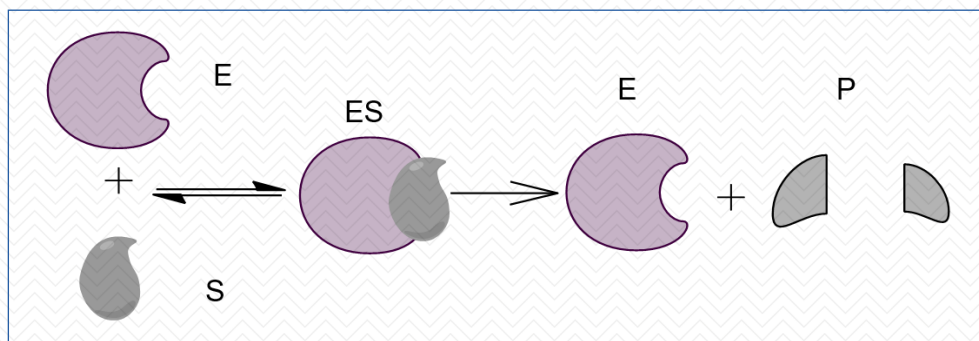
■ Reacción enzimática, enzima, sustrato, producto, coenzima, cofactor, clasificación enzimática

■ ¿Qué son las enzimas?

Las enzimas son proteínas que llevan a cabo reacciones biológicas, actuando como catalizadores. Esta es la principal diferencia con las proteínas. Dentro de sus características, se encuentra su alta especificidad a sus sustratos y la existencia de un centro activo. Generalmente, las velocidades de reacción enzimática son superiores a las reacciones no catalizadas por enzimas. La reacción típica enzimática se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Reacción enzimática, E: enzima, S: sustrato, ES: complejo enzima-sustrato, P: producto.

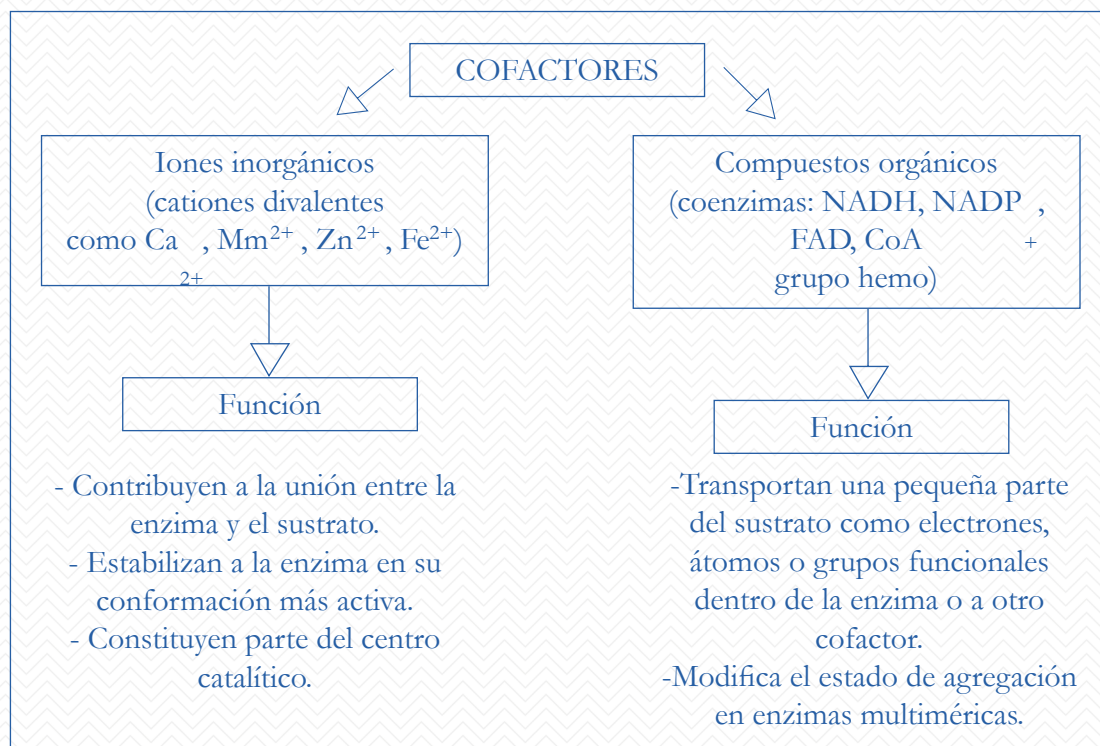


Fuente: autoría propia.

Todas las reacciones enzimáticas se realizan en dos pasos: primero, la enzima (E) se une físicamente al sustrato en el centro activo, dando lugar al complejo enzima-sustrato (ES), formándose de manera reversible. Así, la enzima puede llevar a cabo la transformación del sustrato (S) para dar origen al producto (P) y la enzima queda en estado libre para volver a iniciar el proceso. En ocasiones, para llevar a cabo la reacción enzimática, además de la enzima, se necesita de otras moléculas de bajo peso molecular llamadas cofactores. Su clasificación se muestra en la Figura 28.

Figura 28

Clasificación y función de los cofactores



Fuente: autoría propia.

Las enzimas se clasifican de acuerdo a la reacción que hacen. Por convenio, existen seis clases principales de enzimas:

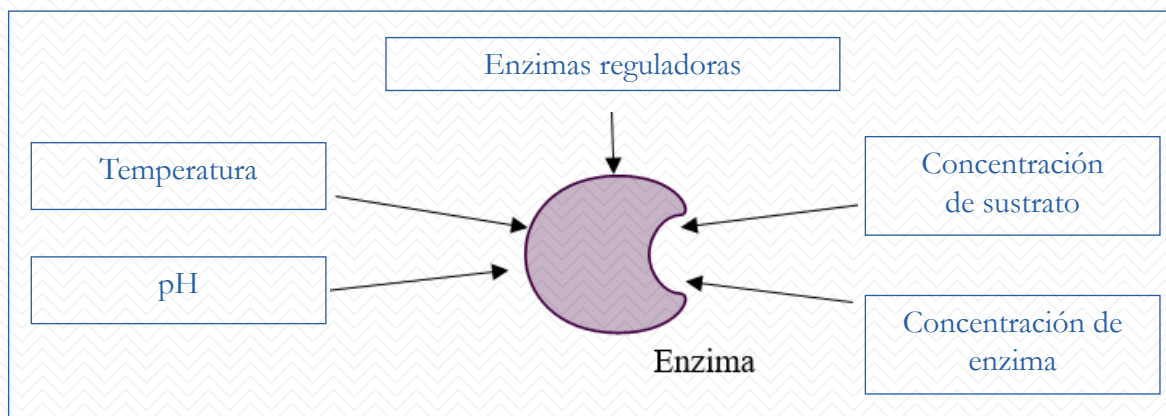
1. **Oxidorreductasas.** Catalizan reacciones de oxidación reducción.
2. **Transferasas.** Catalizan reacciones de transferencias.
3. **Hidrolasas.** catalizan reacciones de hidrólisis.
4. **Liasas.** Catalizan la ruptura de enlaces por medios no hidrolíticos, formándose dobles enlaces o un anillo nuevo.
5. **Isomerasas.** Catalizan la interconversión de isómeros de función.
6. **Ligasas.** Catalizan la unión de dos moléculas asociadas a la ruptura de un enlace pirofosfato del ATP.

■ Regulación enzimática, regulación de las vías

La actividad de las enzimas puede estar reguladas por diferentes maneras. En la Figura 29, se muestra los diferentes niveles de regulación.

Figura 29

Niveles de regulación enzimática.



Fuente: autoría propia.

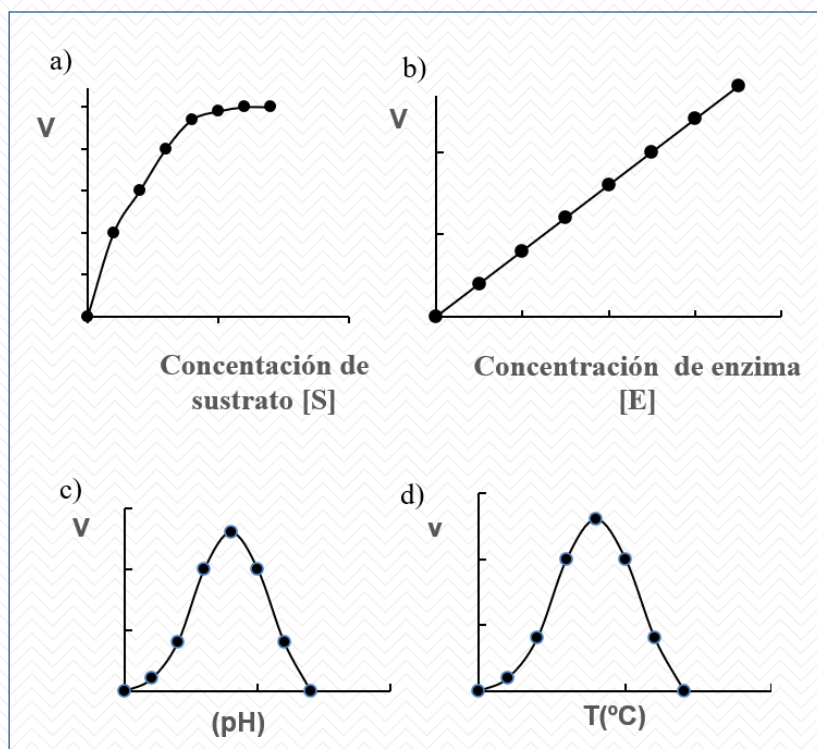
Cuando un sistema o proceso puede modificar el estímulo que se produce en su entorno, en la situación inicial, antes que hubiera el estímulo, se dice que el sistema está regulado. En la Figura 30, se muestra el efecto de las distintas variables que inciden en la regulación de la actividad enzimática. Como se muestra en la Figura 31a, la velocidad de reacción, respecto a la concentración de sustrato, llega un momento en que es constante a una determinada (S).

Esto es debido a que los centros activos están saturados de sustratos y no puede transformar

más sustratos a productos, por lo que la velocidad llega a ser constante, en la figura 30b, el incremento de la velocidad es proporcional a la concentración de enzimas, debido a que se incrementa el número de centro de activos que puedan procesar sustratos.

Figura 30

Clasificación y función de los cofactores

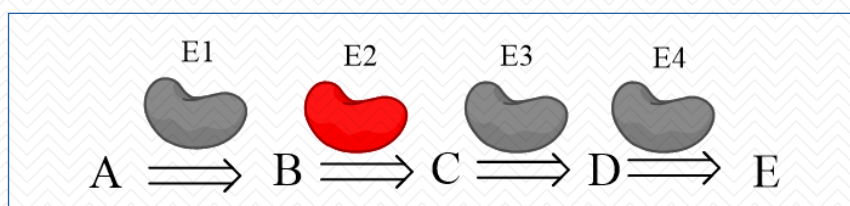


Nota. a) Efecto de la concentración de sustrato en la velocidad de reacción enzimática. b) Efecto de la concentración de enzima en la velocidad de reacción enzimática. c) Efecto del pH en la velocidad de reacción enzimática. d) Efecto de la temperatura en la velocidad de reacción enzimática. *Fuente:* autoría propia.

En el caso del pH y temperatura, la tendencia es mostrar un óptimo de velocidad de reacción enzimática para cada variable (Figuras 30c, 30d). Por su parte, las enzimas reguladoras se encuentran generalmente localizadas al inicio de una vía metabólica (Figura 30). La conversión de A a E requiere la presencia de cuatro enzimas (E1, E2, E3 y E4). La vía metabólica E2 es la que presenta regulación. De esta forma, controla la vía completa, por lo que el funcionamiento de la vía dependerá, en gran medida, de la velocidad de formación del compuesto intermedio C.

Figura 31

Ubicación de las enzimas reguladoras en una vía metabólica.



Fuente: autoría propia.

Los mecanismos que regulan la actividad de las enzimas engloban dos aspectos: varían la cantidad y modificación de la actividad de las enzimas. Entre los mecanismos que modifican el segundo aspecto la modificación de la actividad enzimática, está la modificación alostérica y covalente.

Digestión: su definición y localización

La digestión de alimentos ocurre en el sistema digestivo, donde la ingesta de comida, la absorción de nutrientes y excretar los desechos es su papel fundamental. El proceso digestivo es el mismo en todos los animales monogástricos: transformar los glúcidos, lípidos y proteínas en unidades más sencillas, gracias a las enzimas digestivas, para que puedan ser absorbidas y transportadas por la sangre (Campbell y Reece, 2005).

■ Definición y localización del proceso de absorción

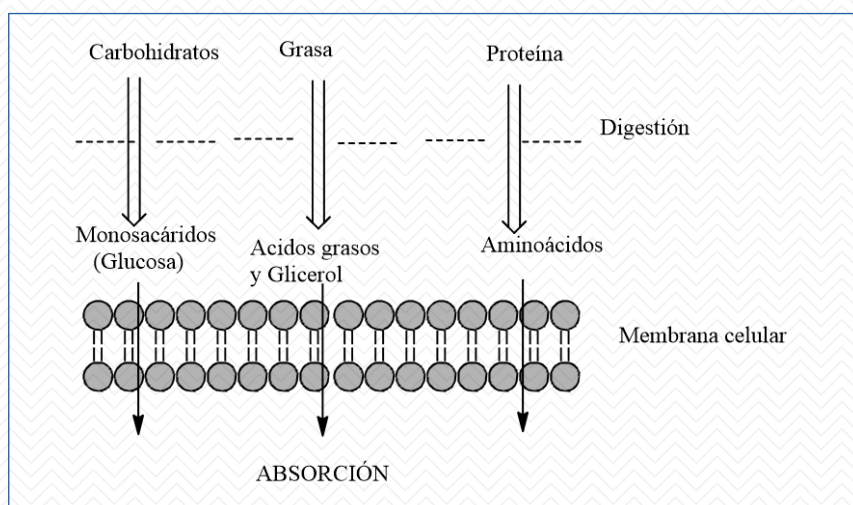
La digestión se segmenta, convencionalmente, en procesos mecánicos, destinados a la reducción granulométrica de los alimentos y en interacciones bioquímicas que descomponen adicionalmente las estructuras macromoleculares, preparando así las partículas para su posterior proceso de absorción. Este último concepto se refiere al transporte de los metabolitos y micronutrientes desde la cavidad del sistema digestivo hacia los capilares del sistema circulatorio y linfático, llevando a cabo un intercambio de sustancias vitales a nivel celular.

■ Transporte: el camino de las moléculas absorbidas

Una vez realizada la digestión, lo que ingresa a la sangre (sistemas capilares y circulatorios) son moléculas pequeñas, tal como lo muestra la figura 32, donde la glucosa, ácidos grasos, glicerol y aminoácidos son transportados hacia el interior de la célula.

Figura 32

Digestión y absorción de nutrientes.



Fuente: autoría propia.

■ Insulina

La insulina constituye una hormona hipoglucemiante, cuya función principal consiste en la disminución de la concentración de glucosa plasmática (glucemia), mediante la facilitación del transporte de glucosa hacia el interior de células específicas. Su acción se restringe, primordialmente, a los tejidos adiposo (adipocitos), muscular (miocitos) y cardíaco (miocardiocitos).

Este efecto hipoglucemiante es mediado por la activación del transportador de glucosa GLUT4, que se encuentra localizado, exclusivamente, en la membrana plasmática de los tipos celulares mencionados. Debido a su naturaleza poco polar, la glucosa puede difundir a través de las membranas celulares de forma pasiva.

No obstante, todas las células presentan transportadores específicos para la glucosa, que facilitan la velocidad de su translocación, a través de las membranas plasmáticas. Sin embargo, se destaca que el transportador, dependiente de insulina, está presente únicamente en los adipocitos, miocitos y miocardiocitos. Además, estos exhiben la presencia de transportadores independientes de insulina que también facilitan el ingreso de glucosa a la célula.

■ Receptores

La vía de señalización dentro de una célula empieza con solo suceso clave: la unión de una molécula señalizadora, o ligando a la molécula que lo recibe. La unión del ligando al receptor cambia su forma o actividad, lo que le permite transmitir una señal o producir directamente un cambio dentro de la célula.

Tabla 3

Ejemplos de receptores.

Receptor intracelular	Receptor extracelular
Localización en el citoplasma	Localización en la membrana
☐ Receptores de Testosterona	☐ Canales de iones activados por ligando
☐ Receptores de Estradio	☐ Receptores acoplados a proteínas G
☐ Receptores de Cortisol	☐ Receptores tironasa-quina

Fuente: autoría propia.

Preguntas de reflexión del capítulo III

Las reacciones químicas que se llevan a cabo en los organismos vivos son catalizadas por enzimas. El estudio y profundización de estas es imperante para la comprensión adecuada del metabolismo celular.

1. ¿Qué son los centros activos y cómo están constituidos? ¿Habrá alguna manera que los residuos de los sitios activos se puedan identificar?
2. ¿Qué propiedades distinguen las enzimas de otras catálisis?
3. En un estudio cinético se observó que, al aumentar la concentración de enzima en el medio, no se produce el esperado aumento en la velocidad de reacción ¿A qué factores pueden deberse estos resultados?
4. ¿Qué factores influyen en la especificidad por sustrato?
5. ¿Por qué los cofactores se requieren para algunas reacciones enzimáticas?
6. ¿Qué es una enzima y cuál es su naturaleza química?
7. Justifique el comportamiento de la concentración de enzimas sobre la velocidad de reacción.
8. Escoja la mejor descripción de una enzima:
 - a) Realiza una reacción química extremadamente rápida.
 - b) Hace la reacción termodinámicamente favorable.
 - c) Es una proteína.
9. Explique el efecto de la temperatura y el pH en la velocidad de reacción enzimática.
10. Explique cuatro funciones del metabolismo.

Actividades de trabajo del capítulo III

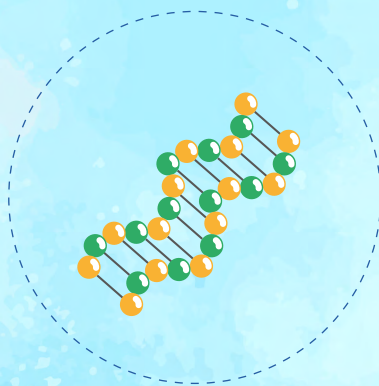
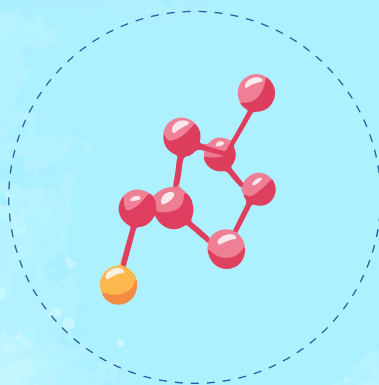
1. ¿Cuál es la principal forma de energía usada en el cuerpo?, dibuje en un esquema su fórmula.
.....
2. La úlcera es una erosión muy pequeña en las capas superiores de las células del estómago o en el duodeno. Realice un reporte de cómo influyen ciertos alimentos en el agravamiento de este padecimiento.
.....
3. Existe una ruta metabólica, en la que la sustancia A puede ser convertida en D, según varias reacciones y por otra parte, también D se convierta en A. Diseñe un sistema de regulación tal que, cuando la célula necesite la sustancia D, la vía sólo funcione sólo en la dirección $A \rightarrow D$ y cuando necesite la sustancia A, funcione sólo en el sentido $D \rightarrow A$?
.....
4. Importantes secreciones del sistema digestivo son: la saliva, mucosa, enzimas (como amilasas, lipasas, proteasas), ácido clorhídrico, bilis, bicarbonato y hormonas. Realice una tabla donde muestre para cada una el sitio de producción y la función que realizan en el sistema digestivo.
.....
5. Analice los siguientes videos:
 - a) Javier753ful. (2015). Estructura y función de la célula eucariota orgánulos citoplasmáticos. <https://www.youtube.com/watch?v=e4OsXUPkl30>
 - b) UnProfesor. (2015). Las enzimas, nombres y funciones. <https://www.youtube.com/watch?v=ckv10T41fJc>
 - c) Efi-ciencia red. (2016). Enzimas regulación enzimática, activación, inhibición, alosterismo. https://www.youtube.com/watch?v=_g3wm3_dABk
.....

Realice un resumen de los videos, a través de tres mapas conceptuales para cada aspecto.



CAPÍTULO IV

HIDRATOS DE CARBONO



Hidratos de carbono

El objetivo particular de este capítulo es analizar los mecanismos de digestión, absorción, transporte, metabolismo y excreción de los hidratos de carbono.

Digestión

Los hidratos de carbono, denominados asimismo como glúcidos o carbohidratos, constituyen los macronutrientes más prevalentes en la ingesta dietética del ser humano. De esta manera, son la principal fuente de energía metabólica. En la Figura 33 se ilustran los diversos segmentos anatómicos en los que se lleva a cabo el proceso de digestión de los glúcidos.

