



# PRINCIPIOS BÁSICOS

sobre biomoléculas y vías metabólicas

Adriana Caballero Roque

Colección  
Jaguar



UNICACH





# Principios básicos sobre biomoléculas y vías metabólicas

Adriana Caballero Roque



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS  
2012

**Colección  
Jaguar**



**UNICACH**

El jaguar es uno de las especies más representativas de la fauna chiapaneca y el símbolo por antonomasia de la biodiversidad en nuestro estado. Bajo su nombre están contenidos todos los títulos pertenecientes al ámbito de las ciencias naturales producidos en la universidad.

Segunda edición: 2012

D. R. ©2009. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas

1ª Avenida Sur Poniente número 1460

C. P. 29000, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

[www.unicach.mx](http://www.unicach.mx)

[editorial@unicach.mx](mailto:editorial@unicach.mx)

ISBN

Diseño de la colección: Manuel Cunjamá

Diseño de portada: Manuel Cunjamá

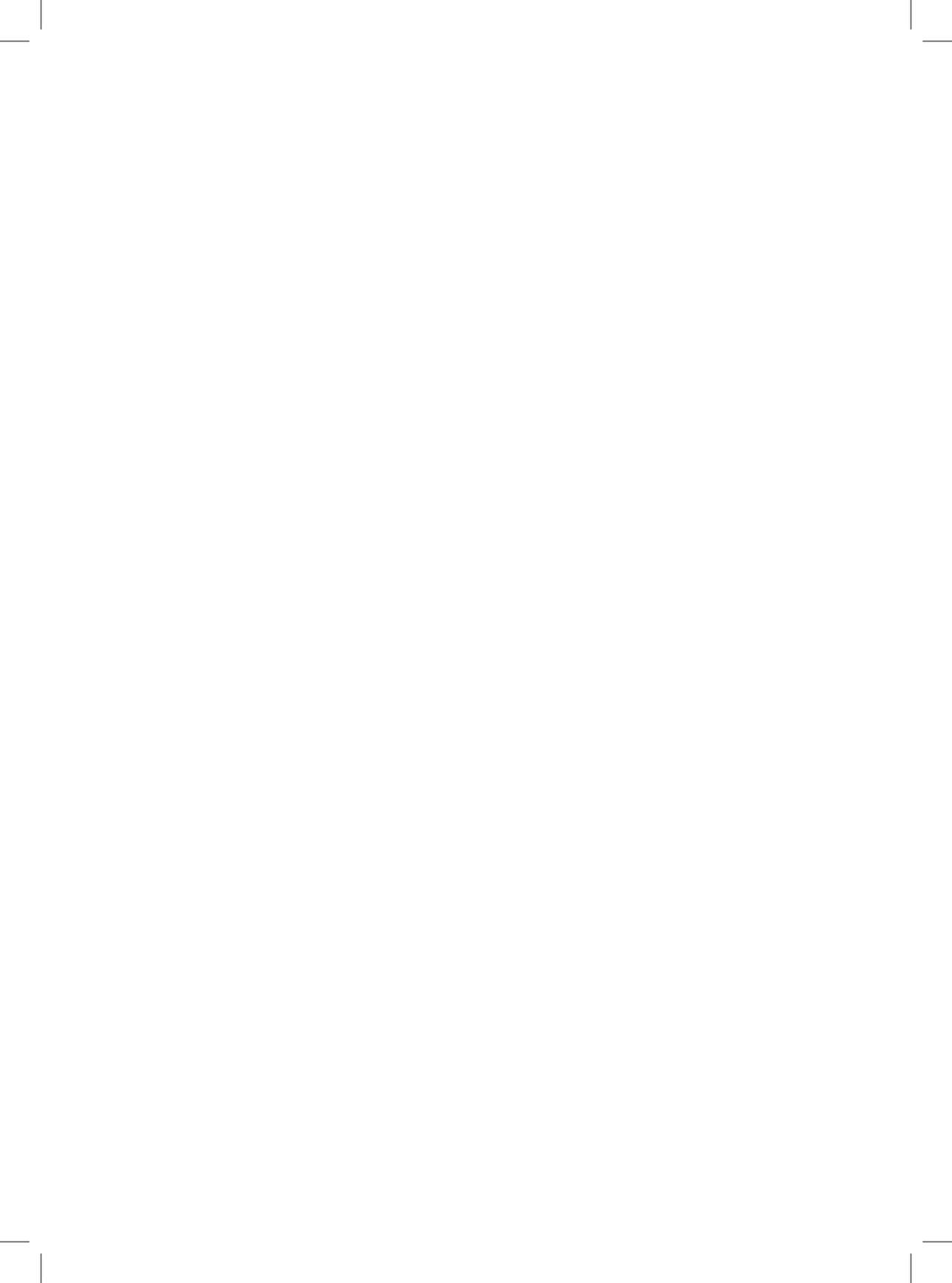
Imagen de portada: cultivo de células animales HEP-2 de Carcinoma Laríngeo al 100% de confluencia. Fotografía: Doctor Javier Gutiérrez Jiménez. Laboratorio de Biología Molecular y Genética. Facultad de Ciencias Biológicas, UNICACH.

Impreso en México

# Principios básicos sobre biomoléculas y vías metabólicas

Adriana Caballero Roque





# Índice

Agradecimientos .....	9
Introducción .....	11
Capítulo 1. Conceptos generales sobre bioquímica y metabolismo celular.....	13
Capítulo 2. Conceptos generales sobre biomoléculas .....	19
Capítulo 3. Conceptos generales sobre bioenergética.....	31
Capítulo 4. Conceptos generales del metabolismo de carbohidratos .....	39
Capítulo 5. Conceptos generales del metabolismo de lípidos .....	53
Capítulo 6. Generalidades del metabolismo de proteínas.....	65
Capítulo 7. Conceptos generales del metabolismo de ácidos nucleicos.....	71
Capítulo 8. Aspectos generales sobre la integración y regulación del metabolismo....	77
Capítulo 9. Conceptos generales sobre macro nutrientes y dietética.....	85
Bibliografía .....	91
Apéndice. Valores de referencia más frecuentes para pruebas de laboratorio .....	95
Ficha biográfica de autora y colaboradores.....	97



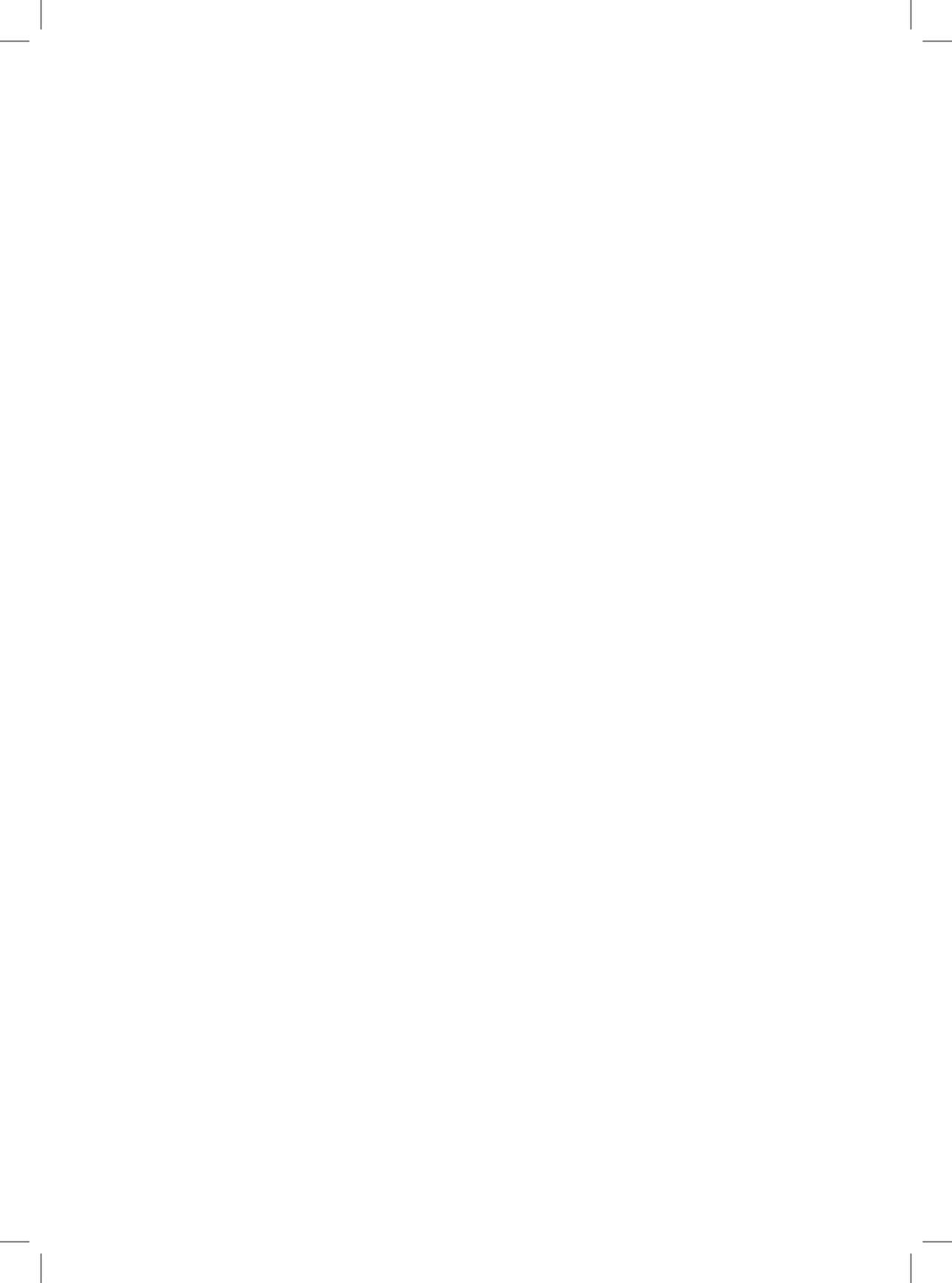
## Agradecimientos

A todos los estudiantes y profesionales que han utilizado este texto para su trabajo.

A los colaboradores de esta segunda edición por el tiempo dedicado.

A todos los compañeros que participan en alguna parte del proceso de publicación.

A las autoridades universitarias por el apoyo para la presente edición.



## Introducción

**E**n el año 2007 se publicó la primera edición de *Principios básicos sobre biomoléculas y vías metabólicas* con la intención de servir como material de apoyo a los estudiantes de alguna de las ciencias biológicas. Durante estos años, el texto ha sido utilizado por profesionales y estudiantes que han aportado sugerencias que enriquecen la información presentada, es por esto que surge la segunda edición con la versión corregida y aumentada, en la que participan diversos profesionistas que con las revisiones han mejorado la presente edición.

Cabe aclarar que si bien existe una amplia bibliografía sobre el tema de Bioquímica, esta sigue siendo una propuesta sencilla y se quiere conservar el carácter didáctico del texto.