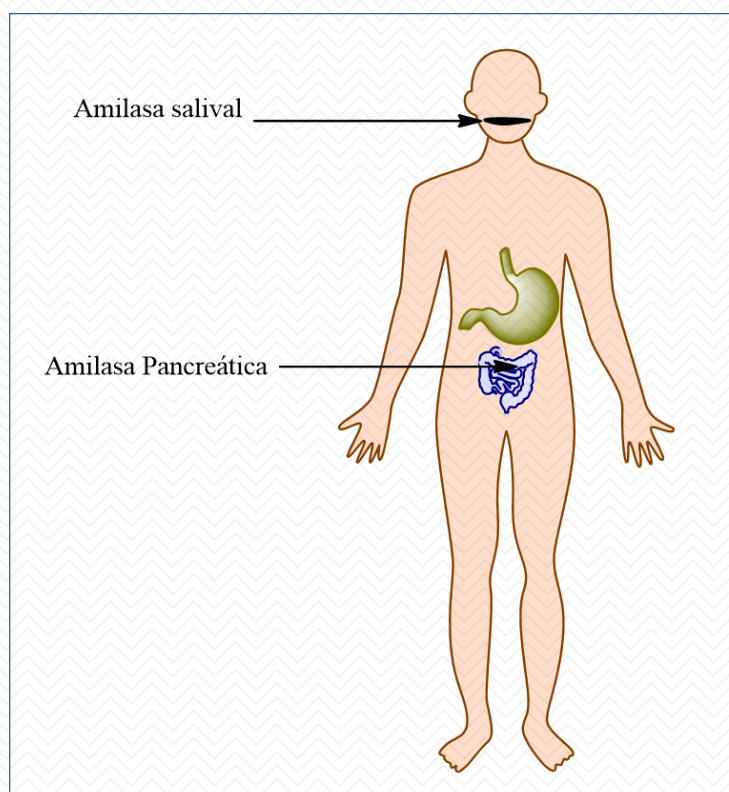
Como se evidencia en la figura antes mencionada, una fase inicial de este proceso es ejecutada, mecánicamente, mediante la acción de la dentición en la cavidad bucal. La acción sinérgica de la amilasa salival inicia la hidrólisis de los glúcidos. Sin embargo, dado el tiempo, la degradación significativa de los glúcidos ocurre predominantemente en el intestino delgado, mediada por la acción de la amilasa pancreática. La especificidad de las amilasas radica en su capacidad para actuar sobre los enlaces α -1,4-glicosídicos, generando sustratos y productos como maltosa, maltotriosa y dextrinas límite.

En lo que respecta a la maltosa, su degradación hidrolítica es realizada por la enzima maltasa, que cataliza la liberación de glucosa monomérica. En el caso de las dextrinas límite, que son polisacáridos no susceptibles a la acción de las amilasas, su degradación completa es efectuada por el complejo enzimático sacarosa-isomaltasa, trabajando en coordinación con la maltasa.

Adicionalmente, se identifican otras enzimas oligosacarídicas, como la lactasa, cuyo sustrato principal es la lactosa, llevando a cabo su hidrólisis en glucosa y galactosa. Cualquier deficiencia en la actividad de estas enzimas conduciría a la acumulación de sustratos no digeridos, dado que la absorción en el intestino ocurre únicamente cuando se han generado los monosacáridos constitutivos. Un ejemplo paradigmático de este fenómeno es la intolerancia a la lactosa, que se origina por un déficit en la actividad de la lactasa.

Figura 33

Localización de las enzimas digestivas que degradan los glúcidos.



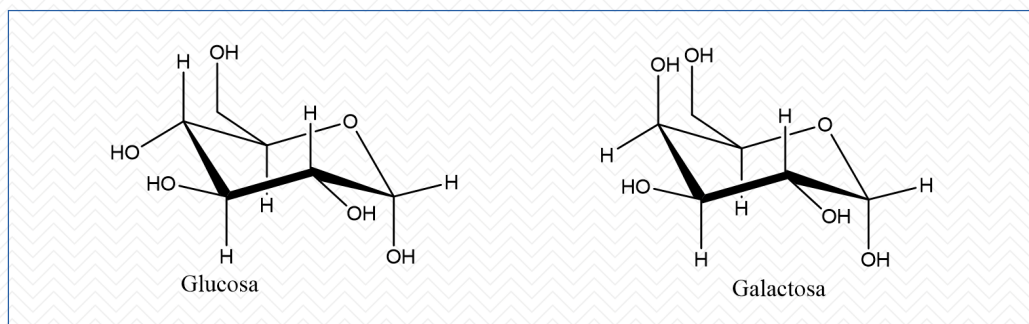
Fuente: autoría propia.

■ Absorción: sitio de absorción

La glucosa y la galactosa son incorporadas a través de la membrana intestinal por el mismo transportador, estableciéndose una competencia por la unión al transportador. Este último, presenta sitios de unión para el ion sodio y para el monosacárido, que debe tener un número de átomos de carbono y posición espacial de grupos OH para que resulte reconocido. Ambos monosacáridos cumplen con estas características (Figura 34). En el caso de la fructosa y manosa, son absorbidas por difusión facilitada y las pentosas por difusión simple.

Figura 34

Estructura de la glucosa y galactosa.



Fuente: autoría propia.

Transporte

El transportador de glucosa - galactosa es una proteína integral de la membrana que se liga y transporta dos iones Na^+ por cada monosacárido.

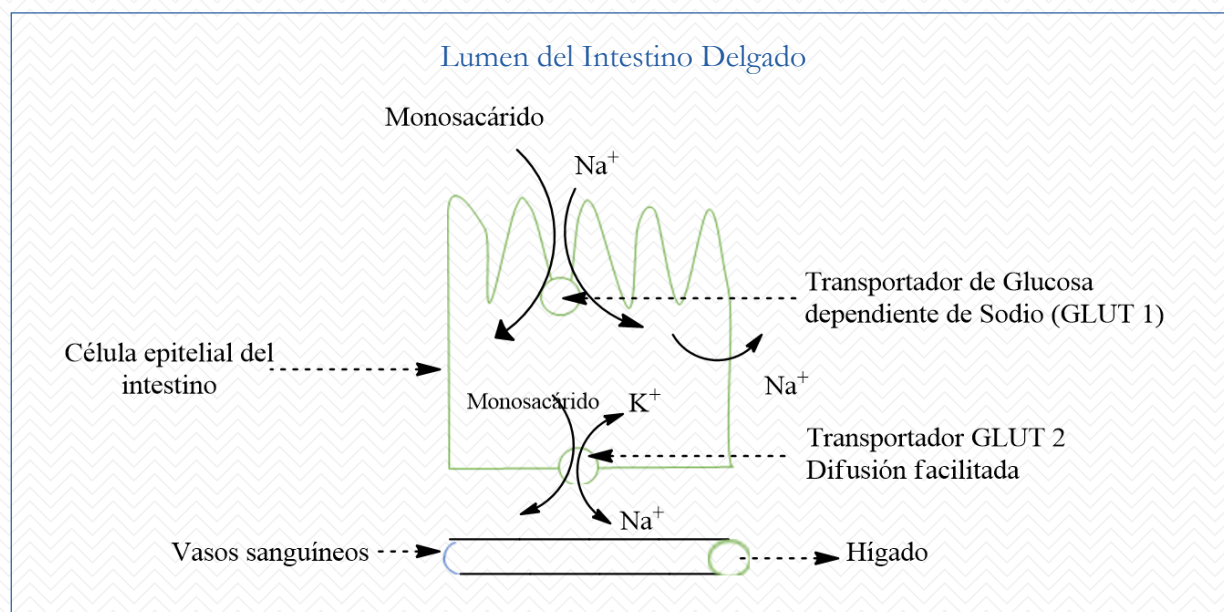
■ Mecanismo de transporte y representación mediante dibujo o esquema

La glucosa y la galactosa son transportadas desde el intestino delgado, a través de la membrana epitelial, para luego entrar en el vaso sanguíneo, por un mecanismo de dos etapas (Figura 35).

Una primera etapa, donde la proteína transportadora de glucosa está en la membrana celular. Inicialmente, la glucosa se mueve contra el gradiente. La unión del transportador GLUT-1 unido al ion Na^+ facilita su difusión. En la segunda etapa, los iones sodio son activados, transportando la glucosa hacia afuera de la membrana. Las moléculas de glucosa se mueven de la célula epitelial hacia el vaso sanguíneo, usando un segundo transportador GLUT-2, facilitando la difusión.

Figura 35

Transportación de monosacáridos desde el intestino delgado al hígado.



Fuente: autoría propia.

■ Vía porta-hepática

Una vez en la sangre, los distintos monosacáridos alcanzan los tejidos. Su incorporación al interior de los diversos tejidos se realiza por un mecanismo de transporte facilitado, que difiere según el tejido. En el caso del hígado, los transportadores que emplea son GLUT-1, GLUT-2, GLUT-3, GLUT-4, GLUT-5, que son proteínas transmembranales.

Metabolismo

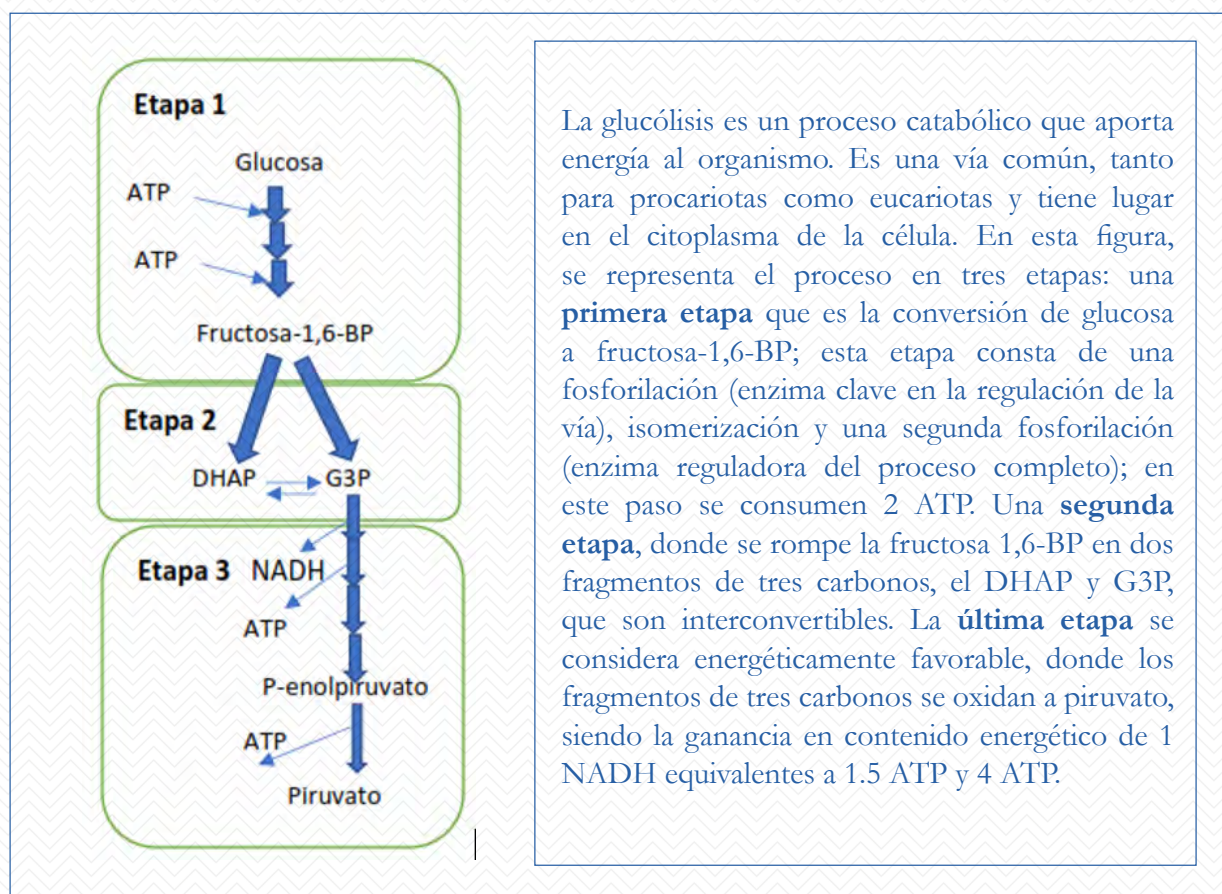
El metabolismo, como se había definido anteriormente, es el conjunto de procesos químicos-físicos y fisiológicos que ocurren en los organismos, cuyo objetivo es la autoconservación y autoreproducción. A continuación, se describirán los procesos metabólicos implicados en los glúcidos.

■ Glucólisis

La glucólisis es el proceso en el que la glucosa se degrada hasta piruvato.

Figura 36

Las tres etapas de la glucólisis. BP: bifosfato, DHAP: dihidroxiacetona fosfato, G3P: gliceraldehído 3 fosfato.



Fuente: autoría propia.

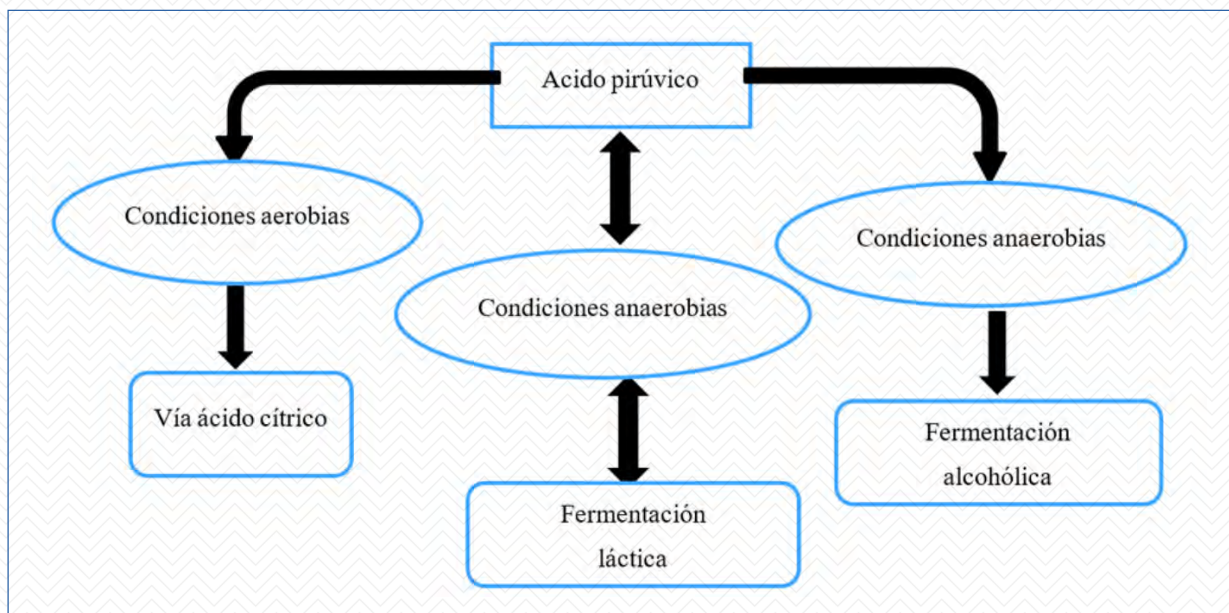
En la glucólisis participan 11 enzimas que se encuentran libres en el citoplasma de la célula. Todos los componentes intermedios de la vía están fosforilados, esto es relevante, ya que, al pH fisiológico, los grupos fosfatos están ionizados, impidiendo de esta forma que los monosacáridos fosforilados salgan de la célula por difusión simple.

■ Conversión de piruvato a acetil-CoA

El destino metabólico del ácido pirúvico o piruvato, bajo condiciones aerobias, es la oxidación de sus carbonos a CO_2 en el ciclo del ácido cítrico. En este proceso, los electrones son, eventualmente, transferidos al oxígeno para formar agua en la fosforilación oxidativa. Bajo condiciones anaerobias en el músculo, el piruvato es reversiblemente convertido a lactato, mientras que en levaduras es convertido a etanol y CO_2 (Figura 37).

Figura 37

Conversión de piruvato a acetil-CoA.



Fuente: autoría propia.

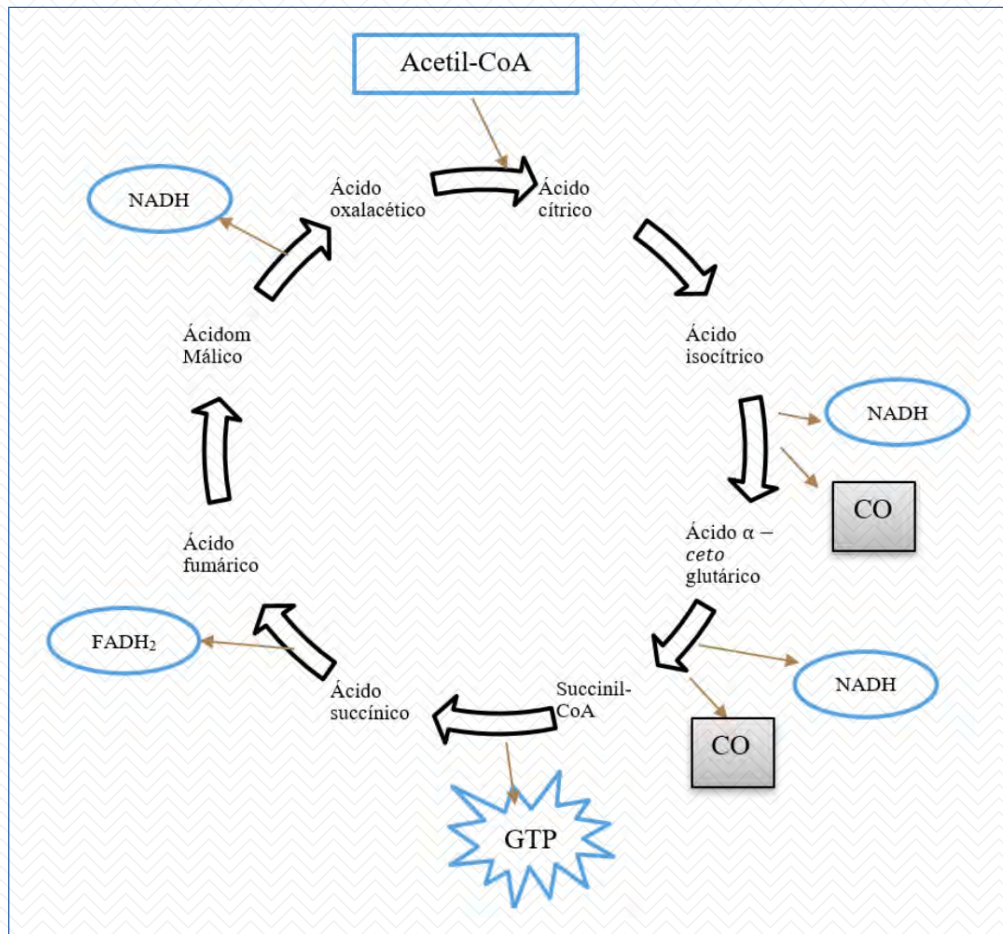
El primer paso para entrar al ciclo del ácido cítrico es la conversión de piruvato en acetil-CoA, catalizado por el complejo multienzimático pirúvico deshidrogenasa. Esta reacción es irreversible. La regulación del complejo enzimático es regulada por modulación covalente y alostéricamente cuando se acumula ATP, además, se activa cuando hay abundante contenido de Ca^{2+} y pirúvico. También, el complejo es regulado por su producto final (acetil-CoA y NADH.H^+). El acetil-CoA, así formado, se incorpora al ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs, constituyendo el combustible del ciclo.

■ Ciclo del ácido cítrico

El ciclo del ácido cítrico se localiza en la matriz mitocondrial, debido a que la mayor parte de sus enzimas se encuentran en este compartimiento celular. La vía está catalizada por ocho enzimas y la regula el potencial energético celular. Destacar que esta vía es común para la oxidación de carbohidratos, aminoácidos y ácidos grasos.

Figura 38

Ciclo del ácido cítrico.



Fuente: autoría propia.

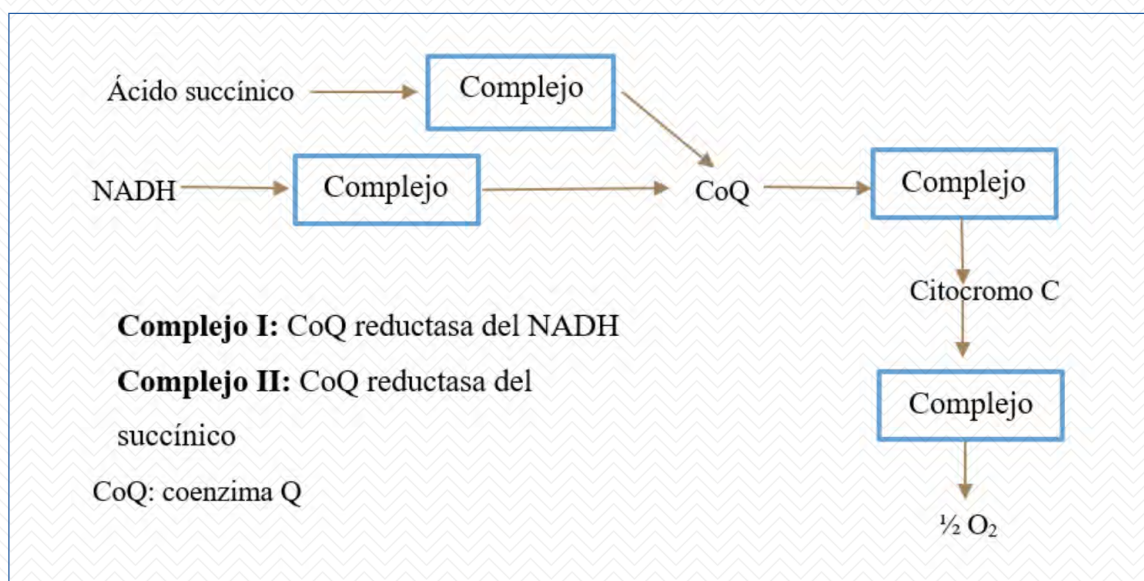
Como se muestra en el ciclo del ácido cítrico, se forman cofactores reducidos (NADH y FADH₂). Estos van a ser sustratos de la cadena respiratoria (transporte electrónico y fosforilación oxidativa), donde se forman los ATP. Estas reacciones son las que regulan el ciclo, junto con la pirúvico deshidrogenasa enzima que aporta el acetil-CoA. Otra reacción de importancia es la formación de GTP por una fosforilación a nivel de sustrato.

■ Transporte electrónico

Este proceso ocurre en la membrana interna de la mitocondria. El transporte electrónico está formado por determinados componentes que intervienen en una serie de reacciones de oxidación-reducción, producidas de forma secuencial. La energía libre de los NADH, procedentes del ciclo del ácido cítrico, transportan los electrones hasta el oxígeno. La secuencia de pasos es a través del complejo I y II, vía coenzima Q al complejo III, desde donde se trasladan los electrones al citocromo c hasta el complejo IV. Un esquema de este tipo transporte se muestra en la Figura 39.

Figura 39

Orden de los complejos en el transporte electrónico.



Fuente: autoría propia.

■ Fosforilación oxidativa

El transporte de electrones culmina con la producción de agua, con la formación de un gradiente de protones a través de la membrana interna de la mitocondria y con la síntesis de ATP. El complejo ATP sintasa, conocido también como el complejo V, es el responsable de la fosforilación oxidativa.

La activación de la fosforilación oxidativa se incrementa cuando se aumenta la producción de cofactores reducidos, activando así el transporte electrónico, acrecentando el gradiente de protones. Lo inhibe el aumento de ATP, el cual inhibe el ciclo del ácido cítrico, portador de los cofactores reducidos.

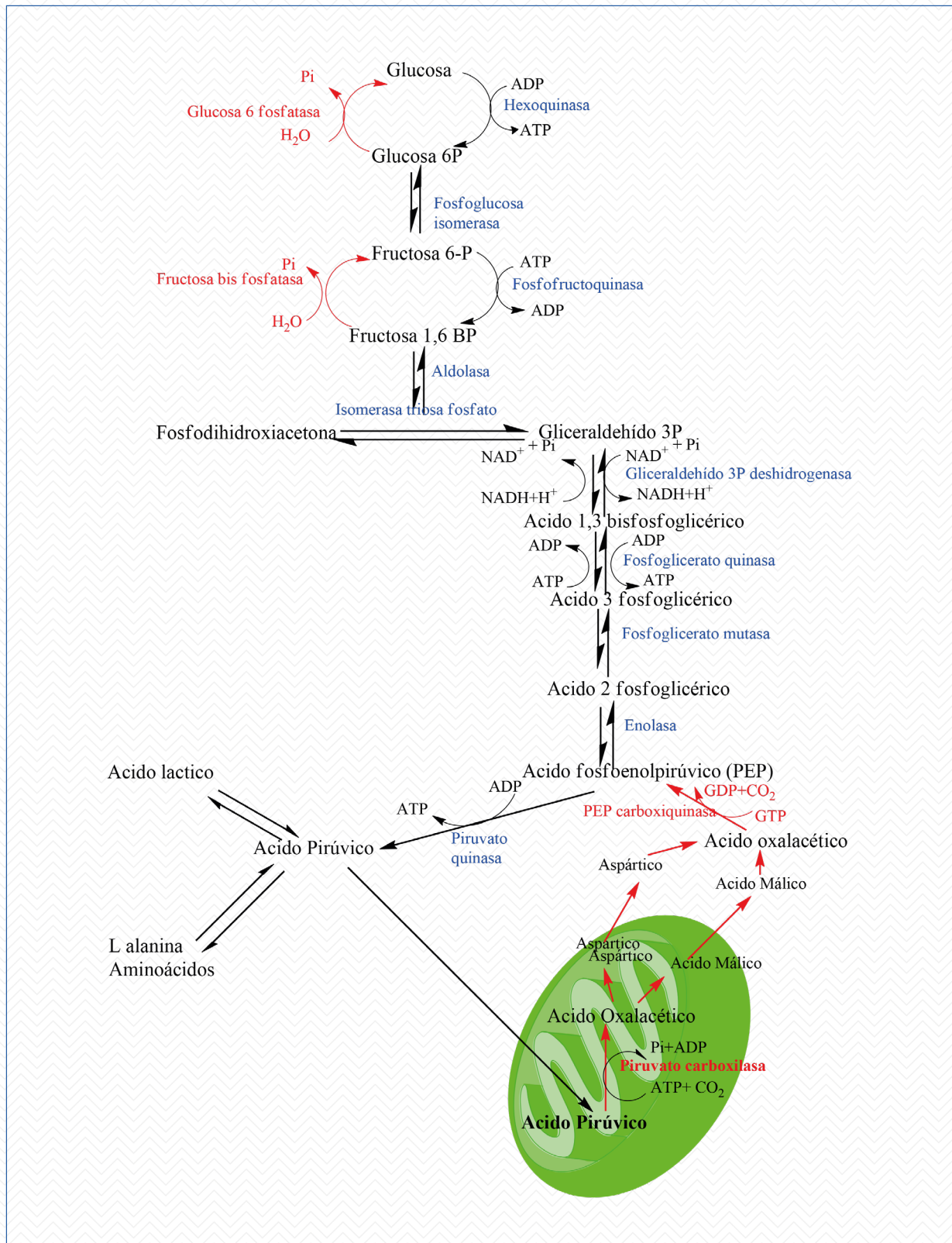
■ Gluconeogénesis

La gluconeogénesis es el proceso donde se forma glucosa a partir de compuestos que no son carbohidratos, como aminoácidos, piruvato o lactato. Este proceso ocurre en el hígado y en menor extensión en los riñones, donde se puede considerar que la vía es la inversa de la glucólisis. Este fenómeno se produce cuando los requerimientos de glucosa en la dieta y del glucógeno son insuficientes.

Las enzimas que actúan son las mismas de la glucólisis, excepto de las tres reacciones irreversibles: de glucosa a glucosa 6-P, de fructosa 6-P a fructosa-1,6-BP y la de fosfoenolpirúvico a pirúvico. Para ello, la vía hace rodeos metabólicos para esquivar las reacciones anteriores. En la Figura 40 se muestra el ciclo. Las reacciones en rojo muestran los rodeos metabólicos de la gluconeogénesis, las reacciones enzimáticas en azul son de la glucólisis, coincidiendo con la gluconeogénesis; se puede observar en el esquema que estas reacciones se encuentran en equilibrio.

Figura 40

Orden de los complejos en el transporte electrónico.



Fuente: autoría propia.

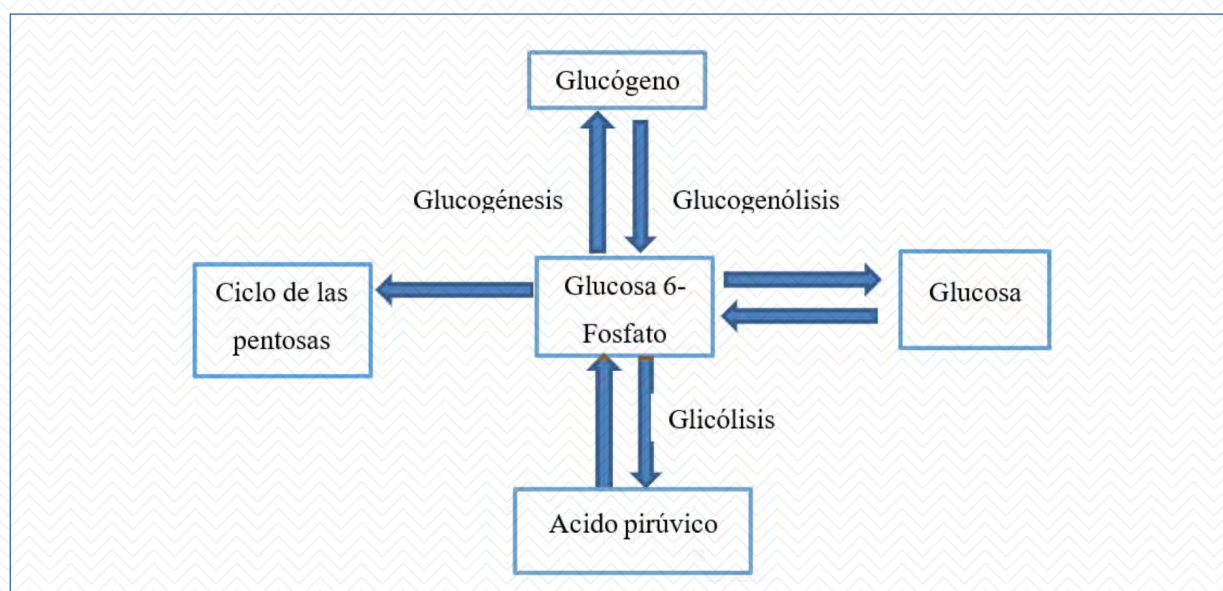
■ Metabolismo del glucógeno

La unión de muchos monosacáridos se les denomina polisacáridos. En los vegetales se encuentra la celulosa y el almidón, mientras que en los animales se encuentran la quitina y el glucógeno. Este último es un polímero de glucosas muy grande ramificado, unido mayoritariamente por enlaces α -1,4-glicosídicos. El glucógeno es una sustancia de reserva para situaciones de emergencia en el organismo. El almacenamiento del glucógeno tiene sus ventajas, ya que su degradación puede rendir energía en ausencia de oxígeno. Además, contribuye al mantenimiento de la glicemia, aportando glucosa a aquellos tejidos que la requieran.

El glucógeno se encuentra principalmente en el hígado y el músculo. El glucógeno muscular es fuente de energía en la contracción, mientras que el glucógeno hepático se hidroliza obteniendo glucosa, pasando a la sangre para mantener la concentración normal de azúcar. El diagrama que se muestra en la figura 41 es una representación del metabolismo del glucógeno.

Figura 41

Metabolismo del glucógeno.



Fuente: autoría propia.

■ Glucogénesis

La síntesis de glucógeno ocurre en el citoplasma de las células animales. La biosíntesis ocurre en un proceso gradual, donde las moléculas precursoras se añaden una a una. Los precursores deben estar activados. La síntesis, generalmente, está acoplada a la hidrólisis de pirofosfato. La enzima fundamental en esta vía es la glucógeno sintasa.

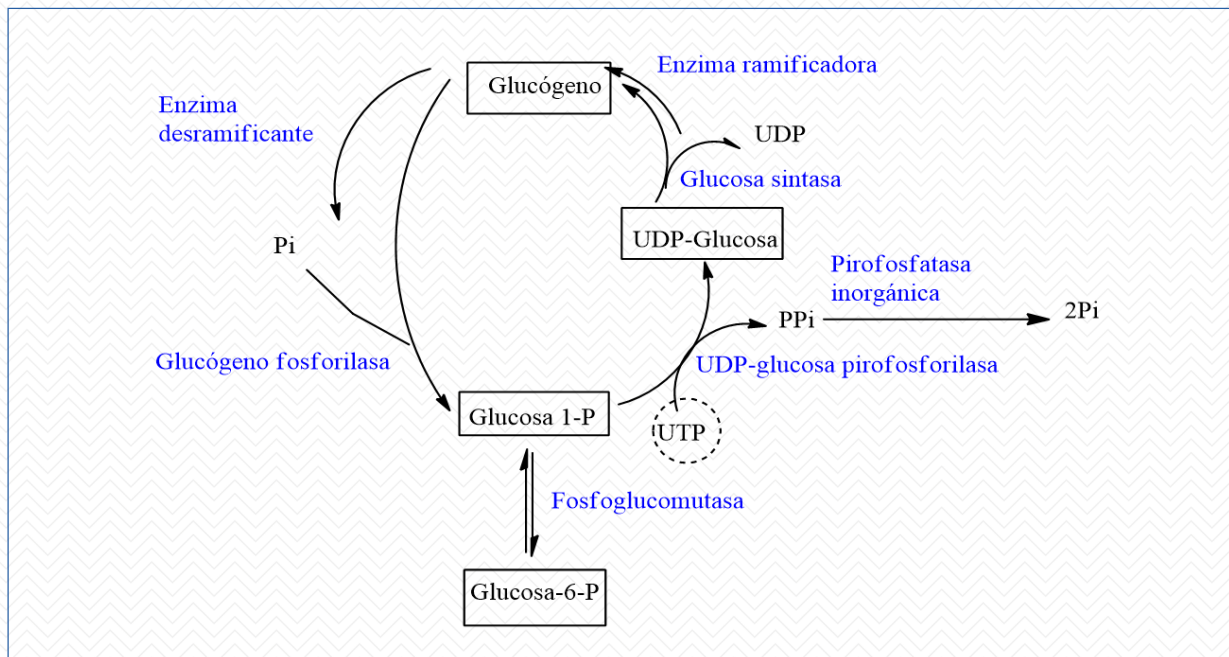
■ Glucogenólisis

La glucogenólisis es la hidrólisis del glucógeno, dando como producto fundamental la glucosa 1-P, la que posteriormente se transforma en glucosa 6-P. La enzima fundamental de este proceso es la glucógeno fosforilasa, la cual no puede actuar sobre los enlaces α -1,6-glicosídicos presentes en

los puntos de ramificación del glucógeno. Por ello, se requiere la acción de otra enzima, la enzima desramificante, en la Figura 42, se muestra la vía de degradación del glucógeno.

Figura 42

Metabolismo del glucógeno, vía de síntesis y de degradación.

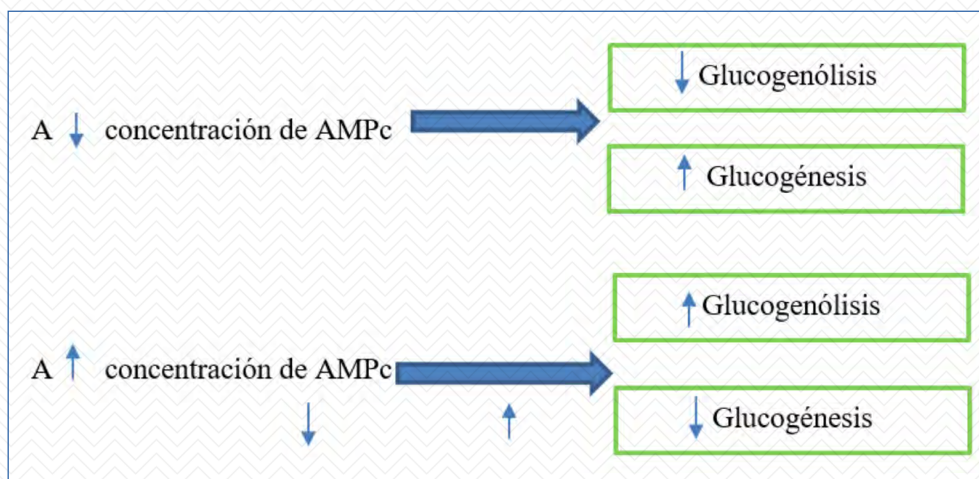


Fuente: autoría propia.

La regulación de la síntesis y degradación del glucógeno son recíprocamente reguladas por enzimas alostéricas y modificación covalente. Este es el caso de la enzima glucógeno fosforilasa y glucógeno sintasa. Un importante aspecto en la regulación juega el adenosín monofosfato cíclico (AMPc), tal como muestra la Figura 43.

Figura 43

Regulación de la síntesis (glucogénesis) y degradación (glucogenólisis) del glucógeno mediado por AMPc.



Fuente: autoría propia.

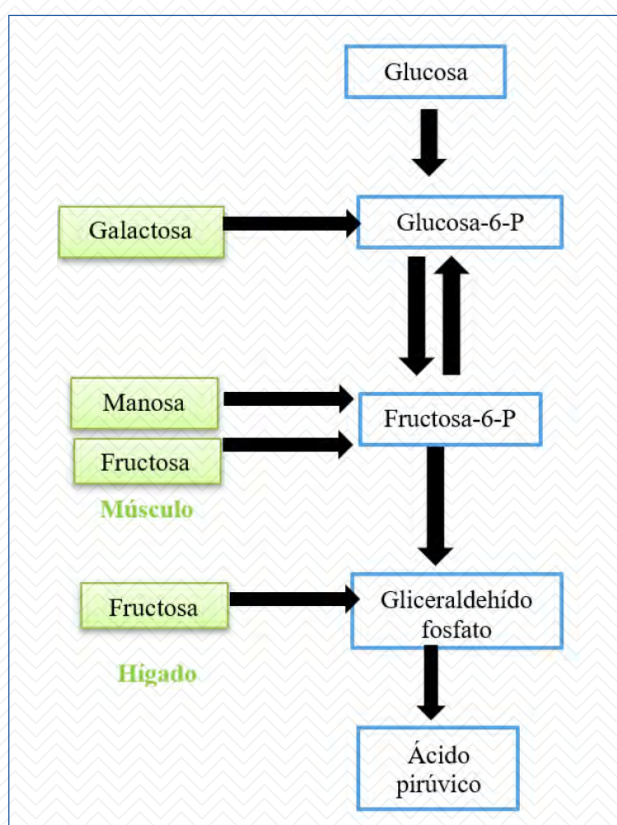
En el caso de la regulación hormonal, el glucagón y la adrenalina favorecen la glucogenólisis. La insulina ejerce el efecto contrario favoreciendo la glucogénesis. El déficit de enzimas involucradas en el metabolismo conlleva al almacenamiento de glucógeno. La enfermedad más frecuente es la enfermedad de von Gierke. Esta provoca el incremento del tamaño del hígado, produce un incremento de producción de lípidos, debido a la hiperglicemia mantenida y se incrementa la producción de purinas, lo que conduce a la enfermedad de la gota.

■ Metabolismo de otros azúcares importantes: fructosa, galactosa, manosa

Al igual que la glucosa, la fructosa, galactosa y manosa son combustibles metabólicos. Después de su digestión, estos monosacáridos entran al torrente sanguíneo y son transportados a varios tejidos, donde son convertidos en intermediarios de la vía glucolítica, para ser metabolizados. En la Figura 44 se muestra esquemáticamente la entrada de las hexosas en la vía glucolítica o glucólisis.

Figura 44

Entrada de otras hexosas en la vía glucolítica.



Fuente: autoría propia.

■ Fuentes, sustrato inicial, producto final y vías metabólicas implicadas

En la Tabla 4 se muestra un resumen de los sustratos, producto final, vías metabólicas implicadas y el exceso de estas hexosas en el metabolismo.

Tabla 4*Características de las hexosas fructosa, galactosa y manosa.*

Hexosa	Sustrato inicial	Producto final	Tejido	Implicaciones
Fructosa	Frutas, miel	Fructosa-6-P (F6P)	Músculo: implica la acción de una enzima para la conversión a fructosa-6-P, la hexoquinasa. Hígado: Participan 7 enzimas para convertir la fructosa a F6P.	El exceso podría tener una disrupción del metabolismo energético, produciendo más lípidos, en ausencia de necesidad de ATP, por lo que incide en la obesidad y en la aterosclerosis.
Galactosa	Productos lácteos. Se obtiene de la hidrólisis de lactosa	Glucosa-6-P (G6P)	Hígado: requiere de cuatro reacciones para convertir la galactosa a el intermediario glucolítico G6P.	La deficiencia de la segunda enzima en la conversión a glucosa produce galactosemia, produciendo retardo mental, muerte por daño en el hígado y cataratas.
Manosa	Digestión de polisacáridos y glicoproteínas	F6P	Hígado: entra a la vía glucolítica después de su conversión a F6P, dos enzimas son requeridas para esto.	Es un componente secundario de la alimentación, es una fuente energética de menor importancia.

Fuente: autoría propia.

■ Metabolismo de la fructosa, catarata diabética

De acuerdo con la información presentada en la Tabla 4, el proceso metabólico de la fructosa exhibe divergencias significativas en el tejido muscular. La catalización, por parte de la enzima hexoquinasa, resulta en la formación del intermediario correspondiente en la vía glucolítica, denominado fructosa 6-fosfato (F6P).

En contraposición, en el parénquima hepático, se requiere la participación de siete enzimas para alcanzar la misma meta metabólica, es decir, la producción de F6P. Ambas rutas metabólicas implican un consumo de trifosfato de adenosina (ATP). En el hígado se distinguen dos variantes de la ruta, una de corta duración y otra de mayor envergadura: ambas culminan en la producción de glicerol 3-fosfato, que, junto a la dihidroxiacetona, puede actuar como intermediario en las vías de

síntesis de glicerofosfolípidos y triacilglicerolos.

Entre las patologías asociadas con el metabolismo de la fructosa, se destaca la intolerancia a este monosacárido, consecuencia del déficit enzimático que afecta las vías de metabolización de la hexosa. Otra condición relevante es la formación de cataratas, que se originan por la disfunción de la enzima aldehído reductasa que cataliza la conversión de glucosa a fructosa.

En estados de hiperglicemia (elevación patológica de los niveles de glucosa en plasma), se observa un incremento en la actividad enzimática, debido a la mayor disponibilidad de su sustrato (glucosa). Este fenómeno propicia un aumento en la producción de sorbitol, otro producto de la reacción, que se acumula en el tejido celular, elevando la presión osmótica del cristalino. Como consecuencia de esta acumulación, se incrementa el volumen del cristalino, lo que altera las conformaciones nativas de las proteínas presentes, llevando a la agregación de estas y la formación de estructuras ópticamente dispares que dispersan la luz, proceso que subyace en la etiología de las cataratas.

Para iniciar el mecanismo de percepción visual, es necesario que la luz transite a través de la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo, antes de llegar a la retina. La transparencia de estas estructuras es imperativa para facilitar la correcta transmisión lumínica.

■ Metabolismo de la galactosa, galactosemias

En la anterior Tabla 4, se presenta una sinopsis del metabolismo de la galactosa, un epímero de la glucosa, caracterizado por la variación en la posición del grupo hidroxilo (OH), en el carbono enunciado como ubicuo número cuatro. La transformación bioquímica de la galactosa hacia un intermediario en la glucólisis, implica la realización de un total de cuatro reacciones enzimáticas distintas.

Un trastorno metabólico asociado a la deficiencia de una de las enzimas involucradas en esta vía metabólica se manifiesta en la forma de cataratas. El aumento en la concentración de galactosa en el cristalino ocular, donde el monosacárido es metabolizado a galactitol mediante la acción de la enzima aldosa reductasa, induce la opacidad del cristalino, resultando en la formación de cataratas.

■ Metabolismo de la manosa

El metabolismo de la manosa también se detalla en la Tabla 4, donde se presenta un resumen de los procesos involucrados. Este metabolismo se lleva a cabo a través de dos reacciones enzimáticas. En la primera etapa, la hexoquinasa cataliza la conversión de la manosa en manosa 6-fosfato (manosa 6P). Posteriormente, la isomerasa fosfomanosa interviene en la transformación de manosa 6P en fructosa 6-fosfato (F6P).