En esta segunda edición se presentan nueve capítulos sobre conceptos generales de biomoléculas que participan en el metabolismo celular, se anexa además un apéndice con valores bioquímicos de referencia. Al igual que la primera edición, este trabajo pretende ser un instrumento que permita conocer de manera general los complejos temas de la Bioquímica que incluyen a las biomoléculas y las vías metabólicas, sin descartar la consulta de otros textos y el apoyo invaluable de los maestros.

Deseo que este trabajo, sea de utilidad en el aprendizaje de tu carrera y obtengas mejores resultados en tu desempeño profesional.



# Capítulo 1

## Conceptos generales sobre bioquímica y metabolismo celular

Adriana Caballero Roque

### Definición de Bioquímica

**E**s la ciencia que estudia los componentes químicos de las células vivas, así como sus reacciones y procesos en los que intervienen (14).

La Bioquímica pretende describir la estructura, la organización y las funciones de la materia viva en términos moleculares.

La Bioquímica puede, de manera general, dividirse en tres áreas principales: 1) la química estructural de los componentes de la materia viva y la relación de la función biológica con la estructura química, 2) el metabolismo y la totalidad de las reacciones químicas que se producen en la materia viva, 3) la química de los procesos y las sustancias que almacenan y transmiten la información biológica genética molecular.

### Antecedentes de la Bioquímica

La Bioquímica tuvo su origen como campo científico diferenciado a comienzos del siglo XIX, con los trabajos pioneros de Friedrich Wöhler, quién en 1828 demostró que la urea, una sustancia de origen biológico,

podía sintetizarse en el laboratorio a partir del compuesto inorgánico llamado cianato amónico.

A partir de la primera observación de las células, realizada por Robert Hooke en el siglo XVII, las mejoras continuas de las técnicas microscópicas permitieron averiguar que la célula era una estructura compartimentada y compleja.

Paralelamente a los avances de la Bioquímica, los biólogos celulares, han ido perfeccionando progresivamente el conocimiento de la estructura celular.

En la primera mitad del siglo XX se descubrieron a grandes rasgos las estructuras químicas de las sustancias biológicas, se identificaron las reacciones de muchas rutas metabólicas y se localizaron estas reacciones en el interior de la célula (9).

## Relación entre Bioquímica y Nutrición

Un prerequisite importante para la conservación de la salud es una ingestión óptima de diversas sustancias químicas; entre las que se encuentran vitaminas, ciertos aminoácidos y ácidos grasos, diversos minerales y el agua. Debido a que el objeto de estudio de la Bioquímica y la Nutrición corresponde a los diversos aspectos de estas sustancias, existen estrechas interrelaciones entre ambas ciencias. El manejo apropiado de la Nutrición depende en mucho del conocimiento de la Bioquímica.

Se piensa que la mayor parte, si no es que todas las enfermedades, son manifestaciones de anormalidades de moléculas, reacciones químicas o procesos bioquímicos; por lo tanto se enfatizan cada vez más los criterios nutricionales para la prevención de enfermedades (diabetes, aterosclerosis, cáncer, entre otras) y la conservación de la salud (14).

## Definición de célula

Es la unidad estructural de los organismos en la que se realizan las reacciones químicas que lo mantienen con vida.

Existen dos tipos de células: *a*) procarióticas (que no están compartimentadas por membranas celulares internas) y *b*) eucarióticas (están compartimentadas mediante membranas celulares internas que producen un núcleo y organelos), dentro de éstas últimas se encuentran las células de origen animal y vegetal, estos dos tipos de células difieren en volumen, aspecto y estructura según su función, tienen algunos componentes subcelulares comunes como son: la membrana, el núcleo, las mitocondrias, el retículo endoplásmico, los ribosomas y el aparato de Golgi, a diferencia de una célula vegetal que tiene pared celular y cloroplastos, todos estos suspendidos en el citoplasma celular(2).

## Metabolismo celular

Es el conjunto de reacciones bioquímicas que tienen lugar en una célula, lo que incluye gran diversidad de conversiones moleculares.

El metabolismo, para su estudio, puede dividirse en dos categorías principales:

1. Catabolismo: (del griego Katá “abajo”) se refiere a la secuencia de reacciones de degradación de moléculas o sustancias complejas.
2. Anabolismo: (del griego aná “arriba”) se refiere a la secuencia de reacciones de síntesis o formación de moléculas orgánicas complejas.

El catabolismo y el anabolismo son procesos complementarios integrados.

Tanto las rutas catabólicas como las anabólicas se producen en tres niveles de complejidad.

Nivel 1. La interconversión de polímeros como las proteínas, ácidos nucleicos, polisacáridos y lípidos.

Nivel 2. La interconversión de monómeros como los aminoácidos, nucleótidos, azúcares, ácidos grasos y glicerol.

Nivel 3. La degradación final hasta compuestos inorgánicos, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y amoníaco (NH<sub>3</sub>), o la síntesis a partir de los mismos. Las rutas de producción de

energía generan también intermediarios que se utilizan en los procesos de biosíntesis.

El metabolismo energético es la parte del metabolismo intermedio formada por las rutas que almacenan o generan energía metabólica.

La regulación de los procesos metabólicos se realiza mediante el control de la cantidad o concentración de cada enzima que participa en la reacción, la actividad catalítica de las enzimas y la accesibilidad de los sustratos.

### **Compartimentación de las vías metabólicas a nivel celular**

La pauta metabólica de las células eucarióticas está considerablemente afectada por la existencia de compartimentos. Cada proceso del metabolismo se realiza en diferente organelo por ejemplo: la glucólisis, la vía de la pentosa fosfato y la síntesis de los ácidos grasos tienen lugar en el citosol, mientras que la oxidación de los ácidos grasos, el ciclo del ácido cítrico y la fosforilación oxidativa se realizan en la mitocondria. Algunos procesos, como la gluconeogénesis y la síntesis de la urea, dependen de un juego de reacciones que transcurren en ambos compartimentos (10).

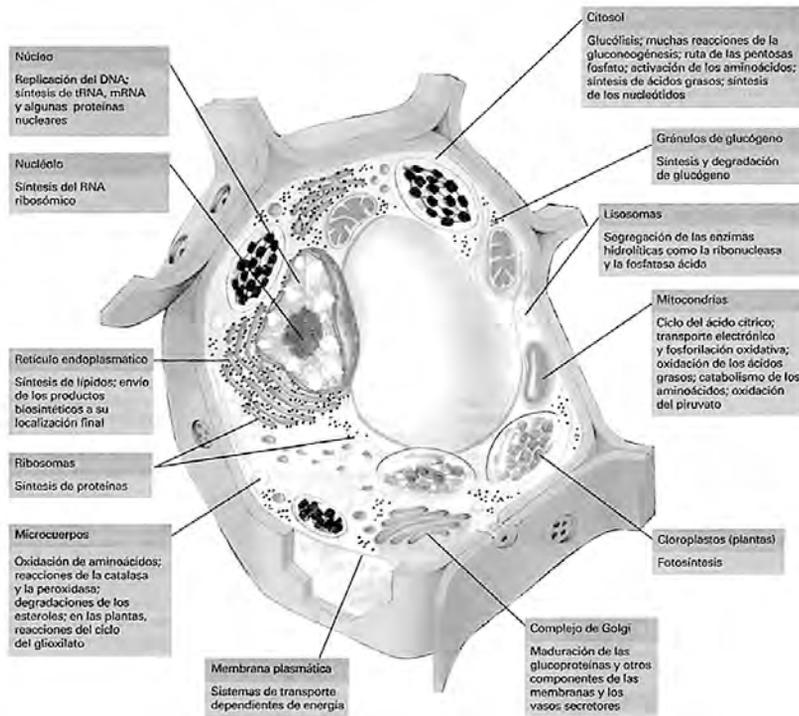


Figura 1. Organelos y procesos metabólicos a nivel subcelular. Fuente: Mathews, *et al.* 2004.

## Las moléculas de la vida

Para la composición de los seres vivos, la naturaleza ha seleccionado de entre los elementos existentes algunos que se combinan entre sí mediante enlaces químicos adecuados, formando grupos químicos definidos, los llamados grupos funcionales, o moléculas con determinadas características.

La incorporación de los elementos químicos (excepto las sales minerales) a los seres vivos se hace en su mayor parte en forma de compuestos de estructura relativamente complicada.

Las diferentes formas de utilización de los elementos provenientes de los alimentos, se ingieren con el fin de obtener la energía contenida en sus enlaces químicos, que es necesaria para mantener los procesos vitales.

A pesar del gran número de moléculas diferentes que se encuentra en los seres vivos, la gran mayoría han sido clasificadas dentro de cuatro grupos fundamentales: carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Cada categoría de compuestos comprende tanto una serie de moléculas complicadas o simples, que son las que participan en su composición y que pueden considerarse como las unidades estructurales que intervienen en su formación (10).

Tabla I. Grupos principales de sustancias biológicas

<b>BIOMOLÉCULAS</b>	<b>MONÓMEROS</b>
Carbohidratos	Monosacáridos
Lípidos	Ácidos grasos, glicerol
Proteínas	Aminoácidos
Ácidos nucleicos	Nucleótidos

## Capítulo 2

### Conceptos generales sobre biomoléculas

Adriana Caballero Roque. Erika Judith López Zuñiga

#### Definición de biomolécula

**U**na biomolécula es un compuesto químico que se encuentra en todos los organismos vivos, está formada por elementos unidos como carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), principalmente y en algunos casos nitrógeno (N), azufre (S) y fósforo (P).

#### A) Carbohidratos

Desde el punto de vista químico: los carbohidratos o sacáridos (del griego sakchron, que significa azúcar), son polihidroxialdehidos o cetonas, cuya composición química es  $(C-H_2O)_n$ , en la que n es mayor o igual a 3.

Desde el punto de vista biológico: los carbohidratos sirven como almacenes de energía, combustibles, intermediarios metabólicos, forman parte de la trama estructural del RNA y DNA, es parte de las paredes celulares de plantas, además están unidos a muchas proteínas y lípidos (24).

## Estructura química y nomenclatura

La unidad básica de los carbohidratos es la molécula de monosacárido, la cuál tiene un esqueleto de átomos de carbono unidos en disposición lineal mediante enlaces sencillos. Cada átomo de carbono del esqueleto se une a un solo grupo hidroxilo (OH), excepto los que poseen un grupo carbonilo (C=O).

Si el grupo carbonilo se localiza en una posición interna, forma un grupo cetona y si se localiza en un extremo del monosacárido, forma un grupo aldehído (9).