■ Metabolismo del ácido glucurónico

Entre los monosacáridos derivados, se puede identificar los azúcares ácidos, como el ácido glucurónico, así como los aminoazúcares. Es importante resaltar que el ácido glucurónico desempeña un papel fundamental en el proceso de desintoxicación del organismo.

■ Localización, función, sustrato inicial, producto final

La síntesis del ácido glucurónico se lleva a cabo en dos etapas distintas, siendo la UDP-glucosa deshidrogenasa la enzima responsable de catalizar esta transformación. En este proceso, el ácido se genera a partir de la oxidación de la glucosa en el carbono 6. Cabe destacar que el ácido glucurónico desempeña un papel crucial en la conjugación de la bilirrubina en el hígado.

Posteriormente, estos compuestos se liberan nuevamente al torrente sanguíneo y son eliminados a través de la orina por los riñones o expulsados mediante la bilis. Estas transformaciones con ácido glucurónico aumentan la solubilidad de los compuestos en medios acuosos, lo que previene su penetración en las membranas biológicas.

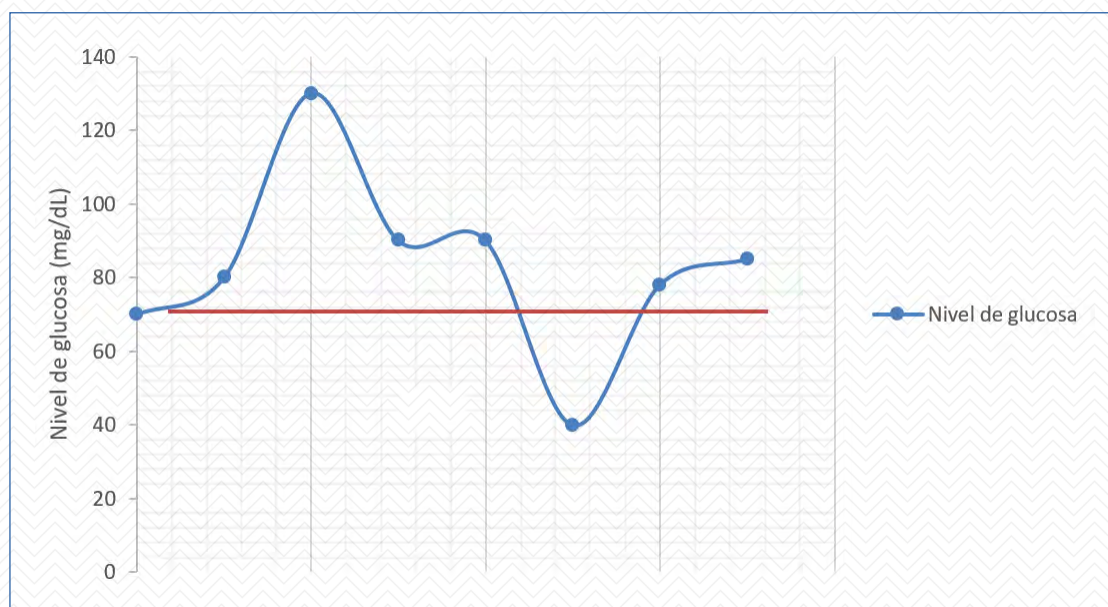
■ Intolerancia a la glucosa

Una regulación aberrante de la concentración de glucosa en el suero sanguíneo puede resultar en hiperglucemia (elevación patológica de la glucosa sérica), que supera el umbral de 126 mg/dL o en hipoglucemia (disminución patológica de la glucosa sérica), que queda por debajo de 50 mg/dL. Un valor superior a 126 mg/dL es indicativo de la presencia de diabetes mellitus.

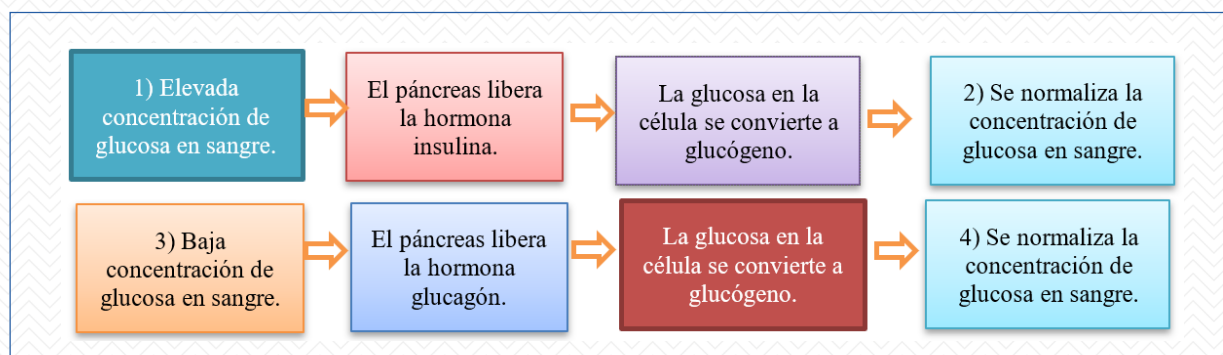
El hígado desempeña un papel crítico y multifacético en la homeostasis de la glucosa sanguínea, mediante procesos como la gluconeogénesis y la glucogenólisis. Asimismo, el páncreas contribuye de manera significativa a esta regulación al secretar insulina, un péptido anabólico, en cantidades mínimas y de manera inmediata ante la ingesta alimentaria. La Figura 46 ilustra la actividad del páncreas en la modulación de los niveles de glucosa en el suero mediante la liberación de insulina o glucagón, que actúan como hormonas antagonistas en la regulación de la glucemia. El rango de glucosa en sangre considerado fisiológicamente normal se establece entre 70 y 100 mg/dL.

Figura 45

Gráfico de regulación de la glucosa en sangre.



Fuente: autoría propia.

Figura 46*Proceso regulación de la glucosa en sangre.**Fuente: autoría propia.*

Índice glucémico (IG). Es una métrica que cuantifica la respuesta de la glucosa en el plasma, tras la ingesta de un alimento específico, en comparación con un estándar de referencia (glucosa pura o pan blanco). Los alimentos caracterizados por un índice glucémico elevado incluyen, entre otros, la papa, el pan, bebidas azucaradas, arroz blanco y miel.

Preguntas de reflexión del capítulo IV

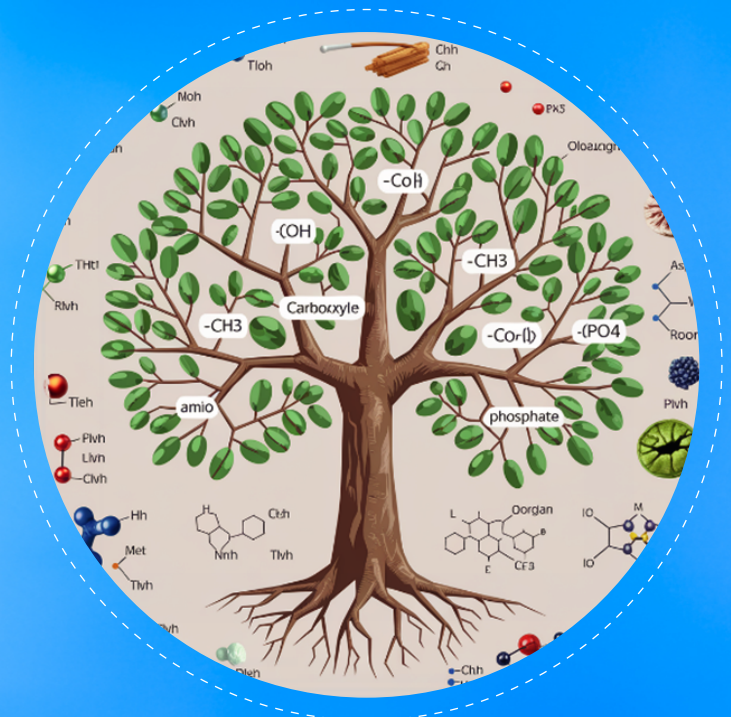
Entender al metabolismo como un intercambio constante de materia y energía utilizadas por la célula, es una puerta al conocimiento y control de distintas enfermedades. De aquí la importancia de entender los principios y leyes que rigen a este proceso.

1. ¿Por qué se dice que la degradación de la glucosa por vía anaerobia ocurre más rápidamente que por vía aerobia?
2. ¿Cuáles de las diez reacciones de la glucólisis son a) fosforilaciones, b) isomerización, c) oxidación-reducción, d) deshidrataciones, e) división de enlaces carbono-carbono?
3. Generalmente, para conservar frutas se usa sacarosa ¿Por qué la glucosa no es adecuada para conservar frutas?
4. ¿Cuál es la importancia biológica de los carbohidratos?
5. ¿Qué monosacárido glucosa, fructosa, galactosa o manosa presenta mayor rendimiento energético (ATP) al degradarse? ¿Por qué?
6. Mencione tres enzimas digestivas de los glúcidos, especifique su localización.
 - Caracterice la vía principal de degradación de los glúcidos.
 - ¿Cuál es el destino del producto final de la vía glucolítica y de otras hexosas como la fructosa y la manosa?
 - ¿En qué consiste la gluconeogénesis?
7. ¿Qué se entiende por respiración celular?

Actividades de trabajo del capítulo IV

1. Elabore un mapa metabólico de los glúcidos o carbohidratos, donde se contemple su digestión, absorción, transporte, metabolismo y excreción.
.....
2. Realizar una estrategia para una persona que padece de obesidad y a la que usted va a entrevistar. Necesita saber su consumo de azúcar para darle sugerencias de reducción, a través de lo que compra en el mercado, en la preparación de los alimentos en casa y en su mesa.
.....
3. Las paredes celulares de las plantas presentan una gran cantidad de glucosa dada por el polímero de celulosa. Este puede ser convertido a etanol por microorganismos celulares vía fermentativa. Busque en internet un esquema de la vía metabólica implicada en la conversión de celulosa a etanol. Para que la producción de biocombustible sea viable económicamente, ¿qué etapas del proceso debe ser optimizado? ¿Por qué la ingeniería genética del microorganismo es parte de este esfuerzo?
.....
4. Compare el rendimiento energético de la glucosa en condiciones aerobias y anaerobias.
.....
5. Analice los siguientes videos:
 - a) Juan Antonio Garibay. (2016). Carbohidratos: digestión, absorción y transporte.
<https://www.youtube.com/watch?v=aV4GGeXC5fw>
 - b) Efre. (2014). Metabolismo de carbohidratos (Universidad intercultural).
<https://www.youtube.com/watch?v=StwSkENe9Y0>
 - c) Bioquímica y ciencias. (2015). Metabolismo de las hexosas.
<https://www.youtube.com/watch?v=Ct5RV5mezak>
.....

Realice un resumen de los videos, a través de tres mapas conceptuales para cada aspecto.



Lípidos

El objetivo particular de este capítulo es analizar los mecanismos de digestión, absorción, transporte, metabolismo y excreción de los lípidos.

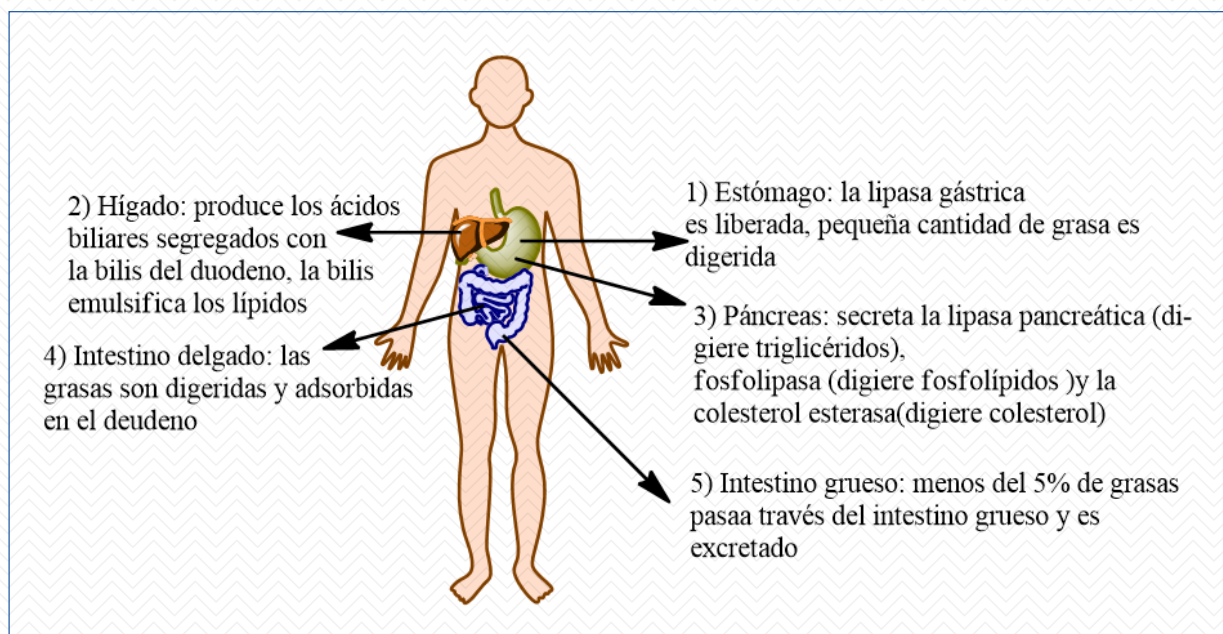
Digestión

Al considerar el término lípidos, es común asociarlo con componentes como la mantequilla, grasas o aceites. Sin embargo, es importante destacar que la familia de los lípidos abarca una variedad más amplia, que incluye triglicéridos, ceras, fosfolípidos, esfingolípidos, terpenos y esteroides. Los lípidos son reconocidos como los nutrientes que poseen la mayor densidad energética.

A diferencia de los carbohidratos, cuya digestión inicia en la cavidad bucal gracias a la acción de las enzimas salivales, como la amilasa (aunque en el caso de los niños, la lipasa salival también desempeña un papel relevante), en los adultos el proceso de digestión de los lípidos comienza en el estómago. Se recomienda consultar la Figura 47 para una ilustración más detallada de este proceso.

Figura 47

Digestión y absorción de lípidos.



Fuente: autoría propia.

La digestión de lípidos ocurre fundamentalmente en el intestino delgado.

■ Bilis

Los ácidos biliares son compuestos bioquímicos sintetizados por el parénquima hepático. Estos existen, predominantemente, en forma de aniones debido a que el pH del lumen intestinal supera el valor de pK del grupo funcional carboxílico presente en su estructura molecular. Este

fenómeno propicia la formación de sales biliares, que amplifican sus características detergentes.

Los mencionados ácidos y sus correspondientes sales son transportados y almacenados en la bilis. La función principal de las sales biliares consiste en facilitar la formación de micelas. Estas se caracterizan por poseer una fase polar y una fase apolar, lo que conlleva a una reducción de la tensión interfacial. Esta acción mecánica potencializa la eficacia de la lipasa pancreática, en simultánea colaboración con la activación enzimática de dicha lipasa. Adicionalmente, los ácidos biliares son esenciales para la absorción intestinal eficiente de las vitaminas liposolubles, específicamente, las vitaminas A, D, E y K.

■ Absorción

Se estima que alrededor del 95% de las dietas de lípidos es absorbida. Las micelas son solubles en agua y permite que la digestión de los productos sea absorbida por la mucosa intestinal. La longitud de la cadena de carbono es la que determina si es absorbido por el sistema cardiovascular o linfático.

Después de la absorción, ácidos grasos de cadena corta y media (<12 carbonos) entran principalmente en el sistema cardiovascular a través de la vena porta, que los conduce directamente al hígado. Los ácidos grasos de cadena larga (≥12 carbonos) se vuelven a esterificar en triglicéridos en la célula de absorción.

Transporte

La insolubilidad de los lípidos en solventes polares como el agua es una característica de estos compuestos. Por lo que su transporte en los líquidos corporales, como en el plasma, sería un problema serio. Esto se resuelve por la asociación de dichos lípidos con proteínas, de forma que puedan interactuar con el medio acuoso.

Las grasas se transportan en la sangre en forma de lipoproteínas llamadas quilomicrones: lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL), lipoproteínas de densidad intermedia (LDL), lipoproteínas de baja densidad (LDL) y lipoproteínas de alta densidad (HDL). Las lipoproteínas tienen un núcleo hecho de lípidos, que está cubierto con un caparazón compuesto de proteínas, fosfolípidos y colesterol. El caparazón deja que la lipoproteína circule en la sangre. La interacción entre estas lipoproteínas es de la siguiente manera:

1. Quilomicrones llevan grasa absorbida a las células del cuerpo.
2. VLDL llevan grasa tomada desde el torrente sanguíneo por el hígado, así como cualquier grasa producida por el hígado a las células del cuerpo.
3. LDL surgen de VLDL y llevan principalmente colesterol a las células.
4. HDL surgen de las células del cuerpo, principalmente en el hígado y el intestino, así como de partículas que brotan de otras lipoproteínas.

5. El HDL transporta el colesterol de las células a otras lipoproteínas y al hígado para su excreción.

Las concentraciones elevadas de colesterol plasmático contenido en las VLDL y LDL inciden en un mayor riesgo de aterosclerosis; por el contrario, a altos valores de HDL, el riesgo es menor. Una buena salud depende del consumo en la dieta de grasas.

A medida que la aterosclerosis progresa, la placa se espesa con el tiempo, causando el endurecimiento de las arterias, tendiendo a ser más estrecha y menos elástica. Esto, las hace incapaces de expandirse para adaptarse a las variaciones normales de la presión arterial. Las arterias afectadas se dañan aún más a medida que la sangre bombea a través de ellas y aumenta la presión. En la fase final, un coágulo o espasmo, en una arteria obstruida por placa, bloquea el flujo de sangre y conduce a un ataque al corazón (infarto de miocardio) o accidente cerebrovascular (accidente cerebrovascular).

Las dietas que incluyen pescado rico en ácidos grasos omega-3, dos veces por semana (8 onzas/semana), pueden reducir las capacidades de coagulación de la sangre y afecta favorablemente al ritmo cardíaco en algunas personas. Ambos efectos ayudan a reducir las posibilidades de tener un ataque al corazón.

Una mayor ingesta de pescado (4 a 8 onzas/día) reduce aún más el riesgo de enfermedad cardíaca, al reducir los niveles de triglicéridos en sangre, en aquellos cuyos niveles son altos. Sin embargo, una ingesta excesiva de ácidos grasos omega-3 puede afectar la función del sistema inmune, permitir un sangrado incontrolado y causar un accidente cerebrovascular hemorrágico. Los niveles excesivos de omega-3 son generalmente el resultado del uso de suplementos.

Metabolismo

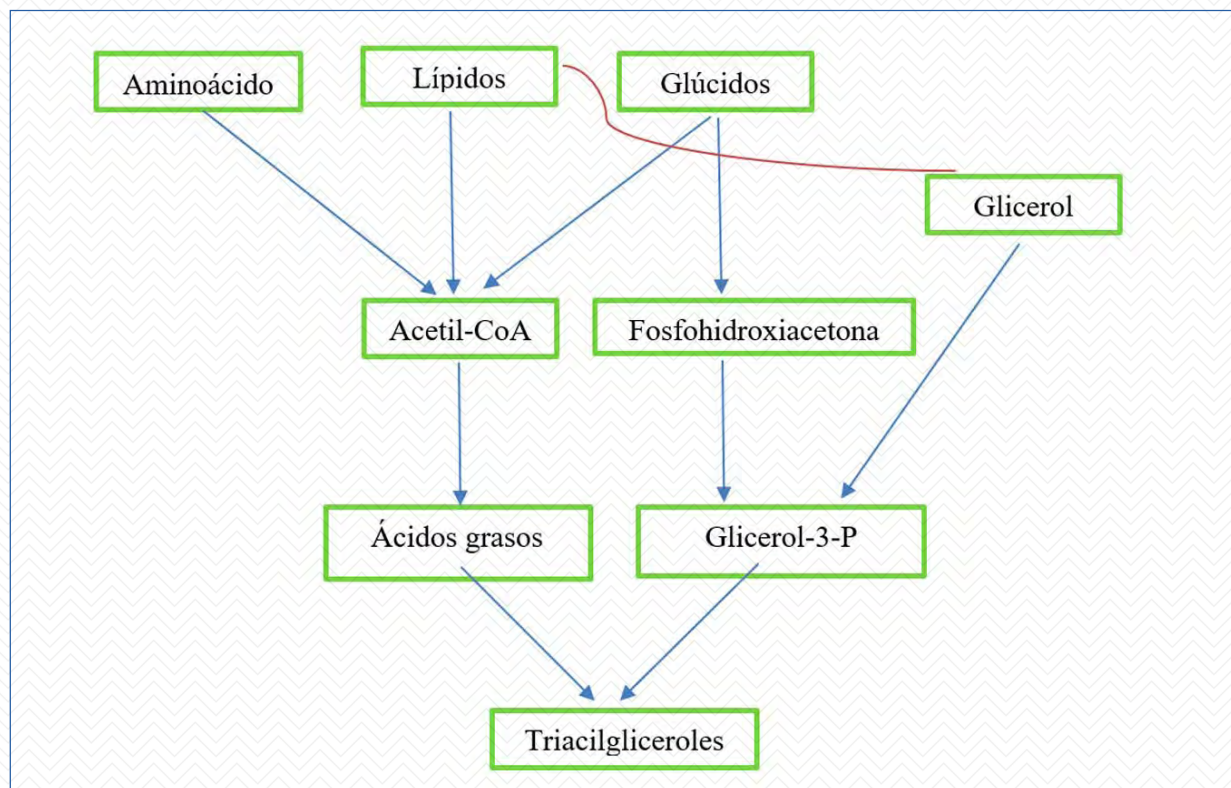
■ Lipogénesis

La lipogénesis representa el proceso bioquímico en el que se lleva a cabo la síntesis de triacilglicerol, actuando como una vía metabólica inversa a la β -oxidación de ácidos grasos. Este fenómeno se despliega en condiciones que involucran tanto sustratos lipídicos como no lipídicos, como se ilustra en la Figura 48.