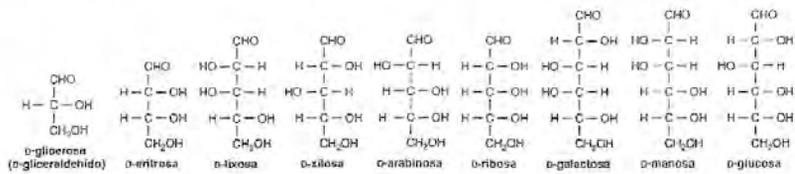


Figura 2. Fórmula de carbohidratos con grupo aldehído. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

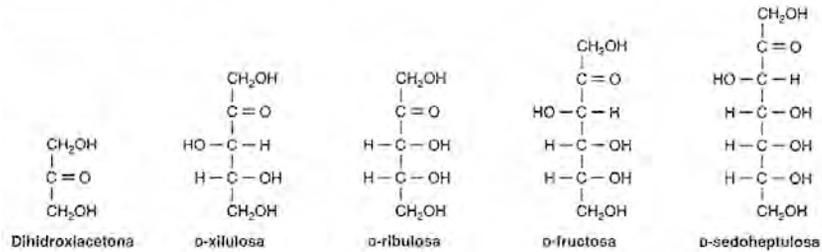


Figura 3. Fórmula de carbohidratos con grupo cetona. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

## Clasificación

El punto de partida para la formación de todos los carbohidratos son los monosacáridos, los cuales constituyen el grupo eje desde el punto de vista estructural y también el grupo básico de la clasificación.

1. Monosacáridos simples: son moléculas formadas por una simple cadena de átomos de carbono que tienen un grupo cetóni-

co o aldehídico, y en el resto de los átomos de carbono, tantos grupos -OH como átomos adicionales existan (19). Ejemplos: glucosa, fructosa, galactosa.

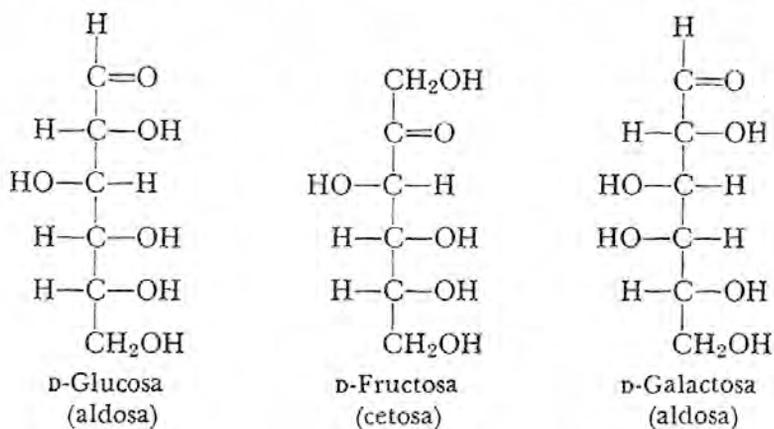


Figura 4. Fórmula química de monosacáridos. Fuente: Burton *et al.*, 2001

2. Disacáridos u oligosacáridos (se forman a partir de dos a seis moléculas de monosacáridos simples). Ejemplos: sacarosa (glucosa + fructosa), lactosa (glucosa + galactosa), maltosa (glucosa + glucosa).

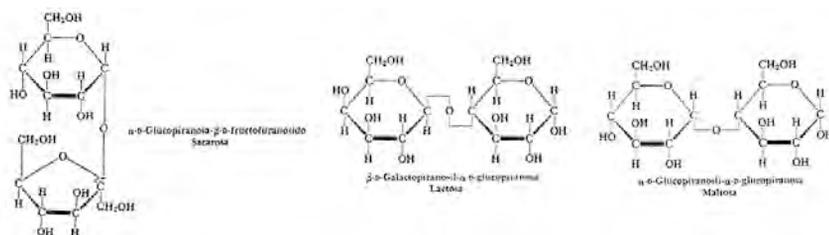


Figura 5. Fórmula química de disacáridos. Fuente: Burton *et al.*, 2001.

3. Polisacáridos (se forman a partir de cadenas largas de monosacáridos y presentan estructura lineal o ramificada). Ejemplos: almidón, glucógeno y celulosa.

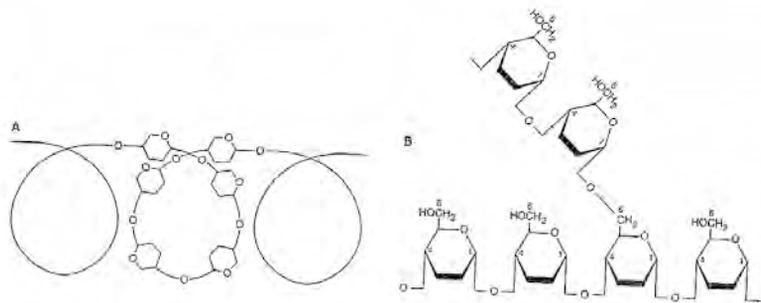


Figura 6. Fórmula química de polisacáridos. A: amilasa y B: amilopectina. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

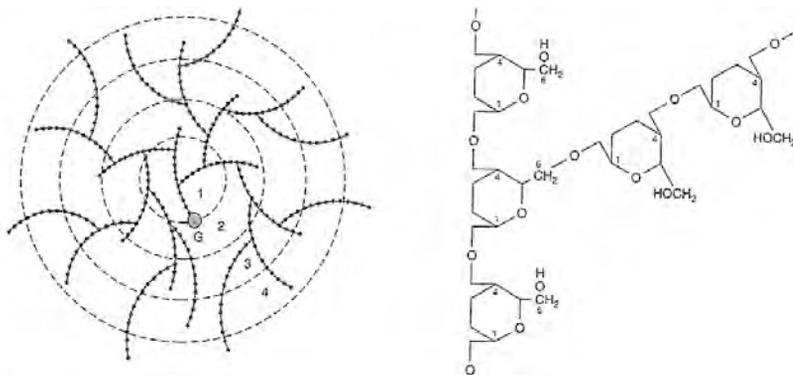


Figura 7. Fórmula química de glucógeno. A: estructura general. B: estructura con ramificación. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

## B) Lípidos

Desde el punto de vista químico: los lípidos (del griego lipos, que significa grasa), son ésteres de ácidos monocarboxílicos que generalmente llevan una cadena hidrocarbonada larga; la mitad alcohólica puede poseer un grupo OH, que generalmente corresponde al glicerol o propantriol (21).

Desde el punto de vista biológico: los lípidos sirven como componentes de membranas, material de reserva, precursores de otras sustan-

cias importantes, aislantes que previenen choques térmicos, eléctricos y físicos, recubrimientos protectores que evitan infecciones y pérdidas o entradas excesivas de agua (2).

### Estructura química y nomenclatura

Aunque las estructuras de los lípidos son con frecuencia complejas, los más sencillos son los ácidos grasos, ácidos monocarboxílicos de la fórmula general R-COOH, en donde R representa una cola de hidrocarburo (7).

A diferencia de otras biomoléculas, los lípidos no son polímeros, son moléculas pequeñas que presentan una fuerte tendencia a asociarse mediante fuerzas no covalentes (10).

Actualmente se prefiere usar el término lípido como un sinónimo de grasa (14).

### Clasificación

Cualquier clasificación de los lípidos presenta limitaciones, en este caso se presenta en base a su composición.

1. Lípidos simples: son aquellos cuya estructura molecular es unitaria (6), ya que sólo incluyen ésteres de ácidos grasos y un alcohol. Ejemplo: grasas.

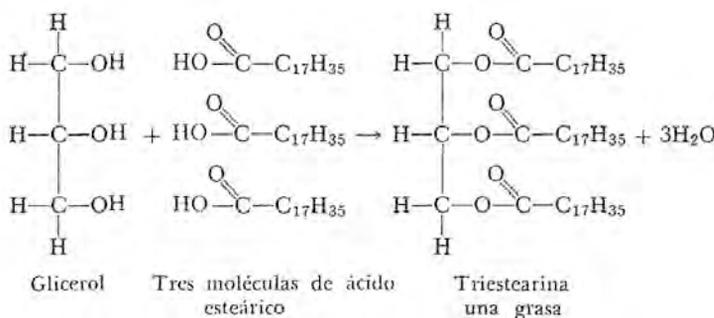


Figura 8. Fórmula química de una grasa. Fuente: Burton *et al.*, 2001.

2. Lípidos compuestos: son aquellos cuya molécula presenta dos o más componentes claramente diferenciados, esto es, que presenta un alcohol, ácidos grasos y otros compuestos. Ejemplo: fosfolípidos.



Figura 9. Fórmula química de un fosfolípido. Fuente: Burton *et al.*, 2001.

3. Lípidos derivados: son los que no se pueden clasificar definitivamente como simples o compuestos. Ejemplo: esteroides

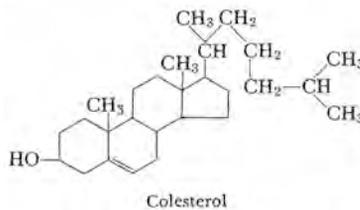


Figura 10. Fórmula química del colesterol. Fuente: Burton *et al.*, 2001.

### C) Proteínas

Desde el punto de vista químico: las proteínas (del griego proteios, que significa el primero), son enlazados polímeros de aminoácidos que van eslabonados de la cabeza a la cola, desde un grupo carboxilo a otro amino mediante la formación de enlaces covalentes, llamados enlaces peptídicos (5).

Desde el punto de vista biológico: las proteínas funcionan como catalizadores bioquímicos (enzimas), proporcionan a las células soporte mecánico y por consiguiente dan forma a los tejidos, se pueden fijar a

otras moléculas a fin de participar en su almacenamiento y su transporte, son hormonas, las cuales regulan las actividades bioquímicas en las células o tejidos, las proteínas ejecutan prácticamente todas las actividades de la célula (9).

### Estructura química y nomenclatura

Cada proteína está compuesta por la unión de monómeros aminoácidos y estos contienen un grupo amino y otro grupo carboxilo separados entre sí por un solo átomo de carbono (alfa), unido a este carbono está un átomo de hidrógeno y una cadena lateral R. Los distintos alfa aminoácidos se diferencian por sus cadenas laterales R.

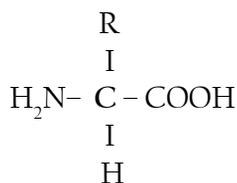


Figura 11. Fórmula estructural de los alfa aminoácidos. Fuente: Melo *et al.*, 2004.

Todas las proteínas están compuestas por 20 aminoácidos estándar: alanina, arginina, asparagina, ácido aspártico, cisteína, ácido glutámico, glutamina, glicina, histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, prolina, serina, treonina, triptófano, tirosina, valina (24).

### Clasificación

De acuerdo a su complejidad, una proteína puede clasificarse en cuatro niveles de estructura principalmente y uno más (quinto nivel) que no se conoce bien, pero que está presente en diversas proteínas.

1. Estructura primaria: es la secuencia de aminoácidos en una cadena proteica, es la secuencia lineal lograda mediante enlaces covalentes polipeptídicos que unen aminoácidos en una secuencia específica (13).

2. Estructura secundaria: es cuando un polipéptido o cadena proteica posee una estructura helicoidal o laminar.
3. Estructura terciaria: se refiere a la disposición global que tienen los elementos de la estructura secundaria y la cadena lateral de aminoácidos definidos en forma tridimensional. Las estructuras terciarias más habituales son la globular y la fibrosa.

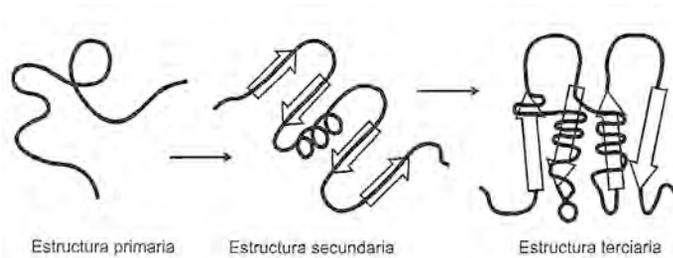


Figura 12. Estructura primaria, secundaria y terciaria de una proteína. Fuente: Melo *et al.*, 2004.

4. Estructura cuaternaria: se refiere a la distribución de las subunidades que integran ciertas proteínas, describe el ordenamiento de las subunidades en relación mutua, y como se adaptan o empaquetan conjuntamente en la conformación nativa.

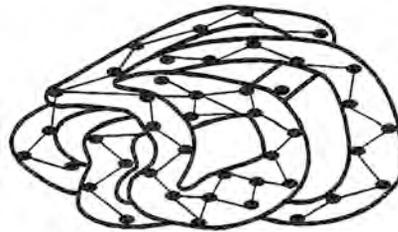


Figura 13. Estructura cuaternaria de una proteína. Fuente: Melo *et al.*, 2004.

5. Quinto nivel estructural: Se presenta en las proteínas de la cadena de transporte de electrones o cadena respiratoria, que se

localizan en la membrana interna de la mitocondria. Son proteínas que tienen una localización bien definida, la cuál permite que funcione coordinadamente y así cumplir con una función tan importante como es la respiración a nivel celular (11).

## D) Ácidos nucleicos

Desde el punto de vista químico: los ácidos nucleicos (que se aislaron primeramente de núcleos celulares, de ahí reciben su nombre) son polímeros de gran peso molecular, formados con unidades de nucleótidos.

Desde el punto de vista biológico: los ácidos nucleicos son moléculas muy complejas que producen las células vivas. Algunos se ubican en el núcleo de la célula y en el citosol. Tienen dos funciones: transmiten las características hereditarias de una generación a otra y dirigen la síntesis de proteínas.

### Estructura química y nomenclatura

Los ácidos nucleicos están formados por unidades estructurales llamados nucleótidos, los cuales están formados de cadenas de ácido fosfórico y residuos de azúcar alternados entre sí, y a cada unidad de azúcar se le une una base nitrogenada, pueden ser diferentes bases nitrogenadas, derivadas químicamente de la purina y la pirimidina. Las bases pirimídicas son la citosina, el uracilo y la timina, y las bases púricas son la guanina y la adenina. Son dos clases de ácidos nucleicos: el ácido desoxirribonucleico (ADN) y el ácido ribonucleico (ARN).

### Clasificación

1. Ácido desoxirribonucleico (DNA): constituido por dos cadenas de polideoxirribonucleótidos que se forman al unirse dAMP, dGMP, dCMP, dTMP. Se localiza en el núcleo y sólo un pequeño porcentaje en las mitocondrias de las células eucarióticas y en los cloroplastos de las células vegetales.

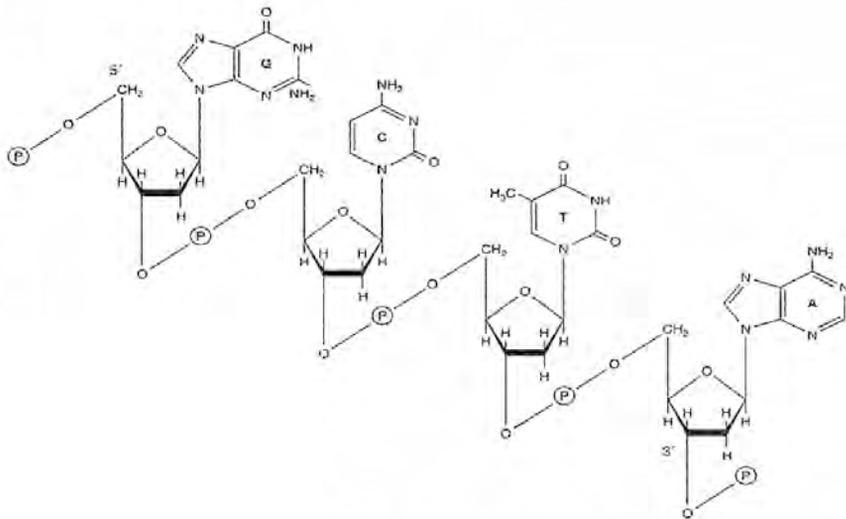


Figura 14. Fórmula química de DNA. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

2. Ácido ribonucleico (RNA): Es un polirribonucleótido que se forma de la unión de AMP, GMP, CPM y UMP. Se compone de una sola cadena de polinucleótidos.

RNA ribosomal (rRna): representa el 80 % del RNA de la célula. Contienen la información que determina el orden de los aminoácidos en las proteínas.

RNA de transferencia (t RNA): estos son los RNA más pequeños y con más bases modificadas. Tienen una estructura tridimensional.

RNA mensajero (mRna) : Es el que lleva la información genética del DNA, donde se almacena, al citoplasma de la célula para la información se traduce en proteínas.

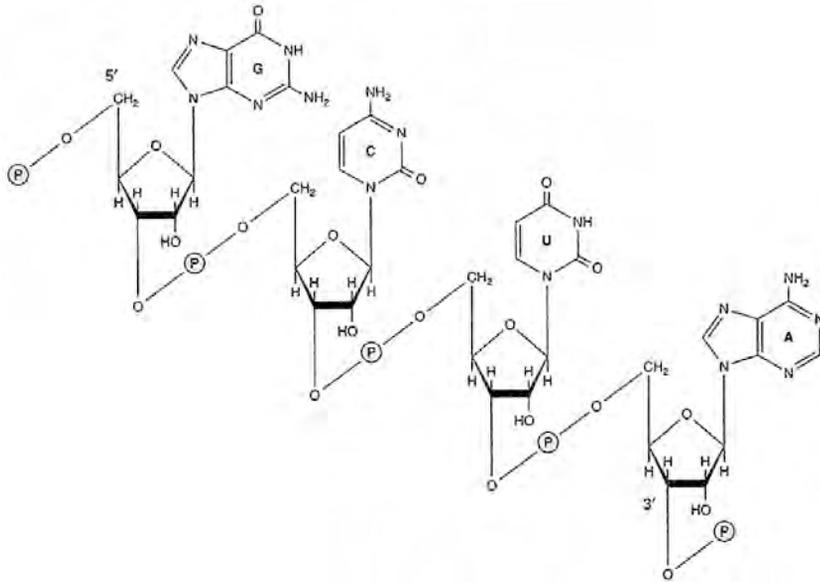


Figura 15. Fórmula química de RNA. Fuente: Murray *et al.*, 2004.



## Capítulo 3

### Conceptos generales sobre bioenergética

Adriana Caballero Roque. Daisy Escobar Castillejos

#### Definición de bioenergética

**E**s el estudio del procesamiento, el consumo de energía dentro de los sistemas biológicos, la transformación y el empleo de la energía por las células vivientes, lo que permite entender las complejidades del metabolismo (7).

#### Transformaciones energéticas en los seres vivos

La energía para los procesos biológicos procede del sol, la energía lumínica puede ser capturada por pigmentos existentes en los vegetales y en algunos microorganismos y transformarse mediante la fotosíntesis en otras formas de energía, principalmente química utilizable para la síntesis de sus propios componentes a partir de sustancias muy simples del medio, estos organismos son llamados autótrofos, los organismos que necesitan incorporar moléculas complejas ya elaboradas se denominan heterótrofos.

Las transformaciones químicas de los autótrofos y heterótrofos, exige la formación de compuestos intermediarios especiales, de alto contenido energético que actúan como reservorio y transportadores de la energía a utilizar en la realización del trabajo de la célula.

## Energía obtenida de los alimentos

El contenido total de energía de un alimento es la cantidad de energía liberada cuando el alimento se quema por completo al aire hasta dar CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (es el calor de la combustión).

El organismo utiliza la energía obtenida de los alimentos para tres procesos principales:

1. El metabolismo basal (MB): es la energía que se emplea para realizar las funciones corporales normales como la circulación de la sangre, la respiración, entre otras. El MB habitualmente supone del 50 al 70% del gasto energético total. El MB disminuye después de los 20 años de edad aproximadamente.
2. Efecto térmico de los alimentos: es la energía que se necesita para la digestión y absorción de los alimentos y equivale del 5 al 10% del gasto energético.
3. Actividad física: es la energía que se utiliza dependiendo la intensidad y duración del ejercicio.

Factores como el crecimiento, embarazo y lactancia, pueden afectar los requerimientos de energía del organismo (20).

## El ATP, la molécula esencial de la bioenergética

El principal compuesto intermediario rico en energía es el adenosin trifosfato (ATP) (11).

El ATP es un nucleótido que consta de una adenina, una ribosa y una unidad trifosfato, es una molécula rica en energía, es el centro del flujo de energía química en las células vivas.

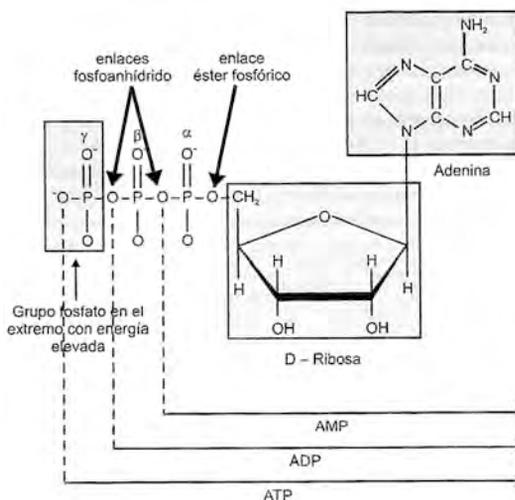


Figura 16. Fórmula química del ATP. Fuente: Melo *et al.*, 2004.

Para entender el mecanismo molecular por el cuál se sintetiza el ATP, es necesario revisar el concepto de oxidación y reducción. Cuando se transfieren los electrones de un compuesto a otro, se dice que tiene lugar una reacción de óxido- reducción (redox), en este proceso se pierden y se ganan electrones, en la mayor parte de las reacciones de este tipo de las vías metabólicas, se rompen en laces de C-H.

## La cadena respiratoria

Se le llama cadena respiratoria o cadena transportadora de electrones al grupo de enzimas mitocondriales, acopladas, que actúan en estrecho contacto físico para catalizar este transporte electrónico. El nombre de cadena transportadora de electrones se refiere a la definición de oxidación y reducción como pérdida o ganancia de electrones, de forma que un sistema que promueve oxidaciones biológicas implica la transferencia de electrones, ese sistema utiliza una secuencia o cadena de reacciones acopladas, que utiliza oxígeno (O<sub>2</sub>), proveniente de la respiración.

En las mitocondrias de las células se encuentran unos componentes (llamados *transportadores electrónicos*) y que son capaces de aceptar y ceder electrones.

Estos transportadores electrónicos son: la nicotinamida (NAD), las flavoproteínas (FAD), quinonas (Coenzima Q), hemo proteínas (Citocromos), proteínas de hierro (Fe) y azufre (S).