El sistema enzimático, implicado en la lipogénesis, está presente en múltiples tejidos, entre los cuales se destacan el hígado, riñón, tejido adiposo, glándula mamaria, encéfalo y pulmón. Se identifican dos etapas críticas durante la biogénesis de ácidos grasos que transcurren en el compartimento citoplasmático celular:

1. La conversión de Acetil-CoA a malonil-CoA, un proceso catalizado por la enzima Acetil-CoA carboxilasa, que facilita la carboxilación del Acetil-CoA.

2. La formación del ácido palmítico, a partir del malonil-CoA, mediada por la enzima ácido-graso sintetasa, que opera a través de una serie de reacciones de alargamiento de la cadena lipídica en un ciclo de condensación y reducción.

Figura 48*Proceso general de la lipogénesis.**Fuente:* autoría propia.

El balance general de la biosíntesis de ácidos grasos es como sigue:



La regulación de la lipogénesis se da en el inicio del proceso, en la biosíntesis de ácidos grasos. Los puntos principales de regulación son la acetil-CoA carboxilasa y la enzima ácido-graso sintetasa.

■ Lipólisis

La lipólisis se define como el proceso bioquímico de degradación progresiva de los triglicéridos en sus constituyentes monoméricos, específicamente, el glicerol y los ácidos grasos libres. Este proceso es catalizado por un conjunto de tres enzimas lipolíticas que ejercen su actividad sobre triacilgliceroles, diacilgliceroles y monoacilgliceroles. El glicerol resultante de esta hidrólisis es transportado a través del torrente sanguíneo hacia múltiples tejidos, incluyendo el hígado, donde se lleva a cabo la gluconeogénesis, proceso metabólico que sintetiza glucosa a partir de precursores no glucídicos, la que, posteriormente, será utilizada vía glucolítica en tejidos como el cerebral y muscular, entre otros.

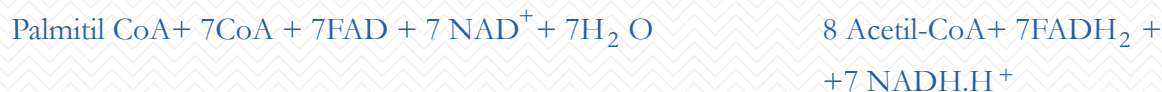
Por otro lado, los ácidos grasos liberados experimentan un ciclo de oxidación sistemática y controlada. Este involucra la eliminación secuencial de átomos de carbono, específicamente, en

las posiciones α , β y ω , a través de reacciones que conforman la β -oxidación. Aunque se conocen múltiples rutas metabólicas para la oxidación de los ácidos grasos, la β -oxidación se erige como la vía predominante para la catálisis de la mayoría de los ácidos grasos de cadena larga.

■ Balance energético

El balance energético de la β oxidación, tomando como ejemplo el ácido palmítico (C16) es mostrado a continuación.

La vía de β -oxidación es una serie de reacciones catalizadas por enzimas que operan de manera repetitiva para degradar, progresivamente, la eliminación de ácidos grasos suprimiendo dos carbonos en la posición β de la cadena carbonada del ácido graso. La reacción global del proceso se muestra en la siguiente reacción.



Cada FADH_2 proporciona equivalentes de reducción a la cadena respiratoria para formación de 1.5 ATP y el NADH aporta 2.5 ATP; por tanto, en siete vueltas se obtiene 28 ATP. Además, si se considera que cada Acetil-CoA que entra al Ciclo de Krebs o el ciclo del ácido cítrico, produce 10 ATP, las 8 unidades del ácido palmítico producirían 80 ATP. Esto hace un balance de 108 ATP. De esta manera, restando los 2ATP consumidos en el proceso de activación inicial, el balance neto sería de 106 ATP producidos por la oxidación completa del ácido palmítico.

■ Beta-oxidación

La β -oxidación ocurre a través de cuatro reacciones: deshidrogenación, hidratación, deshidrogenación y ruptura tiolítica. De forma que, los acil-CoA (en el ejemplo fue el palmitil CoA, proveniente del ácido palmítico), queda transformado en acetil-CoA. Es así que, en requerimientos energéticos elevados como en la lipólisis, estos últimos, se incorporan al ciclo de Krebs donde serán completamente oxidados.

En el caso de ácidos grasos insaturados, se oxidan por un proceso similar al de la β -oxidación, sólo que intervienen dos enzimas adicionales, una isomerasa y una reductasa.

La β -oxidación ocurre en el interior de las mitocondrias. Antes que los ácidos grasos se puedan oxidar, se deben “activar” para que produzcan una reacción de acilación dependiente de ATP, para formar acil-CoA graso. El proceso de activación es catalizado por una familia de al menos tres acil-CoA sintetasas.

Este proceso ocurre en el citosol, de manera que los ácidos grasos deberán ser transportados hacia la matriz mitocondrial, auxiliado por el mecanismo de la carnitina. Este paso constituye un punto de regulación en la lipólisis. También, la disponibilidad de cofactores oxidados es otro punto de regulación de la oxidación de ácidos grasos.

■ Cetogénesis: cuerpos cetónicos

En muchos vertebrados, incluyendo los seres humanos, el hígado desempeña un papel crucial al condensar una parte del acetil-CoA generado a partir de la β -oxidación de los ácidos grasos. Este proceso lleva a la conversión de acetil-CoA en ácido acetilacético y ácido β -hidroxibutírico, así como en acetona, a través de la descarboxilación del acetilacético. Estos compuestos son conocidos colectivamente como cuerpos cetónicos. Este fenómeno se denomina cetogénesis.

Los cuerpos cetónicos son vitales como fuente de energía para diversos tejidos, tales como el corazón y el músculo esquelético. En períodos de ayuno prolongado, el cerebro también puede utilizar cuerpos cetónicos como alternativa energética. Las enzimas involucradas en la cetogénesis se localizan en la matriz mitocondrial. Un aumento en la producción de cuerpos cetónicos, junto con la capacidad limitada de los tejidos extrahepáticos para metabolizarlos, puede dar lugar a una condición conocida como cetosis, que en casos severos puede resultar fatal.

La regulación de los cuerpos cetónicos está vinculada a la liberación de ácidos grasos desde el tejido adiposo, siendo la lipasa hormonosensible de este tejido influenciada, en gran medida, por la relación entre insulina y glucagón. Un segundo mecanismo regulador implica la β -oxidación y la tasa de esterificación. Cuando predominan los procesos de β -oxidación, se favorece la cetogénesis. Finalmente, el acetil-CoA formado a partir de la β -oxidación de ácidos grasos en el hígado, puede ser oxidado dentro del ciclo del ácido cítrico o puede seguir la vía cetogénica.

■ Biosíntesis de ácidos grasos

Una vez que se ha obtenido el ácido palmítico, es imprescindible proceder con su activación antes que se integre a cualquiera de sus rutas metabólicas, ya sea el alargamiento, la desaturación o la esterificación con colesterol o glicerol activado.

■ Elongación y desaturación

En mamíferos, el alargamiento de la cadena de los ácidos grasos ocurre principalmente en el retículo endoplasmático. Este ocurre similarmente a la biosíntesis citoplasmática de los ácidos grasos. También el alargamiento de ácidos grasos ocurre en la mitocondria. En el caso de la desaturación, se localiza en el retículo endoplasmático, donde la enzima principal en este proceso es la desaturasa. Los animales presentan la desaturasa Δ^9 , por lo que pueden sintetizar la serie poliinsaturada Δ^9 o serie del ácido oleico mediante la combinación de la desaturación y alargamiento.

Serie ω -9, donde 1: desaturasa, 2: elongasa

Ácido Oleico (18:1)



Sin embargo, los animales no pueden sintetizar el ácido linoleico (18:2 cis- Δ^9 ,¹²) que es ω -6, ni el α -linolénico (18:3 cis- Δ^9 ,¹²,¹⁵) o ω -3, debido a que no presenta las desaturasas requeridas. Estos dos ácidos grasos son esenciales, por lo que se debe ingerir en la dieta.

En el caso de la síntesis de triacilgliceroles, ocurre en dos etapas.

Glicerol 3P+2Acil CoA $\xrightarrow{1}$ Ácido lisofosfatídico $\xrightarrow{2}$ Ácido fosfatídico **1ra etapa**

Acido fosfatídico $\xrightarrow{3}$ 1-2 diacilglicerol $\xrightarrow{4}$ Triacilglicerol **2da etapa**

1: glicerol 3P aciltransferasa; 2: lisofosfatídico aciltransferasa

3: fosfatídico fosfatasa; 4: acil transferasa

La mayoría de las enzimas de la biosíntesis de triacilglicerol (TAG) se encuentran en el retículo endoplasmático.

■ Metabolismo de lípidos de membrana

Uno de los elementos constitutivos de la bicapa lipídica son los glicerofosfolípidos, específicamente, los fosfatidos de glicerina, que son especies lipídicas complejas compuestas por una molécula de glicerol unida a uno o dos residuos de ácidos grasos y un grupo fosfato, además de otros grupos funcionales adicionales. La síntesis de estos compuestos ocurre, predominantemente, en las mitocondrias y en el retículo endoplásmico, a través del catalizador enzimático conocido como fosfatidilglicerol fosfatasa. La catálisis de la degradación de los glicerofosfolípidos transcurre mediante la acción de las fosfolipasas, enzimas que se clasifican según el tipo de enlace que hidrolizan. Dichas enzimas están presentes en diversas tipologías de células eucariotas.

Adicionalmente, otro grupo significativo de lípidos de la membrana son los esfingolípidos, que desempeñan un papel crítico en la estructura de las membranas de las fibras nerviosas y de diversas lipoproteínas. La biosíntesis de estos lípidos tiene lugar en el retículo endoplásmico e involucra la condensación de dos precursores clave: el palmitil-coenzima A y la serina. La degradación de los esfingolípidos se lleva a cabo mediante enzimas lisosomales específicas. La insuficiencia en la actividad de cualquiera de estas enzimas resulta en la acumulación patológica de estos lípidos complejos, lo que genera daños significativos en la funcionalidad del sistema nervioso.

■ Síntesis de colesterol

El colesterol es un lípido esteroide esencial. Este desempeña un rol crítico como constituyente estructural de las bicapas lipídicas de las membranas celulares y actúa como precursor biosintético de compuestos esteroideos y ácidos biliares. Su biosíntesis se lleva a cabo, principalmente, en el parénquima hepático, donde el acetil-CoA se metaboliza hacia colesterol, a través de una ruta bioquímica multietapa, segmentada en cinco fases distintivas:

1. La conversión del acetil-CoA en ácido mevalónico, mediante una serie de reacciones catalizadas por la 3-hidroxiβbutiril-CoA sintasa y la HMG-CoA reductasa.

2. La transformación del ácido mevalónico en unidades de isopreno activadas, específicamente, en forma de difosfato de isoprenilo, mediante reacciones enzimáticas mediadas por la mevalonato quinasa y la fosfomevalonato descarboxilasa.

3. La condensación de las unidades de isoprenos activadas, que culmina en la formación del escualeno, ocurre a través de la acción de escualeno sintasa.

4. La conversión del escualeno en lanosterol, un proceso catalizado por escualeno epóxido y otras enzimas.

5. La transformación del lanosterol en colesterol, que involucra múltiples modificaciones estructurales llevadas a cabo por una serie de enzimas, incluidos los ciclopentanoperhidrofenantrenos.

La regulación homeostática de este proceso biosintético en el tejido hepático está orquestada principalmente por la actividad de la HMG-CoA reductasa y es modulada, hormonalmente, por la insulina que induce su actividad y el glucagón que la reprime. Adicionalmente, el colesterol no solo constituye una fracción integral de las membranas celulares, sino que también actúa como precursor en la biosíntesis de hormonas esteroideas fundamentales, incluyendo cortisol, andrógenos y estrógenos.

En el tejido hepático, el colesterol también puede tener un destino metabólico alternativo, siendo convertido en ácidos biliares, tras un proceso de conjugación y modificación estructural, facilitando de este modo la emulsificación y absorción de lípidos en el tracto gastrointestinal.

■ Degradación del colesterol

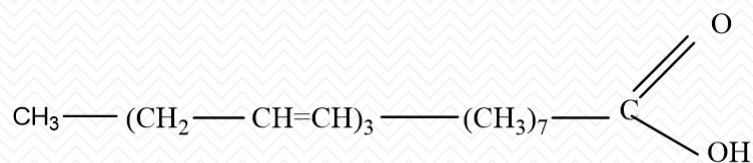
El colesterol es excretado del organismo mediante un proceso que inicia en el hígado y se lleva a cabo a través de la bilis. Es importante destacar que el ser humano no posee la capacidad de metabolizar la estructura del colesterol en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O). En su lugar, el núcleo intacto del esterol es eliminado del cuerpo al convertirse en ácidos y sales biliares que, en primera instancia, son secretadas en la bilis y finalmente se excretan a través de las heces fecales.

Una fracción del colesterol intacto también se secreta en la bilis y llega al intestino, donde es transformado por la acción de bacterias en esteroides neutros, como coprostanol y colestanol. Aunque en ciertas bacterias se ha observado la degradación total del colesterol y sus derivados, la vía metabólica que sigue este proceso aún se encuentra bajo investigación y permanece sin esclarecer.

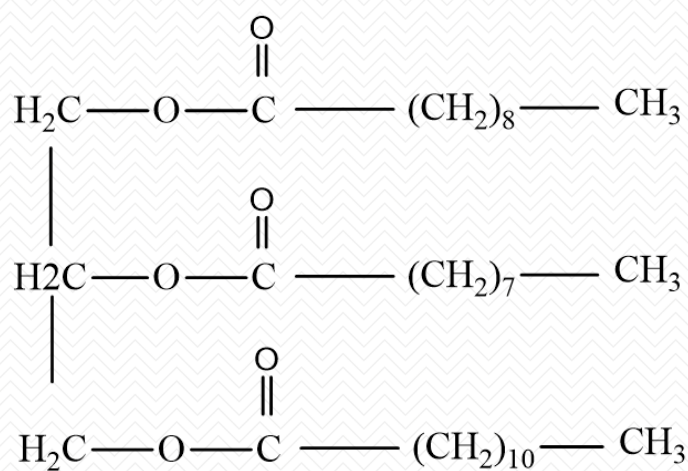
Preguntas de reflexión del capítulo V

El metabolismo de los lípidos estudiados en esta unidad plasma su diversidad funcional, desde almacenamiento de energía como los triglicéridos hasta componentes de membrana como los esfingolípidos y precursores de lípidos complejos como el colesterol. Estas características les confiere una particular importancia en su estudio y aprendizaje. Muchas preguntas todavía faltan por responder y es a lo que nos acercamos en esta sección.

1. ¿Es el ácido graso que a continuación se muestra metabolizado por los animales? Explique.



2. Explique por qué los lípidos no pueden ser transportados libremente en la sangre.
3. Describa, mediante un esquema, como se degrada totalmente el ácido esteárico hasta CO_2 y H_2O .
4. Explique la relación funcional de la β -oxidación de los ácidos grasos con la cetogénesis.
5. Demuestre la importancia biológica del colesterol.
6. Determine el balance energético de la degradación total de la siguiente molécula.



7. Justifique la importancia del ácido cítrico en la integración del metabolismo de los lípidos.
8. Justifique la importancia de las micelas en los procesos de digestión y absorción de los lípidos.

Actividades de trabajo del capítulo V

1. Calcule y compare el rendimiento energético de la degradación de una molécula de glucosa y de ácido palmítico. ¿Cuántas moléculas de glucosa se necesitarán para igualar los rendimientos?
2. El biodiesel es un combustible derivado de plantas que puede ser manufacturado por tratar el aceite con metanol, empleando como catalizador KOH o enzimas como la lipasa, para producir ácidos grasos metil éster. Represente la reacción y los productos obtenidos.
3. Comparar la oxidación y síntesis de ácidos grasos respecto a:
 - a) Lugar de los procesos.
 - b) Transportador de los ácidos.
 - c) Reductores y oxidantes.
 - d) Estequiometría de los intermediarios.
 - e) Dirección de síntesis o degradación.
 - f) Organización del sistema enzimático.

g) Tipos de ácidos grasos producidos.

4. Justifique como el ejercicio físico aerobio previene la obesidad al nivel molecular.

5. Analice los siguientes videos:

a) Efi-ciencia red. (2014). Lípidos saponificables complejos: fosfolípidos y esfingolípidos. Lípidos de membrana anfipáticos.

<https://www.youtube.com/watch?v=X54Dse1PWJM>

b) Dr. Luca Merlini. (2014). Síntesis de Colesterol.

<https://www.youtube.com/watch?v=f0oTgGSSvyQ>

c) unProfesor. (2015).Cuál es la función de los lípidos?

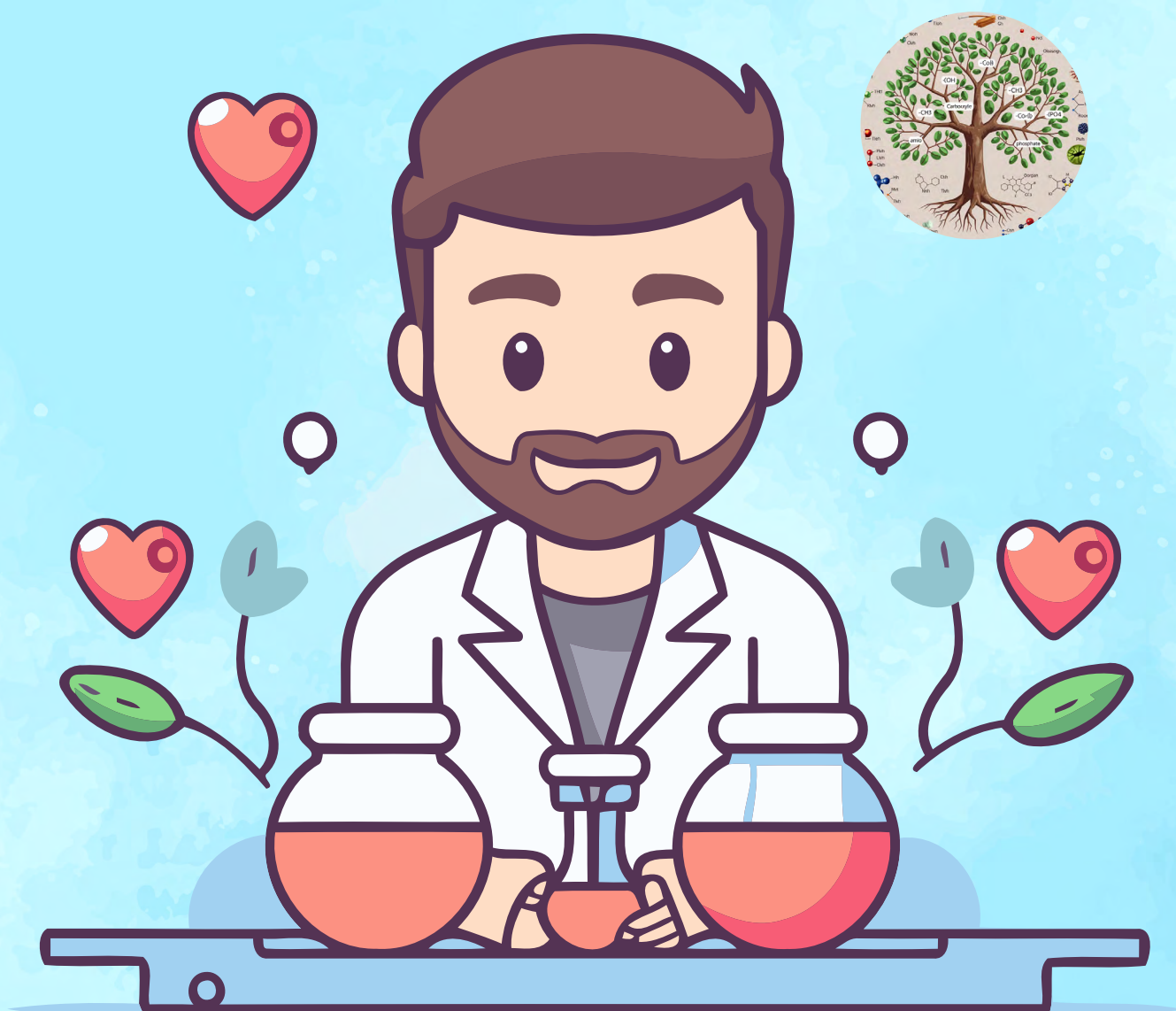
<https://www.youtube.com/watch?v=WKtHSEO-oCQ>

Realice un resumen de los videos, a través de tres mapas conceptuales para cada aspecto.