El que mayor capacidad tiene para ceder electrones es el NADH (reducido), seguido por el FAD, la coenzima Q, los citocromos b, c y el oxígeno (19).

### Fosforilación oxidativa

Se llama así al proceso de formación de ATP que requiere flujo de electrones, oxígeno y una reacción que lleve a cabo la unión entre ADP y el fosfato. Fosforilación porque el ADP se fosforila y oxidación porque se esta consumiendo oxígeno durante todo el proceso.

La formación de ATP requiere de energía que es aportada por el flujo constante de electrones a través de la cadena respiratoria, esta sirve como un sistema de transporte de electrones de una serie grande de moléculas derivadas de los alimentos, al oxígeno, si este falta, el flujo se detiene y con él la síntesis de ATP.

Para formar ATP deben estar presentes el ADP y el fosfato. Si falta alguno de estos componentes, será imposible la síntesis de ATP, aún cuando exista suficiente flujo de electrones y suficiente cantidad de oxígeno.

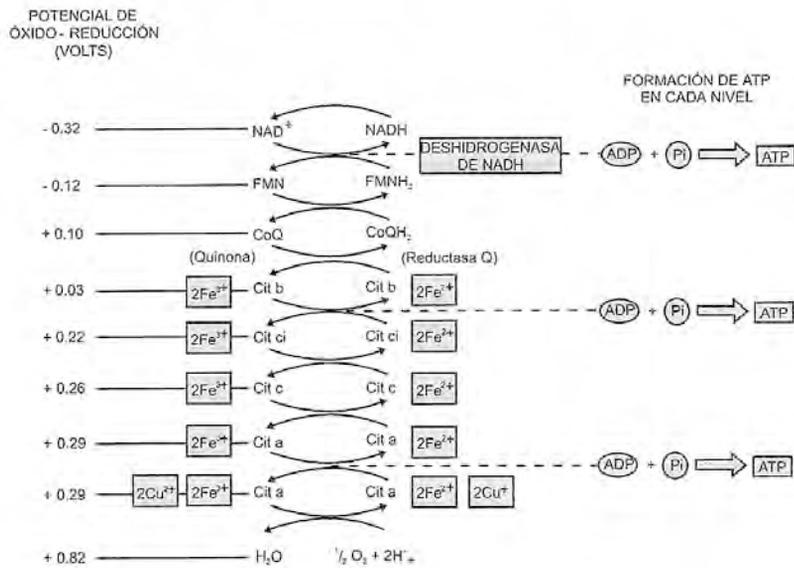


Figura 17. Cadena de transporte electrónico y fosforilación oxidativa. Fuente: Melo *et al.*, 2004

## Ciclo de los ácidos tricarboxílicos

El ciclo de los ácidos tricarboxílicos también llamado ciclo del ácido cítrico o ciclo de Krebs (en honor al bioquímico inglés Sir Hans Krebs) esta constituido por una serie de reacciones que oxidan al grupo acetilo del acetil Co.A a dos moléculas de dióxido de carbono, con la consiguiente generación de tres moléculas de NADH, una de FADH<sub>2</sub> y una de GTP.

La principal función de este ciclo es actuar como vía común final de la oxidación de carbohidratos, lípidos y proteínas, esto debido a que la glucosa, los ácidos grasos y muchos aminoácidos son metabolizados a acetil Co.A o a intermediarios del ciclo. Este ciclo consta de ocho pasos en las que participan ocho enzimas, se inicia con el oxalacetato y el radical acetilo del la acetil Co.A para formar citrato y termina con la nueva formación de oxalacetato.

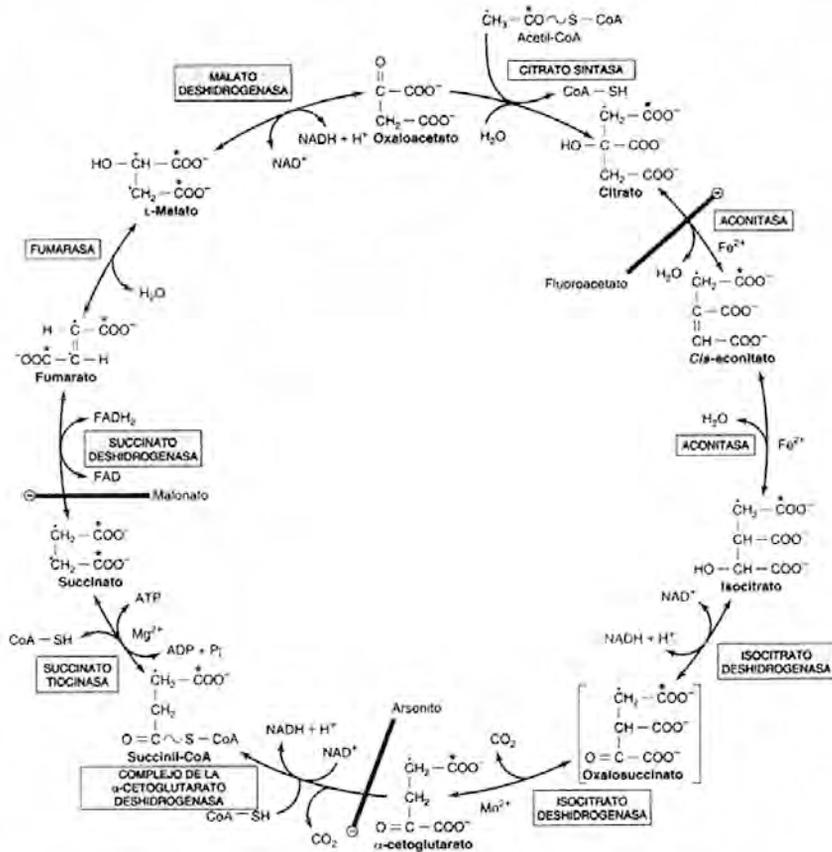


Figura 18. Fórmulas químicas del ciclo de Krebs. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

## Balance energético del ciclo de Krebs

Por cada molécula de acetil Co-A catabolizada en el ciclo de Krebs, se producen tres moléculas de NADH una de FADH y una de GTP.

Una molécula de NADH genera la formación de tres ATP, una de FADH produce dos ATP y una de GTP, solo un ATP, en el proceso de fosforilación oxidativa posterior al ciclo de Krebs.

$$3 \text{ NADH} \times 3 = 9$$

$$1 \text{ FADH} \times 2 = 2$$

$$1 \text{ GTP} \times 1 = 1$$

En cada ciclo del ácido cítrico se generan 12 moléculas de ATP, por cada acetil Co-A.

En la degradación de glucosa a dos moléculas de piruvato se ganan 2 moléculas de ATP.

En la transformación de una molécula de piruvato a una molécula de acetil Co-A, se produce un NADH que equivale a 3 moléculas de ATP, un FADH que equivale a 2 moléculas de ATP, por lo tanto, en la degradación de una molécula de glucosa (se producen 2 moléculas de piruvato que se transforman en 2 moléculas de acetil Co-A) hasta dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O), se obtienen 38 moléculas de ATP.



## Capítulo 4

# Conceptos generales del metabolismo de carbohidratos

Adriana Caballero Roque. Patricia I. Meza Gordillo

**L**os carbohidratos, son los compuestos más abundantes de la dieta, por lo que los caminos metabólicos en los que intervienen son los de mayor tránsito en las células. Son compuestos orgánicos formados por carbono, hidrógeno y oxígeno en proporciones de 6:12:6, y algunos presentan azufre y nitrógeno (12).

Las fuentes de los carbohidratos son numerosas, pero en general, son casi todas de origen vegetal como los almidones de los cereales, azúcar de la caña, miel, leche y frutas. En los vegetales, la fotosíntesis es la encargada de sintetizar, a partir de luz solar, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, los almidones, celulosa vegetal, mono y disacáridos. La fuente energética animal es el glucógeno, y en el vegetal es el almidón; ambos están formados por el monosacárido glucosa (12). A continuación se encuentran algunas funciones fisiológicas de diversas moléculas de monosacáridos (tabla 1)

Tabla 1. Ejemplos de presencia y funciones bioquímicas de monosacáridos

Monosacárido	Presencia natural	Función fisiológica
Gliceraldehído	Generalizada (como fosfato)	El 3-fosfato es intermediario de la glucólisis.
Dihidroxiacetona	Generalizada (como fosfato)	El 1-fosfato es intermediario de la glucólisis.
D-Galactosa	Generalizada	Leche (forma parte de la lactosa), polisacáridos estructurales.
D-Glucosa	Generalizada	Fuente de energía importante en el metabolismo animal; papel estructural en la celulosa.
D-Manosa	Polisacáridos de plantas, Glucoproteínas animales.	Estructuras de polisacáridos.
D-Fructosa	Importante azúcar de las plantas; forma parte de la sacarosa.	Intermediario de la Glucólisis (ésteres de fosfato).
D-Sedoheptulosa	Muchas plantas.	Intermediario en el ciclo de Calvin de la fotosíntesis.

Fuente: modificado de Mathews 2000.

Desde el punto de vista de la digestión, el organismo debe transformar los compuestos ingeridos en monosacáridos con la intervención de enzimas como la amilasa salival, amilasa pancreática, maltasa, sacarasa, o lactasa.

Los monosacáridos, donde la glucosa es la más abundante en la naturaleza, resultantes de la digestión de los carbohidratos son absorbidos por la pared intestinal, pasan al torrente circulatorio de la vena porta, que los distribuye a todo el organismo.

## Procesos de catabolismo de carbohidratos

Los principales procesos del catabolismo (degradación de compuestos) de carbohidratos son: glucólisis y glucogenólisis.

### Glucólisis:

Es el proceso de transformación de la glucosa a piruvato. Es una ruta central del catabolismo de la glucosa. Es una ruta que consta de diez pasos que convierte una molécula de glucosa en dos moléculas de piruvato, generándose así dos moléculas de ATP a partir de dos ADP de forma anaerobia, así como 2 NADH a partir de dos NAD<sup>+</sup> (10).

*Descripción del proceso bioquímico:*

A partir de la glucosa como sustrato inicial, la degradación atraviesa una serie consecutiva de reacciones enzimáticas que dan por resultado la formación de productos específicos: piruvato, lactato, alcohol o dióxido de carbono.

Cuando la glucólisis se realiza en ausencia de oxígeno, el producto final es lactato; cuando hay presencia de oxígeno se forma el piruvato.