CAPÍTULO VI

PROTEÍNAS



Proteínas

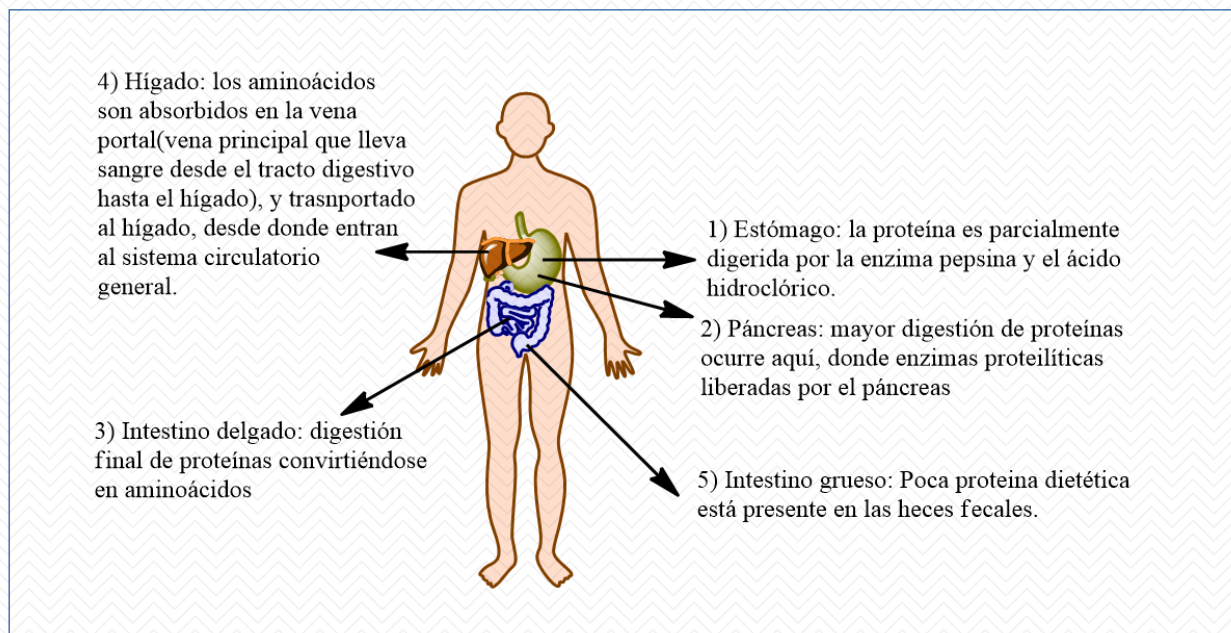
El objetivo particular de este capítulo es analizar los mecanismos de digestión, absorción, transporte, metabolismo y excreción de las proteínas.

■ Digestión

En su configuración, las proteínas están compuestas por aminoácidos. Estas macromoléculas se obtienen a través de la dieta, así como del reciclaje interno en el organismo. En ciertos alimentos, el proceso de digestión puede iniciar durante la cocción, lo que resulta en la desnaturalización de las proteínas y fibras, facilitando así su digestión y absorción en el tracto digestivo, como se ilustra en la Figura 49.

Figura 49

Digestión y absorción de proteínas.



Fuente: autoría propia.

Las enzimas que catalizan la hidrólisis de los enlaces peptídicos de las proteínas, se les denomina enzimas proteolíticas o proteasas. De estas se distinguen dos grupos: las proteinasas (atacan sustratos de alto peso molecular y atacan enlaces peptídicos en el interior de las cadenas poliaminoacídicas de las proteínas), ejemplo de ellas que actúan en el aparato digestivo están la pepsina, tripsina, quimotripsina y la elastasa. El segundo grupo de proteasas son las peptidasas (atacan a péptidos de bajo peso molecular, su acción es preferencialmente a enlaces peptídicos en los extremos de las cadenas o cerca de ellos). Las que atacan al grupo carboxílico se les llama carboxipeptidasas, en cambio, las que atacan al grupo amino son aminopeptidasas.

Absorción

En el intestino, la mezcla de aminoácidos es absorbida por las células de la mucosa intestinal, mediante un mecanismo de transporte activo que consumen ATP y requieren iones sodio. La mayor parte de la sangre que retorna del intestino lo hace a través de la vía portal hepática (Figura 51).

Transporte

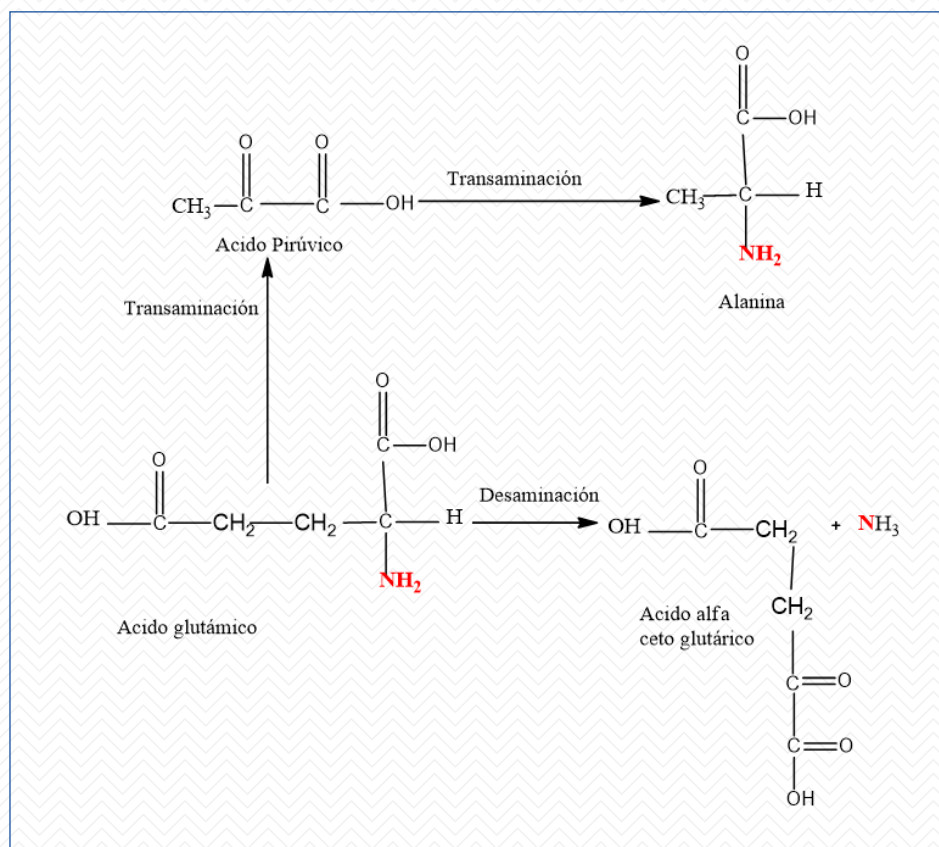
Los aminoácidos absorbidos en el intestino alcanzan, en primer lugar, el hígado por la vía portal hepática (Figura 51). Posteriormente, alcanzan al resto de las células de los órganos, a través de la sangre, donde una vez dentro de las células son incorporados a las vías metabólicas correspondientes, sea para síntesis de proteínas, energía o conversión a carbohidratos o lípidos.

Síntesis de aminoácidos

El cuerpo humano no es capaz de sintetizar todos los aminoácidos. Este necesita 20 aminoácidos para funcionar, 11 de ellos los produce el cuerpo humano llamados no esenciales. Los nueve restantes que no logra sintetizar se los llama aminoácidos esenciales: histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina. La síntesis de aminoácidos no esenciales se realiza por el proceso de la transaminación (Figura 50).

Figura 50

Proceso de la formación de aminoácidos.



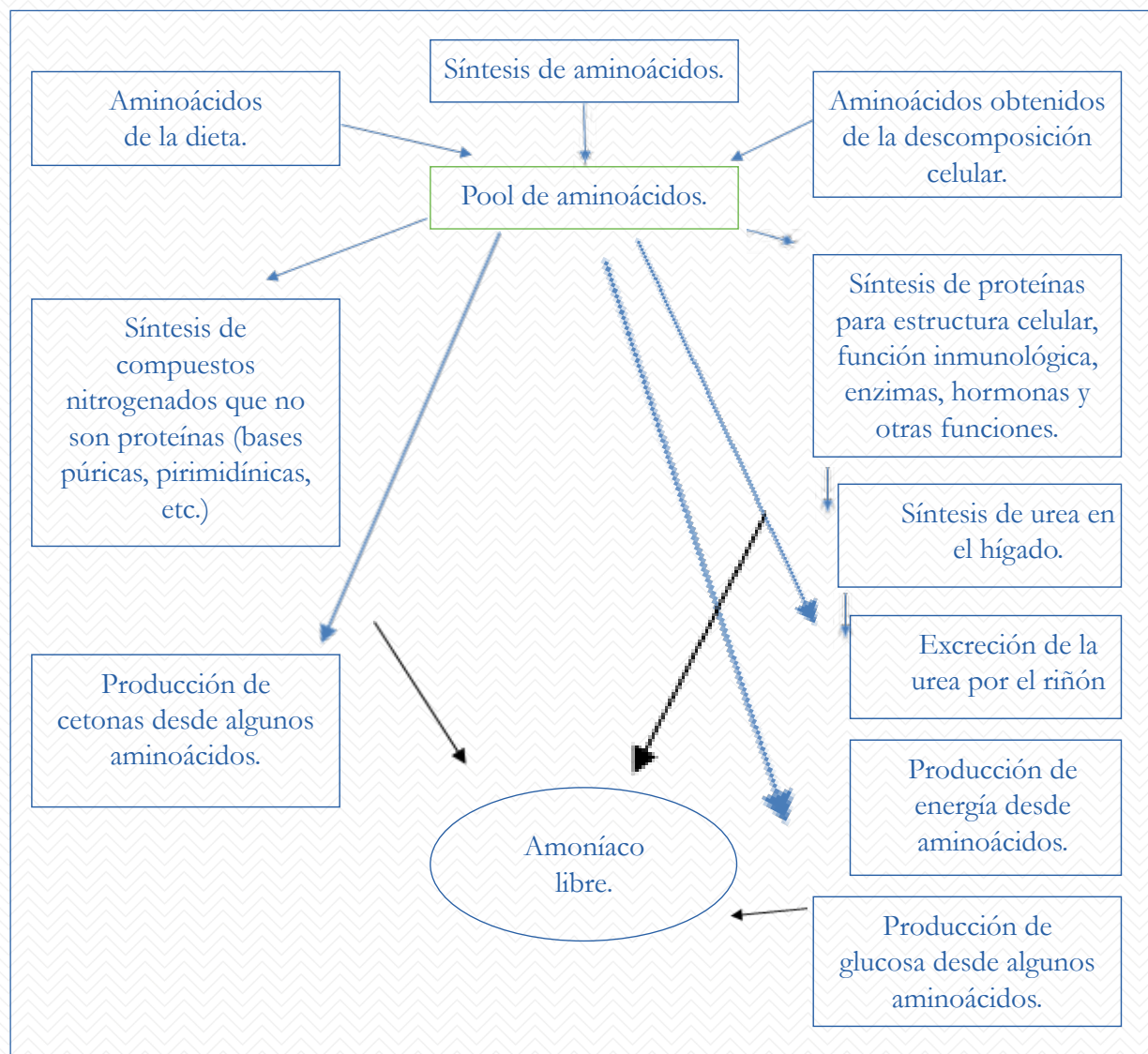
Fuente: autoría propia.

En la figura anterior, se ilustra el proceso mediante el que el ácido pirúvico adquiere un grupo amino del ácido glutámico, dando lugar a la formación del aminoácido alanina. Esta reacción representa la transferencia de un grupo amino de un aminoácido a un cetoácido, lo que resulta en la producción del aminoácido que corresponde al cetoácido inicial. Es importante destacar que, en este proceso, no se produce amoníaco libre. Los tres cetoácidos que intervienen en esta reacción son el pirúvico, el oxalacético y el alfa-ceto glutárico. Por otro lado, en el caso de la desaminación, la pérdida de un grupo amino da lugar al alfa-cetoácido correspondiente y al amoníaco.

Respecto a los destinos de los aminoácidos, estos se distribuyen en diversos líquidos corporales, incluyendo aquellos de tipo intracelular, plasma y linfa, entre otros. Existe un intercambio continuo entre membranas celulares, capilares, etc., que contribuye a un equilibrio dinámico en su concentración, ya sea a través de la sustracción o la adición de aminoácidos al pool. Para una representación visual de este proceso, consulte la Figura 51.

Figura 51

Metabolismo de los aminoácidos.



Fuente: autoría propia.

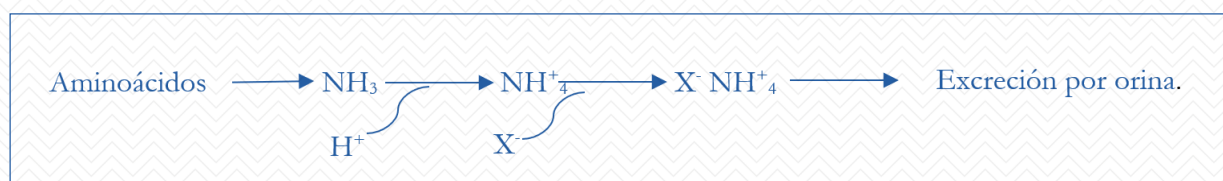
■ Catabolismo de esqueletos carbonados de aminoácidos

La vía catabólica para los veinte aminoácidos presenta variaciones significativas y se compone de múltiples etapas secuenciales. Comúnmente, el proceso de catabolismo de los aminoácidos inicia con la eliminación del grupo amino, a través de mecanismos como la desaminación o la descarboxilación.

Este proceso resulta en la formación de compuestos que se integran con las rutas metabólicas asociadas a los glúcidos y lípidos. El destino metabólico del amoníaco, generado durante la desaminación, tiende a ser su excreción a través de la orina, predominando la eliminación en forma de urea o mediante la formación de sales de amonio. Alternativamente, el amoníaco también puede participar en la síntesis de aminoácidos no esenciales. La excreción renal de amoníaco se ilustra en la Figura 52.

Figura 52

Mecanismo de excreción del amoníaco vía renal.

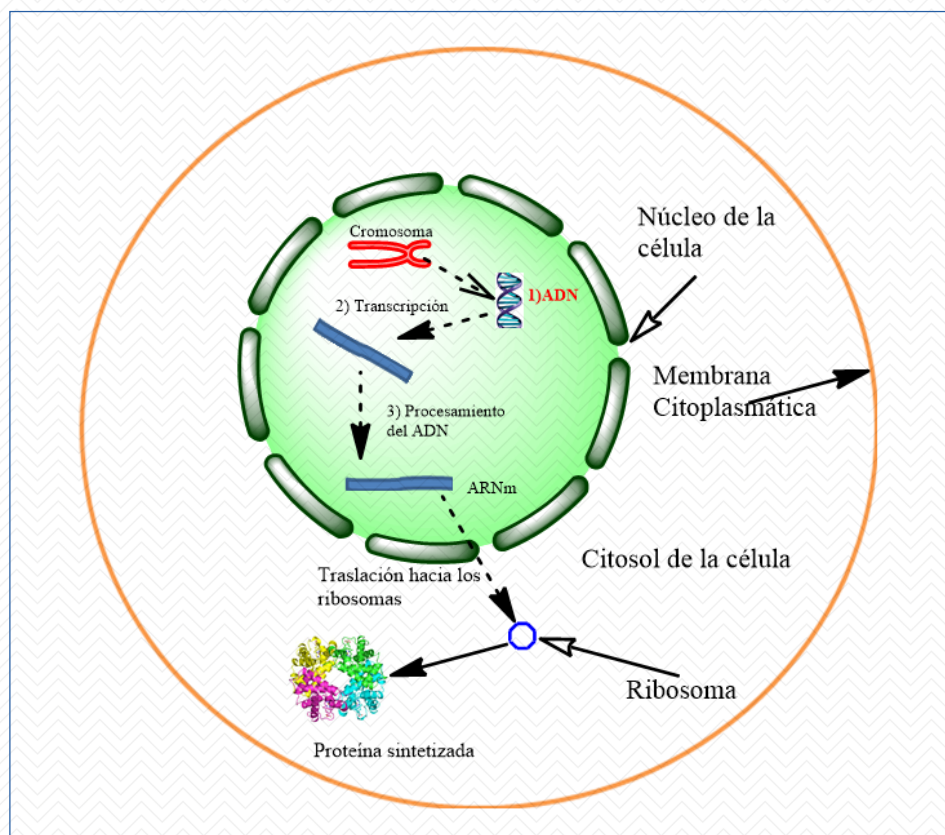


Fuente: autoría propia.

■ Síntesis de proteínas

La síntesis de proteína es determinada a través del proceso llamado expresión de la información genética, también llamado traducción. La síntesis ocurre en los ribosomas, organelo que se encuentra en el citoplasma de la célula. Así, el código genético del ADN debe ser transferido desde el núcleo de la célula al ribosoma. Este trabajo, de transferir la información genética corresponde al ARNm, proceso llamado transcripción.

El ARNm viaja a través de los ribosomas, donde lee los codones (tripleto de bases nitrogenadas que codifican a un aminoácido determinado), lo cual es facilitado por el ARNt, que está acoplado a los ribosomas. En la Figura 53 se representa, resumidamente, el proceso de síntesis de proteínas. Hay que destacar que la síntesis de proteínas se produce de forma unidireccional, desde el extremo N terminal hacia el C terminal. Para la realización de la traducción se requieren más de 200 macromoléculas específicas. El proceso es gradual y repetitivo y está acoplado a la síntesis de NTP.

Figura 53*Etapas en la síntesis de proteínas.**Fuente: autoría propia.*

■ Catabolismo de proteínas

En el proceso de catabolismo de las proteínas intracelulares, intervienen enzimas proteolíticas, localizadas en los lisosomas y denominadas catepsinas. Asimismo, en el citoplasma se ha identificado un complejo conocido como proteasoma que tiene la capacidad de hidrolizar múltiples enlaces peptídicos. Este proceso catabólico está sujeto a regulación, ya que puede ser inhibido por diversos aminoácidos y por la hormona insulina, mientras que el glucagón y los glucocorticoides tienen un efecto acelerador sobre el mismo.

■ Síntesis de urea

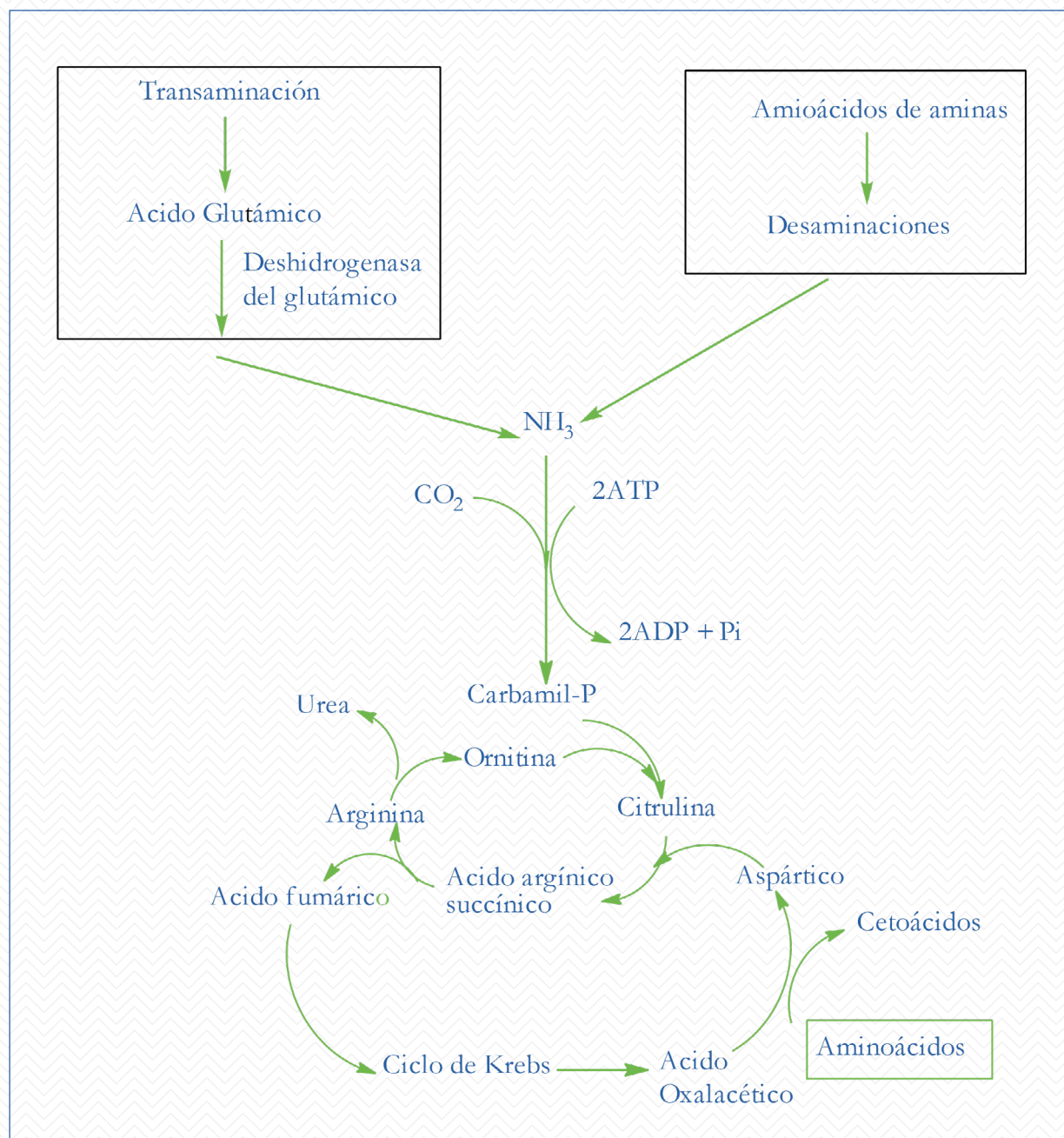
Este mecanismo se considera el más eficaz para la eliminación del amoníaco. La síntesis de urea se lleva a cabo en el hígado; desde allí, se transporta hacia los riñones, donde se excreta a través de la orina (ver Figura 54). A diferencia del amoníaco, la urea es un compuesto de baja toxicidad para el organismo. La principal fuente de la síntesis de urea es el nitrógeno que proviene de los aminoácidos.

En la Figura 54, se ilustra que los grupos amino de los aminoácidos pueden integrarse en el ciclo para ser convertidos en urea. Este ciclo requiere la utilización de cuatro enlaces ricos en energía

para la síntesis de carbamoyl P. La enzima encargada de proporcionar los grupos amino necesarios para esta síntesis es la deshidrogenasa del glutámico.

Figura 54

Reacciones del ciclo de la urea.



Fuente: autoría propia.

■ Biosíntesis del hemo

El grupo hemo es una porfirina, donde un átomo de hierro (Fe) se encuentra unido a 4 nitrógenos centrales. En estas condiciones, el hierro central posee dos valencias adicionales de coordinación que se proyectan en ambos lados del anillo, posibilitando así la interacción del hemo

con otras moléculas. La otra función del grupo hemo es en las reacciones de oxido-reducción del Fe, en los estados ferrosos (Fe^{2+}) y férrico (Fe^{3+}).

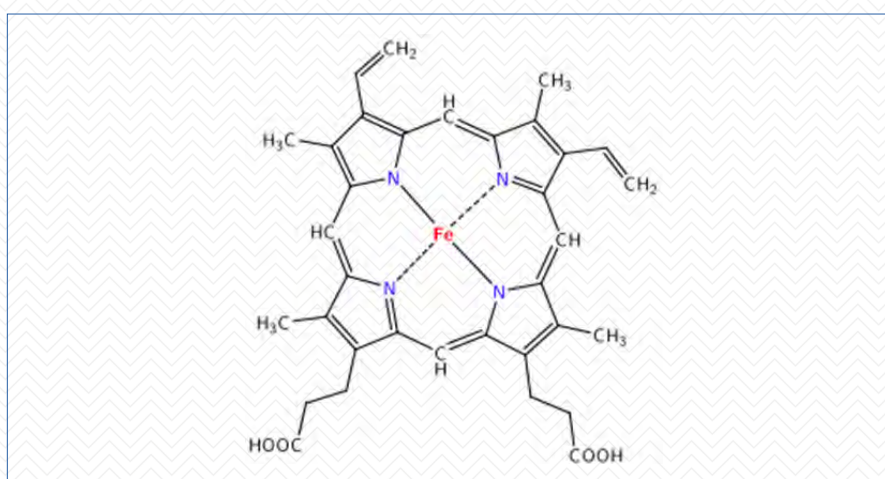
Las hemoproteínas es componente de varias proteínas como la hemoglobina, mioglobina y citocromos.

■ Biotransformación del hemo

El hemo (Figura 55) es sintetizado principalmente en las células eritroides en alrededor de un 85% y el resto en el hígado aproximadamente. Las sustancias precursoras del anillo porfirínico son la succinil-CoA, intermediario del ciclo del ácido cítrico y la glicina (Figura 56).

Figura 55

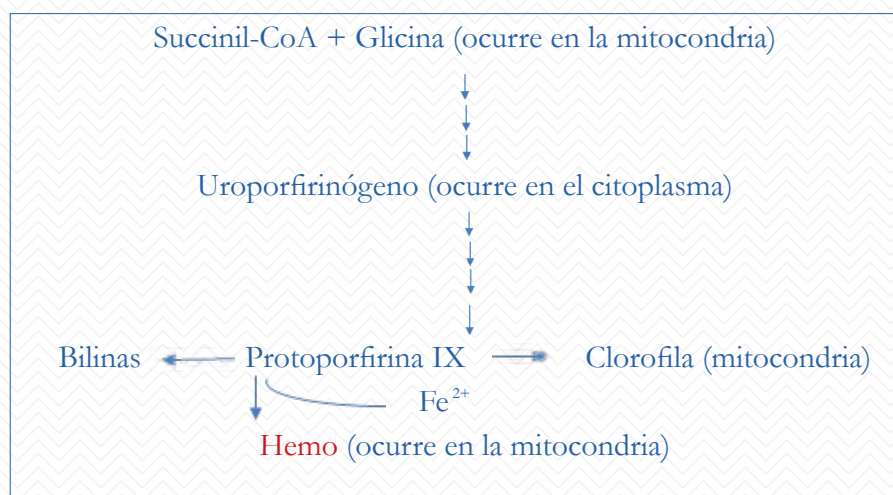
Grupo hemo.



Nota. Grupo hemo, conformado por un anillo de porfirina que lo integran cuatro pirroles, en el centro se encuentra el átomo de hierro. *Fuente:* tomado de <https://es.wikipedia.org/wiki/Porfirina>

Figura 56

Síntesis general del grupo hemo.



Fuente: autoría propia.

■ Catabolismo del grupo hemo

El proceso de catabolismo de las hemoproteínas tiene lugar en el retículo endoplasmático, donde se lleva a cabo la separación de la fracción proteica. Esta etapa es generalmente seguida por la degradación de la proteína a aminoácidos y la liberación del hierro. El anillo porfirínico experimenta oxidación a través de la acción de la enzima hemo oxigenasa, que actúa entre los anillos A y B de la porfirina, produciendo así biliverdina. Posteriormente, la enzima biliverdina reductasa, utilizando NADPH, reduce la biliverdina a bilirrubina.

Es importante señalar que la bilirrubina, altamente lipofílica, es insoluble en soluciones acuosas y se transporta en la circulación sanguínea mediante el complejo albúmina sérica. Los derivados de bilirrubina son secretados en la bilis y, en su mayoría, son sometidos a una mayor degradación por las enzimas bacterianas presentes en el intestino grueso.

Una parte del urobilinógeno resultante es reabsorbida y transportada al riñón, donde se transforma en urobilina amarilla, la cual es excretada, contribuyendo al color característico de la orina. Sin embargo, la mayoría de los urobilinógenos se convierten de manera microbiana en esterobilina marrón rojiza, que es el principal pigmento de las heces fecales.

Preguntas de reflexión del capítulo VI

A través de esta unidad, se ha brindado un panorama de la importancia de las proteínas. Estas desempeñan un papel clave en los seres vivos. Así, se evidencia que la vida mantiene una estrecha relación con las proteínas y de ahí la importancia de su estudio.

1. ¿Cuál es el papel de la lisozima en la degradación extracelular e intracelular de proteínas?
2. ¿Cómo repercutirá una disminución de la absorción intestinal de aminoácidos en los procesos vinculados que tiene éste en el cuerpo?
3. Explique por qué no todo el nitrógeno proveniente de la dieta por ingerir proteínas en los alimentos, no es incorporado al organismo.
4. Haga una breve descripción sobre las características del ADN y por qué es portador de la información genética en los organismos biológicos.
5. Demuestre que en el proceso de traducción se cumplen los siguientes principios:
 - a) Cambios graduales
 - b) De acoplamiento
 - c) Transferencia de información.
6. Explique la importancia biológica de las proteínas.
7. ¿Cuáles son los mecanismos fundamentales de eliminación del amoníaco en el organismo?

8. ¿Cuál es la acción básica de las enzimas proteolíticas? Ponga ejemplos de ellas.

9. ¿Son los mismos aminoácidos esenciales para plantas, animales? Justifique su respuesta.

Actividades de trabajo del capítulo VI

1. Describa las principales vías de síntesis y degradación de los aminoácidos no esenciales.

2. Realizar una investigación de dos enfermedades causadas por la desnutrición en niños: marasmus y kwashiorkor. En dicha investigación, analice si estas enfermedades se padecen en su comunidad. Haga un reporte de los resultados.

3. Realice un ensayo de las alergias producidas por las proteínas contenidas en los alimentos, donde debe describir los síntomas, cuáles alimentos causan más alergia y que se puede hacer para prevenir esto.

4. Describa la estructura general del grupo hemo, cuál es su función y explique como ocurre la eliminación de la bilirrubina en el organismo.

5. Analice los siguientes videos:

a) Ushiolover. (2014). Síntesis de proteínas-transcripción y traducción. <https://www.youtube.com/watch?v=2ndYX2CpdHA>

b) UnProfesor. (2015). Catabolismo de aminoácidos. <https://www.youtube.com/watch?v=814iHjpvHNE>

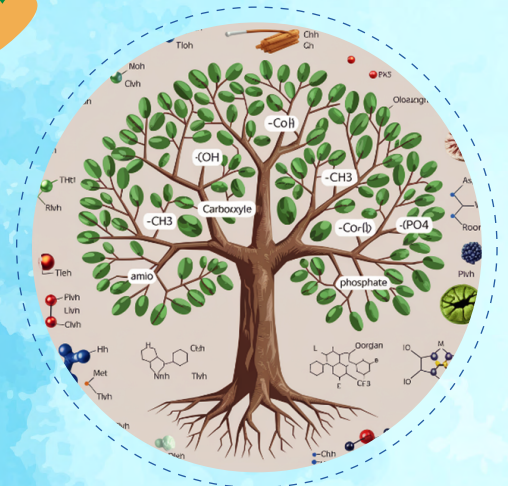
c) Patricia Lopes Vilas Boas. (2013). Metabolismo del hemo, “contigo quiero caminar”. <https://www.youtube.com/watch?v=eDxT7xJGRSw>

Realice un resumen de los videos, a través de tres mapas conceptuales para cada aspecto.



CAPÍTULO VII

ALCOHOL, VITAMINAS Y MINERALES



Alcohol, vitaminas y minerales

El objetivo particular de este capítulo es analizar el mecanismo y los procesos involucrados en el metabolismo del alcohol, vitaminas y minerales.

Metabolismo del etanol

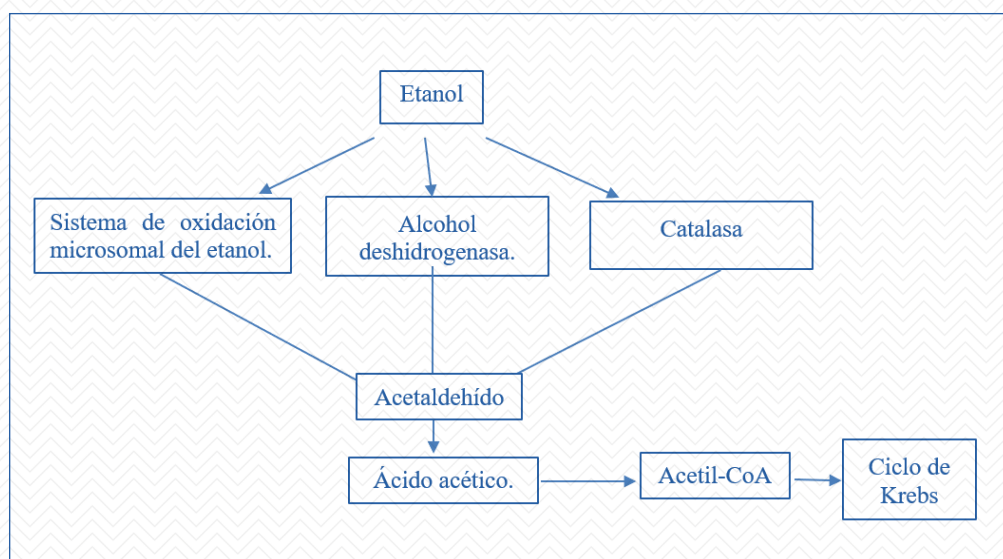
El etanol, el principal constituyente alcohólico, está presente en diversas matrices etílicas como cervezas, vinos, ron, tequila y otros licores. Esta ingesta articula varios procesos bioquímicos específicos. El etanol, a diferencia de otros macronutrientes, no requiere procesos digestivos previos, siendo absorbido por mecanismos de difusión simple, a lo largo del tracto gastrointestinal. Este compuesto etílico exhibe una notable capacidad para atravesar la bicapa lipídica de las membranas celulares, debido a su naturaleza polar y apolar.

Dado que el etanol no posee la capacidad de ser almacenado en los tejidos corporales, su utilización como fuente de energía se torna crucial, incluso prevaleciendo sobre los carbohidratos en la secuencia metabólica. Una representación gráfica del proceso de metabolismo del etanol se ilustra en la Figura 57.

El metabolismo en el hígado produce acetaldehído en tres distintas vías. La primera implica al sistema microsomal, que oxida el etanol y metaboliza alrededor de un 20% de la ingesta de alcohol. Aquí el citocromo C juega un papel fundamental en el proceso. En una segunda instancia, la enzima alcohol deshidrogenasa, que se encuentra en el citoplasma del hígado, procesa alrededor de un 85% del alcohol. La tercera vía, casi insignificante, implica la enzima catalasa. Sólo una pequeña cantidad de alcohol se excreta vía urinaria. La acumulación de acetaldehído produce dolores de cabeza.

Figura 57

Metabolismo del alcohol.



Fuente: autoría propia.

■ Riesgos para la salud derivados del consumo excesivo de alcohol

En lo que respecta a las funciones gastrointestinales:

- a) Se observa una disminución en la producción de enzimas.
- b) La digestión de nutrientes se ve comprometida.
- c) La absorción de nutrientes disminuye.

Como consecuencia, pueden surgir enfermedades tales como la gastritis y la pancreatitis.

Respecto a los daños en el funcionamiento del hígado:

- a) Existe el riesgo de desarrollar cirrosis hepática.
- b) Se incrementa la probabilidad de cáncer de hígado.
- c) Se presenta el riesgo de hepatitis.

Estos problemas implican la posibilidad de tener un hígado graso, lo que a su vez provoca una reducción en la función hepática y disminuye la disponibilidad de vitaminas.

En lo relacionado con las funciones del sistema nervioso central:

- a) Puede haber una deficiencia de tiamina que conlleva a la neuropatía periférica.
- b) Se presenta el riesgo de desarrollar demencia.
- c) Puede existir daño cerebral.

En cuanto a las enfermedades coronarias:

- a) Se observa un aumento de los lípidos en la sangre, específicamente de lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL).
- b) Existe un incremento en el riesgo de desarrollar diabetes tipo II.

En lo que concierne a las enfermedades fetales durante el embarazo en la mujer:

- a) Puede haber un retardo en el crecimiento del feto.
- b) Se eleva el riesgo de que el niño presente dificultades en el aprendizaje.
- c) Pueden surgir efectos adversos para la salud a largo plazo.

Vitaminas

Las vitaminas son compuestos orgánicos que son requeridos en cantidades mínimas dentro de la dieta. No constituyen fuentes de energía; su función principal es contribuir al crecimiento, desarrollo y mantenimiento de los tejidos del organismo. En la actualidad, las vitaminas son designadas de manera alfabética: A, B, C, D, E, etc.

Las vitaminas se dividen en dos grandes categorías: vitaminas liposolubles y vitaminas hidrosolubles. Es importante resaltar que existen vitaminas que comparten la misma letra; por ejemplo, A1 y A2, lo cual hace referencia a dos sustancias distintas, pero con propiedades análogas a las de la vitamina A. Actualmente, se utilizan nombres específicos, como vitamina A1 y A2 (axeroftoles), vitamina D (calciferoles), vitamina E (tocoferoles), vitamina K (filoquinonas), entre otros. Dentro de las vitaminas liposolubles se encuentran las vitaminas A, D, E y K.

En cuanto a las vitaminas hidrosolubles, incluyen las del complejo B: B1 (tiamina), B2 o G (riboflavina), H (biotina), M o Bc o B9 (ácido fólico), PP o B5 (nicotinamina), B6 (piridoxina o

piridoxol). Además, fuera del complejo B, también se encuentra la vitamina C (ácido ascórbico) en el grupo de las vitaminas hidrosolubles.

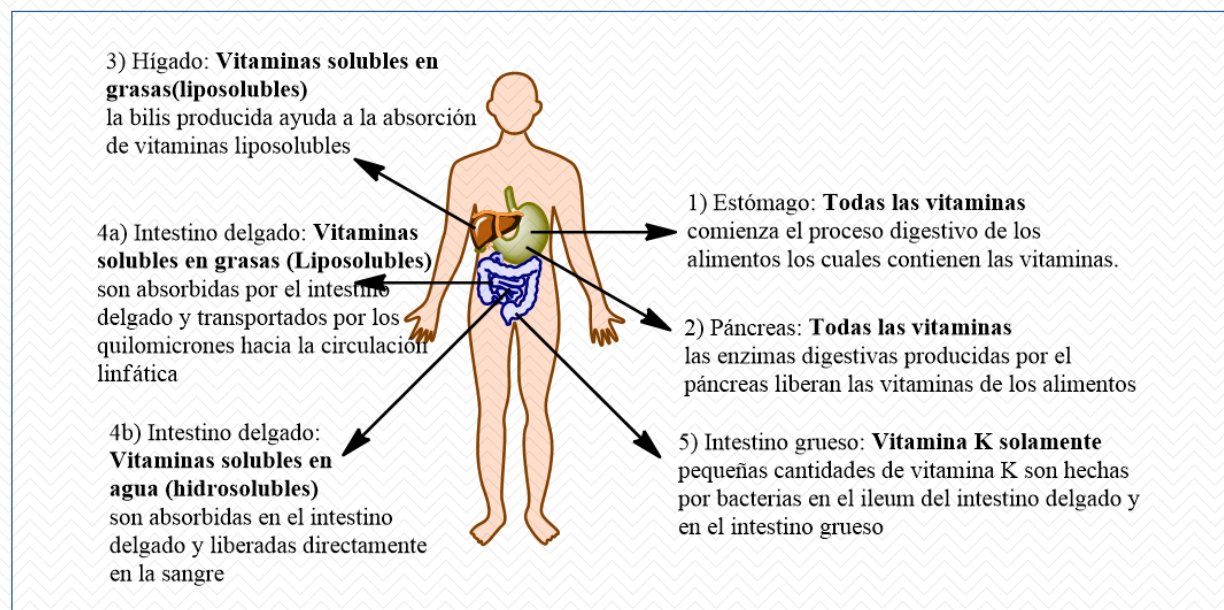
■ Absorción de vitaminas en el cuerpo humano

La utilización efectiva de los ácidos biliares y de las enzimas hidrolíticas, secretadas por el páncreas, en el segmento intestinal delgado es un factor determinante en la cinética de absorción de las vitaminas. En condiciones fisiológicas normales, un rango que oscila entre el 40% y el 90% de las vitaminas liposolubles es captado por la mucosa intestinal. Por otro lado, las vitaminas solubles en agua exhiben una capacidad de absorción que varía entre el 90% y 100%.

Este aspecto supone una implicación clínica significativa en pacientes que presentan síndromes de malabsorción vitamínica, ya que tales condiciones pueden incitar a la necesidad de administración exógena de suplementos vitamínicos para mitigar el riesgo de deficiencias. La Figura 58 ejemplifica el proceso de absorción y el subsiguiente transporte de las vitaminas mencionadas.

Figura 58

Digestión y absorción de vitaminas.



Fuente: autoría propia.

A excepción de la vitamina K, el resto de las vitaminas liposolubles no se excretan muy fácil del cuerpo, tienden a acumularse, sea en el hígado o en el tejido adiposo. En el caso de las vitaminas hidrosolubles se excretan muy rápido a excepción de las vitaminas B12 y B6. Es por esa razón, que las vitaminas hidrosolubles se deben consumir diariamente.

■ Características de las distintas vitaminas

Vitamina A. Retinol o axeroftol, es la primera vitamina que se descubrió y guarda una relación directa con los carotenos. Es un alcohol insaturado, de fórmula molecular $C_{29}H_{30}O$, con

cinco dobles enlaces conjugados.

En los alimentos, se encuentra en la gran mayoría de tejidos animales, grasas, aceite de pescado, leche, huevos, vegetales verdes oscuros y amarillo-mandarina, como zanahorias, espinacas, brócoli, pimientos y frutas como el mango.

Dentro de las funciones de la vitamina A se encuentran:

- Crecimiento y desarrollo del sistema nervioso, y sistema cardiovascular, función normal de las células epiteliales en el riñón, piel y otros sistemas.
- Diferenciación celular: expresión directa de genes que intervienen en componentes estructurales del ojo, ejemplo, la córnea, la retina.
- Visión: es necesaria en la retina y la adaptación de la visión en la oscuridad.
- Función inmune: la deficiencia de Vitamina A en el cuerpo provoca enfermedades e infecciones.

Vitamina E. Es considerada un derivado de un núcleo bicíclico: el cromano, procedente de la condensación del penceno con el pirano. Además, contiene una cadena lateral, tipo isoprenoide, con 16 átomos de carbono, compuesta por una familia de 8 tocoferoles y tocotrienoles. En los alimentos se encuentra en los aceites de cereales de trigo, arroz, algodón, canola, girasol, en las semillas de cacahuete, lechuga, berro, entre otros.

Dentro de las funciones de la vitamina E, se pueden mencionar que actúa como una red antioxidante, deteniendo reacciones en cadena que forman radicales potencialmente dañinos para las células. Estas incluso pueden dañar hasta las membranas celulares y el ADN. También, la vitamina E es un mecanismo efectivo para detener la reacción de peroxidación de lípidos.

Vitamina D. Sus componentes están relacionados con el ciclopentanoperhidrofenantreno y son familia de los esteroides, donde la exposición a los rayos UV rompe el enlace C-C en un anillo de los esteroides, formando la vitamina D activa. La distribución en vegetales y cereales es escasa, sin embargo, es abundante en productos de origen animal. La mejor fuente de vitamina D es la grasa de los pescados (sardinas, salmón, etc.). Los huevos y mantequilla también contienen pequeñas cantidades de vitamina D. Predominantemente, la formación de esta vitamina es en la piel, durante la exposición a los rayos del sol.

Dentro de las funciones de la vitamina D se encuentran:

- La regulación de la concentración de calcio y fósforo en el organismo. Sin una adecuada concentración de estos elementos en la sangre disponible para deposición en los huesos, estos se debilitan.

Vitamina K. Esta es derivada de naftoquinónicos metilados. Alrededor del 10% de vitaminas K son absorbidas provenientes de la síntesis de bacterias en el colon. Sus mejores fuentes provienen de la dieta de brócoli, frijoles, espinaca, vegetales verdes oscuros, entre otras. Los aceites vegetales como canola y la soya son buenas fuentes también. La vitamina K es estable frente al calor, pero es inestable frente a la luz.

Dentro de las funciones de la vitamina K se encuentran:

- El mecanismo de la coagulación sanguínea; su acción no es directa, sino que requiere la biosíntesis hepática de la protrombina.
- Participa también en la transferencia electrónica y en la fosforilación oxidativa.
- Tiene una función importante dentro del metabolismo de los huesos.
- Protege al cuerpo de inflamación y enfermedades cardiovasculares.

Complejo de vitaminas B. Dentro del metabolismo, este grupo actúa como cofactor enzimático. Las vitaminas B se encuentran ampliamente distribuidas en plantas y animales. Los cereales constituyen la principal fuente. Este complejo es afectado durante el cocimiento y el cocinado.