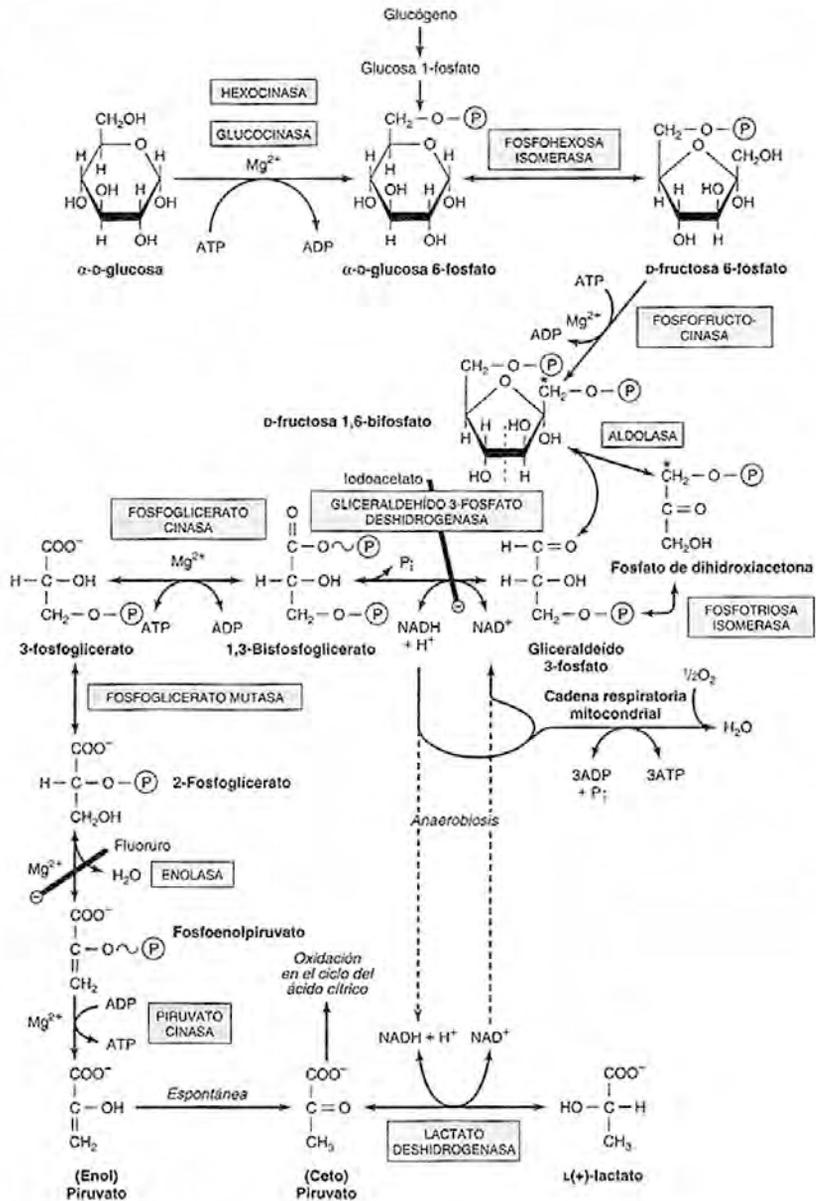


Figura 19. Fórmulas químicas del proceso de glucólisis. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

Con dicho esquema entendemos a la glucólisis de la siguiente manera:

- En general, por acción de enzimas tales como la *hexoquinasa*, *glucoquinasa* y *fosfructoquinasa* se convierte una molécula de glucosa en D-fructosa-1, 6 bifosfato; para lo cual fue necesario utilizar dos moléculas de ATP.
- La enzima *fosfohexosa isomerasa* logra el reacomodo de los carbonos para convertir a la glucosa-6-fosfato (aldosa) en fructosa-6-fosfato (cetosa).
- A través del enlace de alta energía del ATP, más el ión  $Mg^{+2}$ , así como de la enzima *fosfofructoquinasa* (PFK), se logra el enlace de los dos fósforos (P) en la molécula de fructosa; en los carbonos 1 y 6 respectivamente. Dicha reacción es irreversible y libera un ADP.
- La enzima *aldolasa* rompe la molécula de fructosa-1, 6 bifosfato en dos moléculas de 3C, que son el fosfato de dihidroxiacetona y gliceraldehído-3-P. esta reacción es reversible. En este momento termina la fase de utilización de energía, así como la fase anaeróbica.
- Posteriormente, el fosfato de dihidroxiacetona fácilmente puede ser convertido a gliceraldehído -3-P (G3P) a través de la enzima *fosfotriosa isomerasa*.
- Dentro de la fase aeróbica de la glucólisis encontramos la generación del primer compuesto de alta energía, así como de un par de equivalentes reductores ( $NADH + H^+$ ); la cual a través de la enzima *gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa*, produciéndose así la síntesis e un compuesto de súper alta energía, el 1, 3-bis-fosfoglicerato (BPG) con la utilización de la coenzima  $NAD^+$ , el cual acepta los electrones del sustrato oxidado. Dicha reacción es reversible.
- Dicho enlace de súper alta energía, a través de la reacción reversible por medio de la *fosfoglicerato quinasa* se rompe y se utiliza el P para formar, a partir de un ADP una molécula de ATP, el 3-fosfoglicerato.

- La enzima *fosfoglicerato mutasa*, como su nombre lo dice, transloca el ión P del carbono 3 al 2, formando así el 2-fosfoglicerato.
- A través de un Fluoruro, un ión  $Mg^{+2}$  y la enzima *Enolasa* se convierte el 2-fosfoglicerato a Fosfoenolpiruvato, provocando la formación de una molécula de agua ( $H_2O$ ) al eliminarse el  $H^+$  del C2, y el  $OH^-$  del C3.
- En la siguiente reacción, se cuenta con un enlace de alta energía del P, por lo que con la acción de la enzima *piruvato cinasa*, y un ADP se forma el segundo ATP, así como piruvato.

### Destino metabólico del piruvato

El piruvato ocupa una posición clave en el metabolismo intermediario; existe un mecanismo de conexión entre la glucólisis y el ciclo de Krebs, se trata de una reacción por medio de la cuál el piruvato se convierte en acetyl CoA.

El piruvato que resulta de la glucólisis, se transporta al interior de la mitocondria en donde se encuentra la enzima *piruvato deshidrogenasa*, de este proceso resulta la primera molécula de dióxido de carbono de la degradación de la glucosa, por cada molécula de piruvato se produce una de acetyl-CoA, que puede entrar al ciclo de Krebs para ser oxidada completamente hasta dióxido de carbono y agua, produciendo los electrones que alimentan a la cadena respiratoria.

La formación de acetyl CoA tiene lugar en cinco reacciones del complejo multienzimático de la *piruvato deshidrogenada*. Como se observa en la figura la enzima E1 (*piruvato deshidrogenasa*) contiene pirofosfato de tiamina (TPP) y cataliza las reacciones 1 y 2. La enzima E2 (*dihidrolipoiltransacetylasa*) contiene lipoamida y cataliza la reacción 3. La enzima E3 (*dihidrolipoildeshidrogenasa*) contiene FAD y un disulfuro con actividad redox y cataliza las reacciones 4 y 5 (9).

Este complejo, no es estrictamente, parte del ciclo de Krebs; sin embargo, de ésta forma la acetyl CoA queda preparada como precursor (Combustible) para las reacciones del ciclo de Krebs.

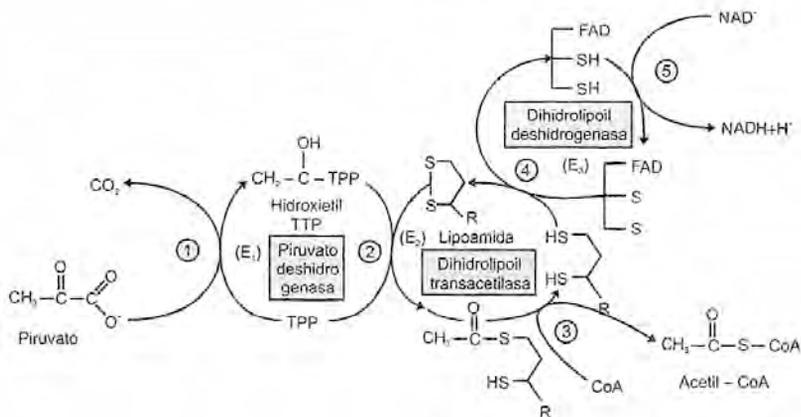


Figura 20. Fórmulas químicas del complejo multienzimático que transforma el piruvato a acetil Co.A. Fuente: Melo *et al.*, 2004.

## Glucogenólisis:

Es el proceso de obtención de glucosa a partir de la degradación de glucógeno.

### *Descripción del proceso bioquímico:*

Los animales, realizan la digestión del almidón y del glucógeno empieza en la boca, a través de la enzima amilasa secretada en la saliva, la cual rompe los enlaces  $\alpha$ -1-4. En el intestino la digestión de los polisacáridos continúa con la  $\alpha$ -amilasa del páncreas, degradando la amilosa a maltosa y glucosa, pero no rompe los enlaces  $\alpha$ , 1-6 que se encuentran en las ramificaciones del glucógeno y amilopectina. Éstos enlaces son translocados por la  $\alpha$ -1-6-glucosidasa (isomaltasa) que los convierte a enlaces  $\alpha$ -1-4, para poder ser atacados por la  $\alpha$ -amilasa hasta maltosa y glucosa.

El glucógeno es el sustrato inicial, la reacción es catalizada por la enzima fosforilasa para producir glucosa-1-fosfato (G-1-P); posteriormente, actúa la enzima desramificadora y posteriormente la enzima fosfoglucomutasa hasta producir glucosa libre.

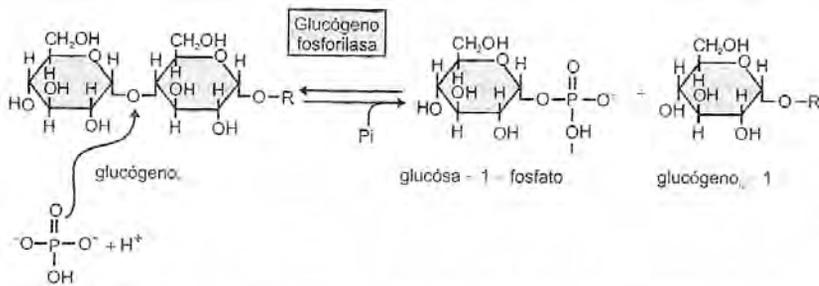


Figura 21. Fórmulas químicas del proceso de glucogenólisis. Fuente: Melo *et al.*, 2004.

Esta reacción es simple, la unión  $\alpha$ -1-4 entre glucosas es “roto” por acción de la *glucógeno fosforilasa*, donde se fosforila una molécula de Glucosa formándose la Glucosa-1-fosfato (G-1-P) y el glucógeno con una molécula menos.

La hormona Adrenalina, así como la hormona peptídica glucagón controlan dicha degradación de las reservas intracelulares de glucógeno (muscular o hepático respectivamente) teniendo como mensajero al AMPcíclico (adenosina 3-5-monofosfato cíclico) (10).

## Procesos de anabolismo de carbohidratos

Los principales procesos del anabolismo (síntesis de compuestos) de carbohidratos son: glucogénesis, gluconeogénesis, ciclo de las pentosas y ciclo de Cori.

### Glucogénesis:

Es un proceso de formación de glucógeno a partir de restos de glucosa. Las enzimas que catalizan los tres pasos implicados son: UDP (uridina difosfato) glucosa pirofosforilasa, glucógeno sintasa y enzima ramificador del glucógeno.