Dentro de las funciones del complejo B se encuentran:

- Facilitar la liberación de energía.
- Está implicado en la cadena de transporte electrónico.
- Actúa como cofactor en la síntesis de metabolitos derivados.

En la Tabla 5, se muestra un resumen de las funciones de las vitaminas B.

Tabla 5

Papel de las vitaminas B en el metabolismo.

Vitaminas	*CHO	Grasas	Proteínas	Otros
Tiamina B1	X			
Riboflavina B2	X	X	X	Catabolismo de purinas, síntesis de neurotransmisor, rol antioxidante, metabolismo de otros minerales y vitaminas
Niacina	X	X	X	Síntesis de hormonas esteroideas, síntesis de colesterol
Piridoxina B6	X		X	Actividad hormonal esteroide
Acido pantoténico	X	X	X	Síntesis de acetilcolina, lubricación de estructuras
Biotina	X	X		Gluconeogénesis, síntesis de ácidos grasos

*CHO: carbohidratos

Fuente: autoría propia.

La vitamina B1 es usada en su forma activa (tiamina difosfato) como cofactor en el ciclo de Krebs y en el metabolismo de los carbohidratos. Buenas fuentes de esta son la carne de puerco, semillas de girasol, cacahuates y las setas.

La vitamina B2, también conocida como riboflavina, es un componente esencial de dos coenzimas: los flavín nucleótidos FMN (mononucleótido de flavina) y los FAD (dinucleótido de flavina y adenina). Estas coenzimas desempeñan un papel crítico en procesos metabólicos, como la oxidación de ácidos grasos y el catabolismo de purinas, entre otras funciones biológicas. Las fuentes dietéticas de riboflavina son diversas: aproximadamente un 25% de la riboflavina presente en la dieta proviene de productos lácteos. Otros alimentos que contribuyen a su ingesta son el pan blanco enriquecido, los panecillos, las galletas saladas, así como los huevos y la carne. Alimentos particularmente ricos en riboflavina incluyen el hígado, los champiñones, las espinacas y otras verduras de hoja verde, además de brócoli, espárragos, leche y requesón.

La niacina, que abarca tanto el ácido nicotínico como la nicotinamida, es crucial en la formación de los cofactores NAD (nicotinamida adenina dinucleótido) y NADP (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato). El NAD actúa como un aceptador de iones de hidrógeno en reacciones de oxidación, resultando en la producción de NADH, un compuesto necesario para procesos metabólicos como la gluconeogénesis, el ciclo de Krebs, y la beta-oxidación de ácidos grasos, así como la oxidación del alcohol. La niacina puede ser sintetizada en el organismo o provenir de la dieta, encontrándose en fuentes como las aves de corral, la carne y el pescado.

La vitamina B6, conocida como piridoxina, desempeña una función crucial en el metabolismo de aminoácidos, la fosforilación del glucógeno y la regulación de las hormonas esteroideas. Esta vitamina se almacena predominantemente en los tejidos musculares de los animales, por lo que sus fuentes más ricas incluyen carne, pescado y aves. Además, los plátanos constituyen una opción excelente para incorporar vitamina B6 en la alimentación.

El ácido pantoténico, componente esencial de la coenzima A (CoA), es fundamental en el metabolismo de carbohidratos, cuerpos cetónicos y en el ciclo de Krebs, así como en la síntesis de ácidos grasos. Las fuentes comunes de ácido pantoténico abarcan carne, leche y diversas verduras. Otros alimentos destacados por su contenido: son champiñones, cacahuates, yemas de huevo, levadura, brócoli y leche de soya.

En este mismo grupo, la biotina actúa como cofactor de la enzima carboxilasa. Fuentes recomendadas incluyen granos integrales, huevos, nueces y legumbres.

El ácido fólico, que también forma parte del complejo vitamínico B, funge como coenzima en reacciones relacionadas con la transformación de fragmentos monocarbonados, como el ácido fórmico y el formaldehído, así como en la interconversión de aminoácidos y en la síntesis de purinas y pirimidinas. Las mayores concentraciones de ácido fólico, que además son altamente biodisponibles, se encuentran en el hígado, legumbres y verduras de hoja verde. Otras fuentes notables de folato son los aguacates, naranjas y lentejas.

Finalmente, otro integrante del complejo B es la cobalamina o vitamina B12. Las fuentes alimenticias confiables de vitamina B12 son exclusivamente de origen animal, incluyendo carne, aves, pescado y productos lácteos. Es importante destacar que esta vitamina es única contenedora de mineral cobalto en su estructura. Las plantas no sintetizan vitamina B12. De hecho, todos los

compuestos de vitamina B12 son producidos exclusivamente por microorganismos, principalmente bacterias. Los animales obtienen vitamina B12 del suelo presente en su alimentación. Su función principal radica en dos reacciones enzimáticas: la formación de ácido metionina y en el metabolismo de ácidos grasos.

Vitamina C. Conocida también como ácido ascórbico, es una de las estructuras más simples dentro de las vitaminas. Esta se deriva del ácido de una hexosa: la glucosa. Todos los vegetales presentan esta vitamina. Las fuentes más ricas son los pimientos, tomates, limones y naranjas. Los productos de animales y los granos generalmente no son buenas fuentes.

Dentro de las funciones biológicas de esta vitamina se encuentra ser el aceptor intermedio de electrones en el proceso de oxidación en los vegetales.

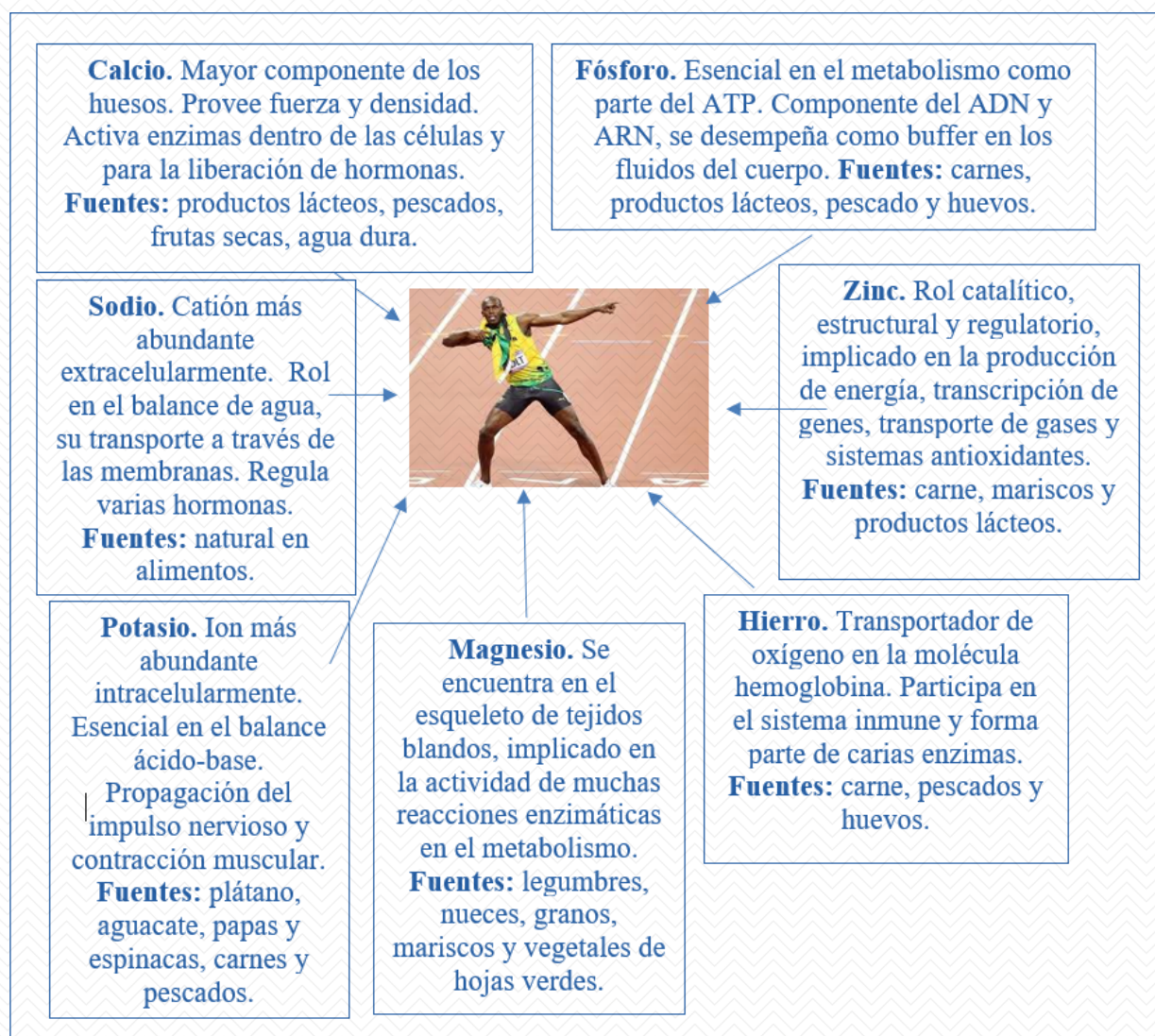
Minerales

Los minerales son elementos inorgánicos esenciales, necesarios en pequeñas cantidades en la dieta para el funcionamiento normal, el crecimiento y el mantenimiento de los tejidos corporales. Los minerales no pueden ser sintetizados en el cuerpo, de ahí la importancia de su adición en la dieta. Los productos lácteos son fuentes ricas de calcio biodisponible, mientras que la carne es una fuente rica de hierro y zinc biodisponibles.

Las funciones metabólicas de los minerales varían considerablemente. El balance hídrico requiere sodio, potasio, calcio y fósforo. Algunos minerales, como el magnesio, el cobre y el selenio, funcionan como cofactores y permiten a las enzimas llevar a cabo reacciones químicas. Los minerales también son componentes de muchos compuestos corporales. Por ejemplo, el hierro es un componente de la hemoglobina en los glóbulos rojos. Una representación de algunos minerales, su función y fuentes de obtención se representan en la Figura 59.

Figura 59

Funciones y fuentes de distintos minerales para una buena salud.



Fuente: autoría propia.

Radicales libres y nutrientes antioxidantes

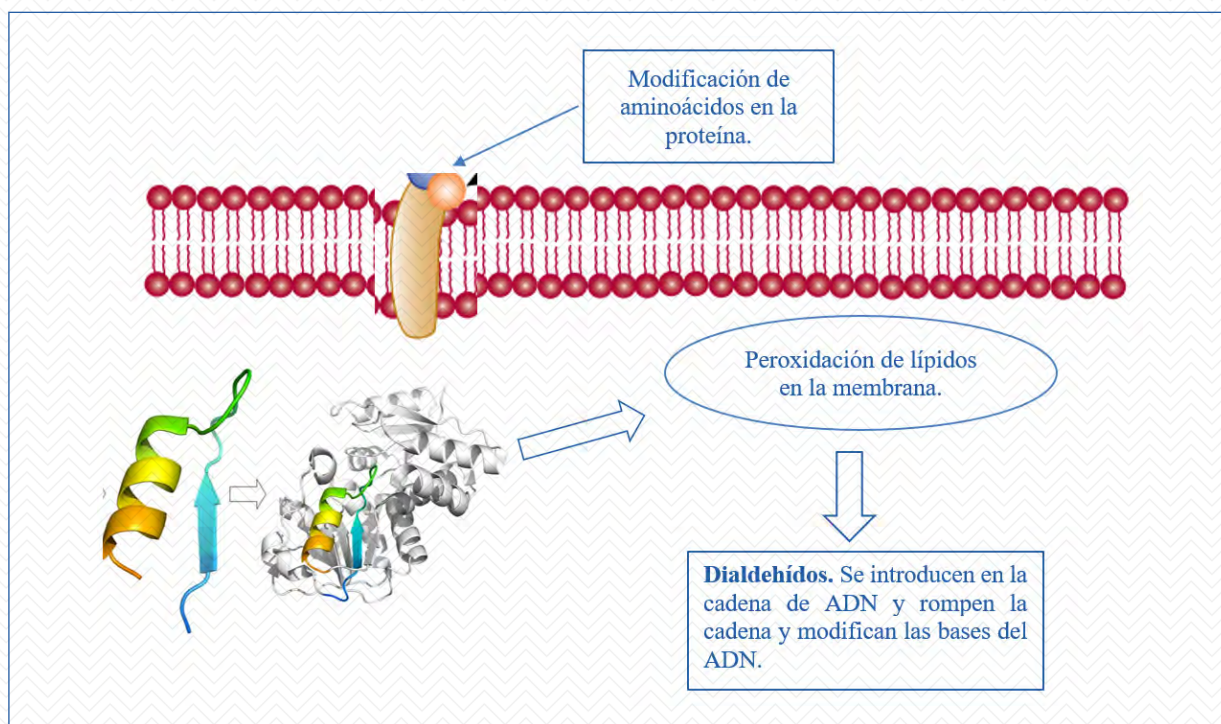
Los radicales libres son moléculas altamente reactivas que se generan en el organismo como subproductos del metabolismo y en respuesta a factores externos como la radiación o la contaminación. Estos radicales pueden causar daño celular al alterar lípidos, proteínas y ADN, contribuyendo al envejecimiento y diversas enfermedades. Los nutrientes antioxidantes, como las vitaminas C y E, junto con compuestos como los polifenoles, neutralizan los radicales libres al donar electrones, protegiendo así a las células de daños oxidativos.

Los radicales libres son moléculas altamente reactivas que contienen un electrón no apareado. Debido a esta inestabilidad, su existencia es muy corta, generalmente del orden de 10^{-9} a 10^{-11} segundos, antes de reaccionar con otras moléculas en su entorno.

Los radicales libres, al colisionar con otra molécula, pueden donar o sustraer un electrón para estabilizarse. Esto genera un nuevo radical, a partir de la molécula con la cual colisionaron, iniciando así una reacción en cadena. El principal mecanismo para detener esta reacción es cuando dos radicales reaccionan entre sí, permitiendo que sus electrones no apareados formen un par estable en una de las moléculas. Sin embargo, este evento es poco común, debido a la corta vida promedio de los radicales y su baja concentración en los tejidos. Los radicales más perjudiciales en sistemas biológicos son los radicales de oxígeno (a veces denominados especies de oxígeno). Los radicales libres más reactivos incluyen el superóxido ($\bullet\text{O}_2^-$), el hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) y el perhidroxilo ($\bullet\text{O}_2\text{H}$). El daño causado por estos radicales de oxígeno en los tejidos se conoce como daño oxidativo. Los compuestos que protegen al organismo contra este tipo de daño se denominan antioxidantes.

Figura 60

Efecto de los radicales en los tejidos celulares.



Fuente: autoría propia.

El daño provocado por radicales, en los ácidos grasos insaturados de las membranas celulares y en las proteínas plasmáticas, genera peróxidos de lípidos. Luego, estos se convierten en dialdehídos muy reactivos, capaces de modificar químicamente proteínas y las bases de los ácidos nucleicos.

Las proteínas también pueden sufrir modificaciones químicas directas al interactuar con radicales. El daño oxidativo en los residuos de tirosina de las proteínas puede producir dihidroxifenilalanina, que puede desencadenar reacciones no enzimáticas, generando más radicales de oxígeno.

■ Fuentes de radicales libres de oxígeno

Las radiaciones ionizantes, como los rayos X y UV, pueden romper las moléculas de agua, generando radicales hidroxilo. Los iones metálicos de transición, como Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} y Fe^{2+} , pueden reaccionar de manera no enzimática con oxígeno o peróxido de hidrógeno, lo que también produce radicales hidroxilo. El óxido nítrico, que actúa como un radical, es capaz de reaccionar con el superóxido para formar peroxinitrito, el cual se descompone generando radicales hidroxilo adicionales.

■ Nutrientes antioxidantes

El ascorbato, el ácido úrico y varios polifenoles provenientes de alimentos vegetales son antioxidantes solubles en agua. Estos antioxidantes atrapan radicales libres, formando compuestos relativamente estables que pueden durar lo suficiente para reaccionar y convertirse en productos no radicales. De manera similar, la ubiquinona y los carotenos son antioxidantes solubles en grasa que capturan radicales libres en las membranas celulares y en las lipoproteínas en la sangre.

Preguntas de reflexión del capítulo VII

A nivel mundial, el efecto de la deficiencia de vitaminas y/o minerales afecta a una gran parte de la población. Esto contribuye a la morbilidad de las personas, sea por la falta de cultura alimenticia, económica, social y geográfica. Por lo tanto, es de suma importancia entender los principios de la absorción, fuentes de alimentos, tanto de las vitaminas y minerales. Por otra parte, el consumo de alcohol en exceso trae daños severos a la salud, mal que aqueja a los países latinoamericanos. Como profesional de la salud es vital que se conozca los efectos de este y como se puede contrarrestarlo.

1. ¿Por qué las vitaminas liposolubles difieren en su digestión y absorción de las vitaminas hidrosolubles?
2. ¿Qué dos factores pueden disminuir la biodisponibilidad de un mineral?
3. ¿Cómo el cuerpo metaboliza grandes y moderadas concentraciones de ingesta de alcohol?
4. Compare la concentración de alcohol que es clasificada como intoxicación en cuatro países: México, Cuba, USA, Canadá.
5. Checar los cereales en el supermercado y observe cuál tiene incluido en su formulación, beta-carotenos. Hacer una lista de ellos ¿Por qué los productores de alimentos están usando este tipo de fortificación?
6. ¿Qué se entiende por vitaminas?
7. ¿Qué papel juegan los minerales en el cuerpo humano?
8. ¿Cuáles son tres alimentos ricos en Vitamina E?

9. Explique al menos dos funciones de la Vitamina D

10. ¿Cómo se metaboliza el alcohol en nuestro cuerpo?

11. ¿Qué son los radicales libres y cómo se forman en el cuerpo?

12. ¿Cómo afectan los radicales libres a las células y tejidos del organismo?

13. ¿Cuál es el papel de los antioxidantes en la neutralización de radicales libres?

14. ¿Cómo influyen los radicales libres en el envejecimiento y las enfermedades crónicas?

Actividades de trabajo del capítulo VII

1. Realice un estudio de los países subdesarrollados, con especial énfasis en México, en relación al impacto de la deficiencia de Vitamina A. ¿Cómo afecta la vitamina A en la visión? ¿Qué síntomas dan señal de deficiencia en Vitamina A?

2. Realice un reporte de la cirrosis hepática donde en el mismo debe incluir: causas, impacto, población más sensible a la enfermedad, tratamiento, prevención estadística en México de la enfermedad.

3. Elabore un cuestionario para detectar riesgo de alcoholismo. También, exponga el impacto en el consumo de alcohol en jóvenes y mujeres embarazadas. Realice una investigación estadística de su comunidad y en el país.

4. Redacte un ensayo de la enfermedad Beriberi, efecto por la deficiencia de vitamina B1. Este ensayo debe tener introducción, desarrollo y conclusiones, con las referencias al final. El ensayo es de formato libre y también su extensión.

5. ¿Cómo pueden los estilos de vida, como la dieta y el ejercicio, afectar el equilibrio entre radicales libres y antioxidantes en el cuerpo?

6. Analice los siguientes videos:

a) Online Trainer Tv. (2013). Documental sobre vitaminas y su suplementación.

<https://www.youtube.com/watch?v=0tVIAjIANRQ>

b) UnProfesor. 2017. ¿Qué son las vitaminas y sus fuentes?

<https://www.youtube.com/watch?v=153Sqj26Scs>

c) Nutrición medicina Tv. (2015). Los minerales.

<https://www.youtube.com/watch?v=y1l448NPY54>

b) Educagratis. (2016). El alcohol en tu cuerpo, qué sucede en realidad educalcohol.

https://www.youtube.com/watch?v=f2u47R_P4mg

Realice un resumen de los videos, a través de cuatro mapas conceptuales para cada video.

Bibliografía

- Araque Marín, P. (2021). Bioquímica para Medicina (1 ed.). Fondo Editorial EIA. <https://elibro.net/es/lc/istte/titulos/223081>
-
- Benkovic, S.J. y Hammes-Schiff. (2003). Perspective on enzyme catalysis, Science 301, 1196–1202.
- Chang, R. (2013). Química. 11ava ed. McGraw-Hill Edit.
-
- Esquivel-Solís, V. y Gómez-Salas, G. (2007). Implicaciones metabólicas del consumo excesivo de fructosa. <http://www.scielo.sa.cr/scielo.php>
-
- Falcón Franco, M. (2020). Texto de Bioquímica. Libromed. <https://elibro.net/es/lc/istte/titulos/210858>
-
- Hernández, E. y Eldin-Kamal, A. (2013). Processing and Nutrition of Fats and Oils. Wiley Blackwell Edit. USA.
-
- Karp, G. (2011). Biología Celular y Molecular. Conceptos y Experimentos. McGraw Hill 4a Ed.
-
- Kraut, J. (1988). How do enzymes work? Science 242. 533–540.
-
- Las Proteínas (2024). Proteínas. <https://proteinas.org.es>
-
- Nelson, D. y Cox, M. (2014). Principios de Bioquímica, 6a Ed.
-
- Velísek, J. (2013). The chemistry of food. John Wiley& Sons, Ltd.
-
- Whitten, K., Davis, R.E., Peck, M., Stanley, G.E. (2015). Química. 10ª ed. Cengage Learning.

ISBN: 978-9942-676-92-4



Matriz La Magdalena: Calle Jambelí Oe3-158 y La Unión.
Campus Eloy Alfaro: José Barreiro y Av. Eloy Alfaro N52-85, Sector Solca.
Campus Calderón: Calle Los Cipreses N6-99 y Giovanni Calles.
Campus Pífo: Ignacio Fernández Salvador Oe2-439 y Pasaje Baldeón.
Sede Santa Elena: La Libertad, barrio 25 de Septiembre, Av. 25 y calle 28.
Sede Guayaquil: Calle 6 de Marzo y Rosendo Avilés, Barrio del Centenario.

www.tecnoecuadoriano.edu.ec