*Descripción del proceso bioquímico:*

La reacción se inicia a partir de la presencia de la molécula de glucosa que es fosforilada a glucosa 6-fosfato catalizada por la enzima hexoquinasa, posteriormente se convierte en glucosa 1-fosfato mediante la enzima fosfoglucomutasa, la glucosa sufre una serie de transformaciones con la intervención de diferentes enzimas que actúan en cada sustrato hasta unirse y formar al glucógeno.

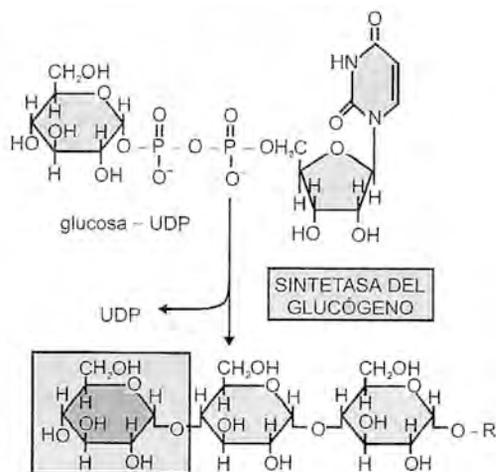


Figura 22. Fórmulas químicas del proceso de formación del glucógeno. Fuente: Melo *et al.*, 2004.

**Gluconeogénesis:**

Es el proceso de formación de glucosa a partir de compuestos que no son carbohidratos como el glicerol, lactato, piruvato, aminoácidos e intermediarios del ciclo del ácido cítrico. Este proceso se realiza en el citosol de las células del hígado de mamíferos.

*Descripción del proceso bioquímico:*

La reacción se inicia a partir de cualquiera de los sustratos como son glicerol, lactato, aminoácidos, intermediarios del ciclo del ácido cítrico que se transforman a piruvato, que reacciona con la enzima piruvato carboxilasa para llevar a cabo las reacciones sucesivas de sustratos y enzimas hasta formar la glucosa.



### Ciclo de pentosas:

Este ciclo también se le ha llamado vía del fosfogluconato, vía de los fosfatos de pentosas o ciclo oxidativo directo de la glucosa.

Esta vía tiene como fin generar poder reductor en la forma de NADPH. También constituye pentosas, en especial la ribosa - 5 - fosfato o sus derivados, que forman parte de moléculas como ATP, CoA, NAD, FAD, RNA y DNA. Otra función es la interconversión de azúcares de tres, cuatro, cinco, seis y siete átomos de carbono, algunos de los cuales son sustratos de enzimas de la glucólisis.

#### *Descripción del proceso bioquímico:*

La secuencia de las reacciones del ciclo de pentosas se dividen en dos fases, en la primera fase la glucosa 6 fosfato se deshidrogena y descarboxila para producir una pentosa, la ribulosa 5 fosfato. En la segunda fase, la ribulosa-5-P se convierte de nuevo en glucosa-6-P mediante una serie de reacciones en las que participan en particular dos enzimas que son la transcetolasa y la transaldolasa.

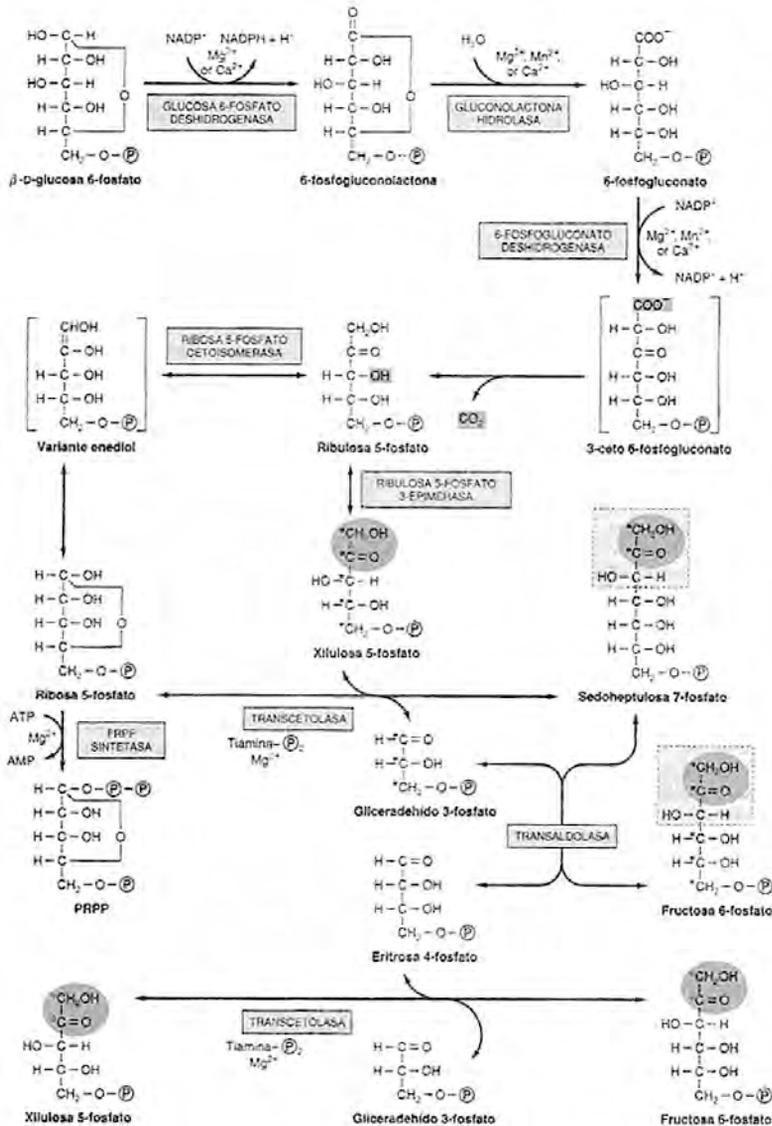


Figura 24. Proceso del ciclo de pentosas. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

### Ciclo de Cori o ciclo del ácido láctico:

Es el proceso de formación de glucosa a partir de ácido láctico.

#### *Descripción del proceso bioquímico:*

El lactato, formado por glucólisis en el músculo esquelético y los eritrocitos, se transporta hasta el hígado y los riñones donde sirve para formar glucosa, la cuál de nuevo esta disponible por medio de la circulación para la oxidación en los tejidos.

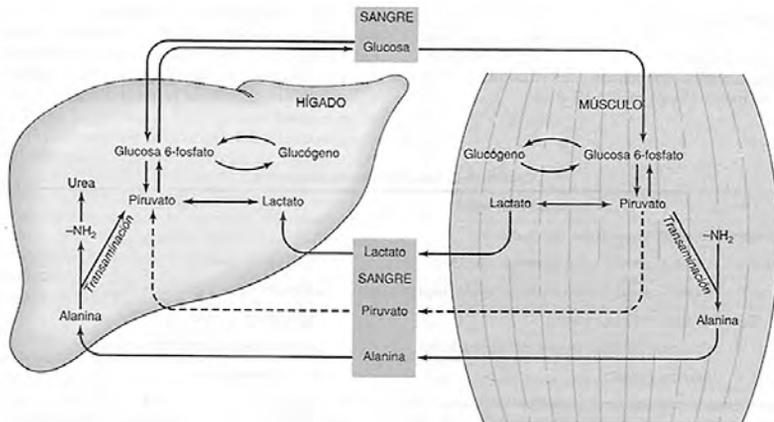


Figura 25. Proceso de ciclo del ácido láctico. Fuente: Murray *et al.*, 2004.

## Capítulo 5

### Conceptos generales del metabolismo de lípidos

Adriana Caballero Roque. Gilber Vela Gutiérrez

**E**n la alimentación, se ingieren porciones de grasa que son reducidas a pequeñas gotas que pueden ser atacadas con mayor facilidad por las enzimas lipolíticas, la lipasa pancreática es la enzima más importante en la digestión de las grasas, es favorecida por la acción emulsificante de las sales biliares. La enzima rompe los enlaces éster que unen al glicerol con los ácidos grasos (AG), además de la lipasa, participan también el jugo pancreático que contiene enzimas como la colesterol enterasa y la fosfolipasa.

Al dividirse los triacilglicéridos (TAG), se forma una mezcla de ácidos grasos libres (AGL), tri, di y monoacilglicéridos y glicerol la cuál forma una fina emulsión que atraviesa la pared intestinal, los lípidos absorbidos, son distribuidos a través el torrente sanguíneo para su metabolismo (19).

#### Procesos de catabolismo de lípidos

El principal proceso del catabolismo (degradación de compuestos) de lípidos es: la beta oxidación.

## Beta oxidación

Es el proceso de degradación de los ácidos grasos, también se le llama espiral de Lynen.

### *Descripción del proceso bioquímico:*

En este proceso se van liberando secuencialmente unidades de dos átomos de carbono en forma activa (acetil-CoA), comenzando por el terminal carboxílico (figura 26).

Todas las enzimas que participan en la beta oxidación se localizan en las membranas internas y la matriz de las mitocondrias del hígado y otros tejidos.

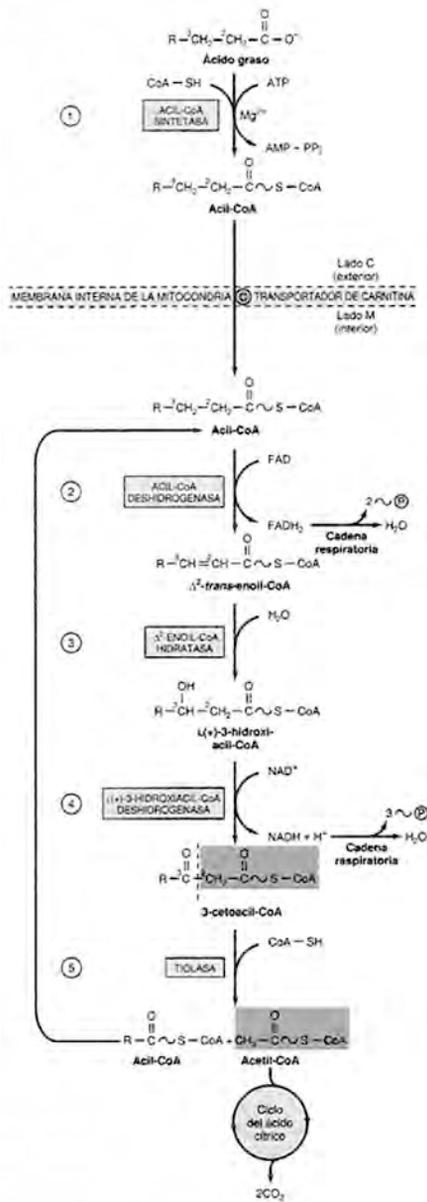


Figura 26. Fórmulas químicas de la beta oxidación (Murray *et al.*, 2004).

## Procesos de anabolismo de lípidos

Los principales procesos del anabolismo (síntesis de compuestos) de lípidos son: cetogénesis, lipogénesis, síntesis de triacilglicéridos y fosfolípidos, síntesis de eicosanoides y síntesis de colesterol.

### Cetogénesis

En condiciones metabólicas vinculadas con una alta de oxidación de los ácidos, se producen en el hígado cantidades considerables de beta-hidroxibutirato y acetoacetato que continuamente es objeto de una descarboxilación espontánea para producir acetona, estas tres sustancias se conocen en conjunto como cuerpos cetónicos.

#### *Descripción del proceso bioquímico:*

Los ácidos grasos libres (AGL) son degradados, mediante la beta oxidación dando origen a Acetil-CoA que al condensarse da origen al acetil-CoA que es el compuesto con el que se inicia la cetogénesis.

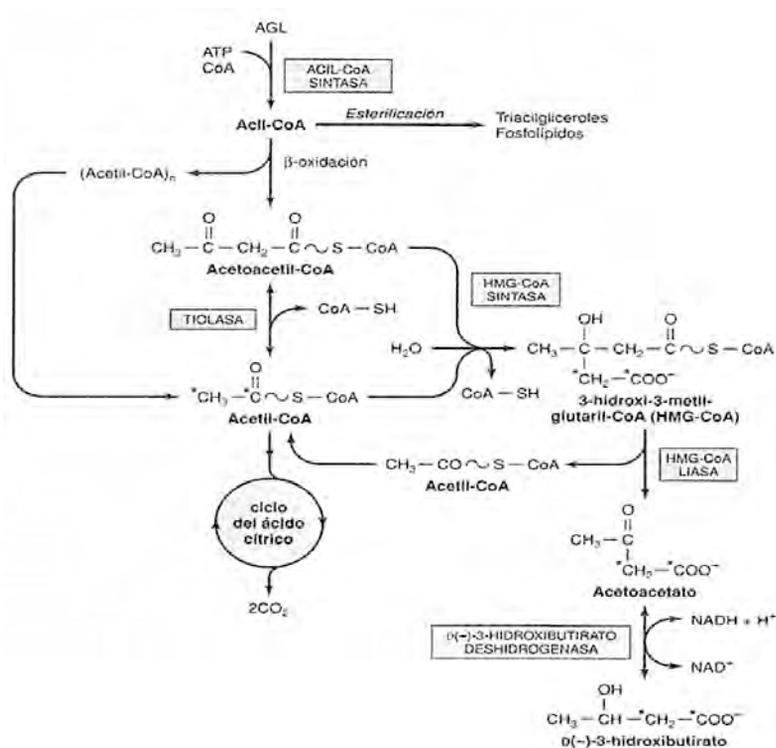


Figura 27. Fórmulas químicas de la cetogénesis (Murray *et al.*, 2004)

## Lipogénesis

El proceso de síntesis de un ácido graso es muy semejante al de la beta oxidación, pero invertido, y con la participación de enzimas distintas, además del lugar celular de realización es distinto.

### *Descripción del proceso bioquímico:*

En este proceso se requiere una fuente de dióxido de carbono (bicarbonato), en la reacción inicial para la carboxilación del acetil-CoA para la formación de malonil-CoA, con la intervención de las enzimas correspondientes.

En el citoplasma celular hay un sistema que trabaja agregando cada vez dos átomos de carbono, en forma de malonil para la formación de los ácidos grasos.

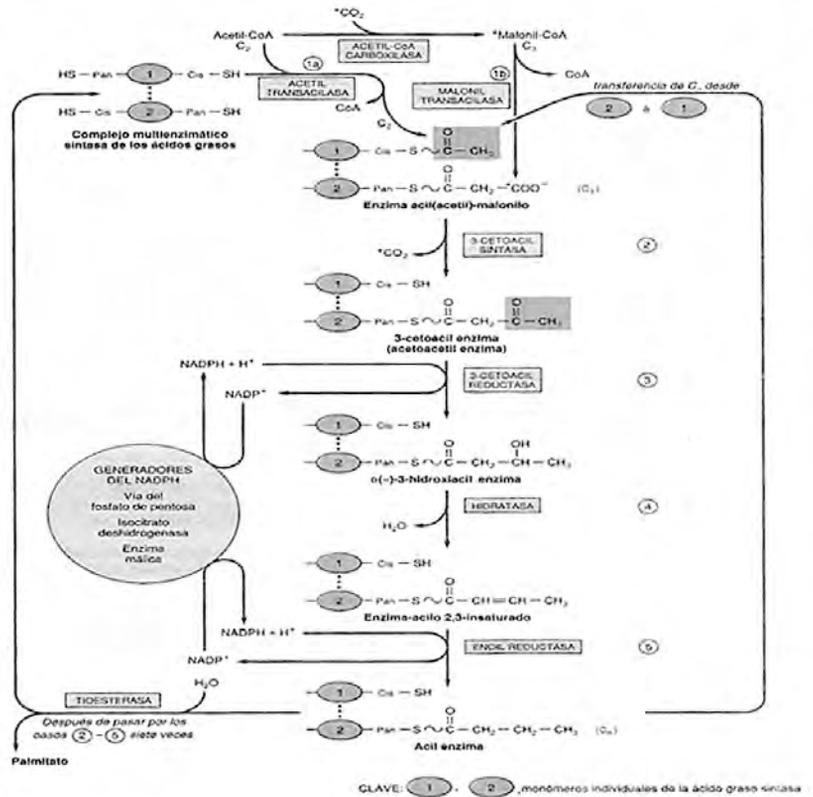


Figura 28. Fórmulas químicas de la lipogénesis (Murray *et al.*, 2004)

### Biosíntesis de triacilglicéridos y fosfolípidos

Es la formación de compuestos que están formados de ácidos grasos, glicerol y otros elementos.

*Descripción del proceso bioquímico:*

El proceso de síntesis de triglicéridos se inicia con la presencia de dos moléculas de acil-CoA que se combinan con el glicerol 3-fosfato para formar fosfatidato, este compuesto es convertido en 1,2 diacilglicerol y luego en triacilglicerol con las respectivas enzimas. En la síntesis de fosfatidilcolina y la fosfatidiletanolamina, el proceso se inicia con la fosforilación por ATP de la colina y la etanolamina.

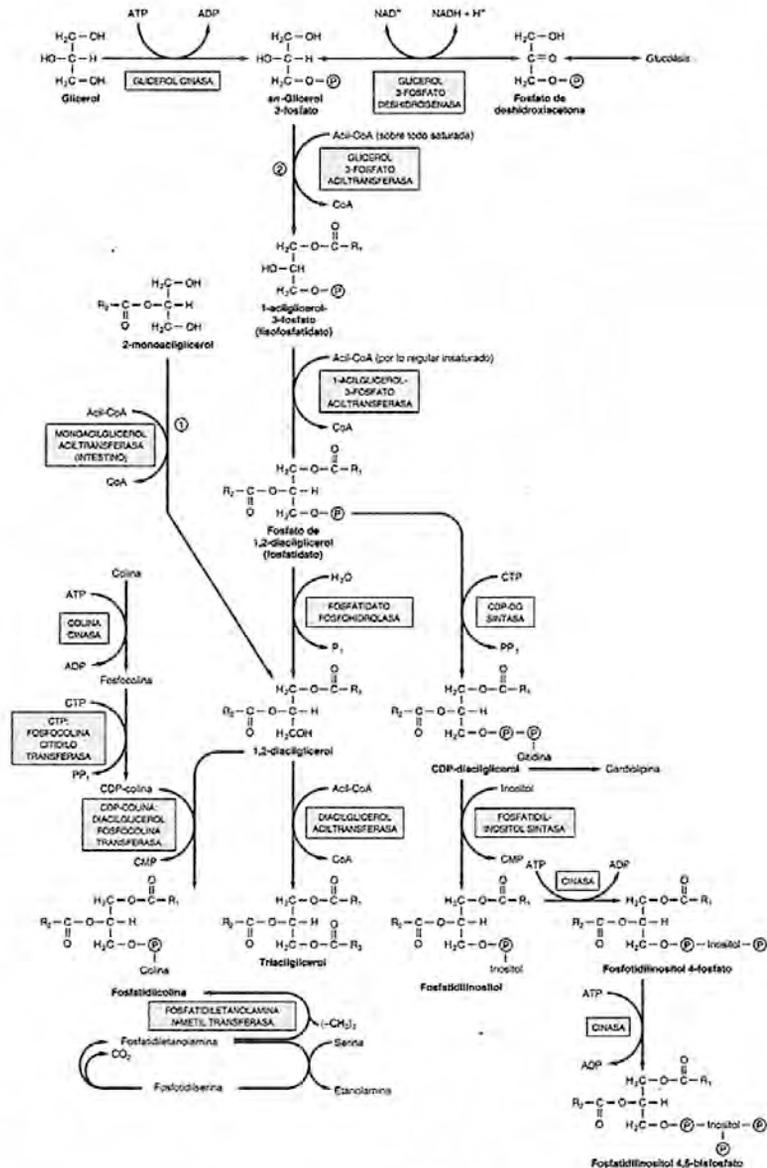


Figura 29. Fórmula de triglicéridos y fosfolípidos (Murray et al., 2004)

## Biosíntesis de eicosanoides

Reciben el nombre de eicosanoides al conjunto de compuestos formados a partir de ácidos grasos de 20 carbonos, entre los que se encuentran las prostaglandinas (PG), tromboxanos (TX), leucotrienos(LT) y lipoxinas(LX).

### Descripción del proceso bioquímico:

Los eicosanoides se sintetizan a partir del araquidonato por dos vías, una es la ciclooxigenasa (para PG y TX) y otra es lipooxigenasa (para LT y LX).

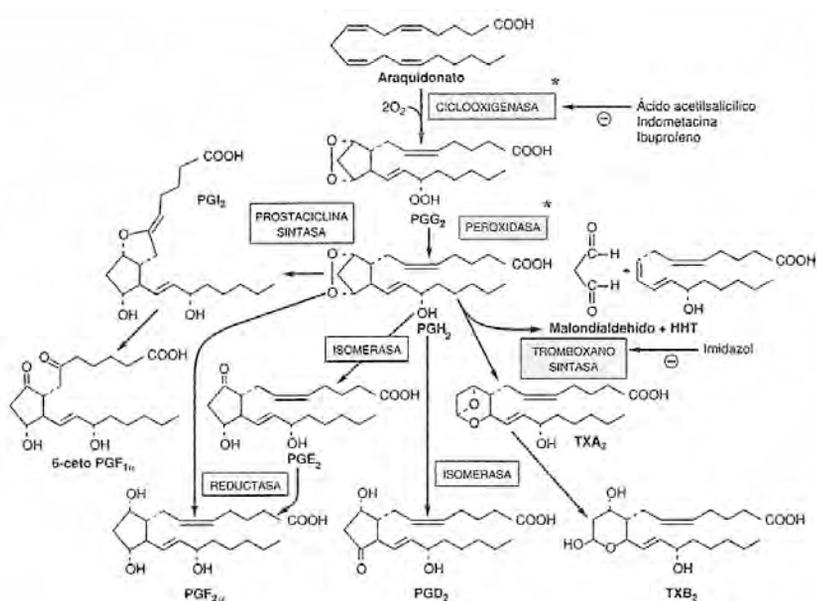


Figura 30. Vía de la síntesis de prostaglandinas y tromboxanos (Murray *et al.*, 2004)

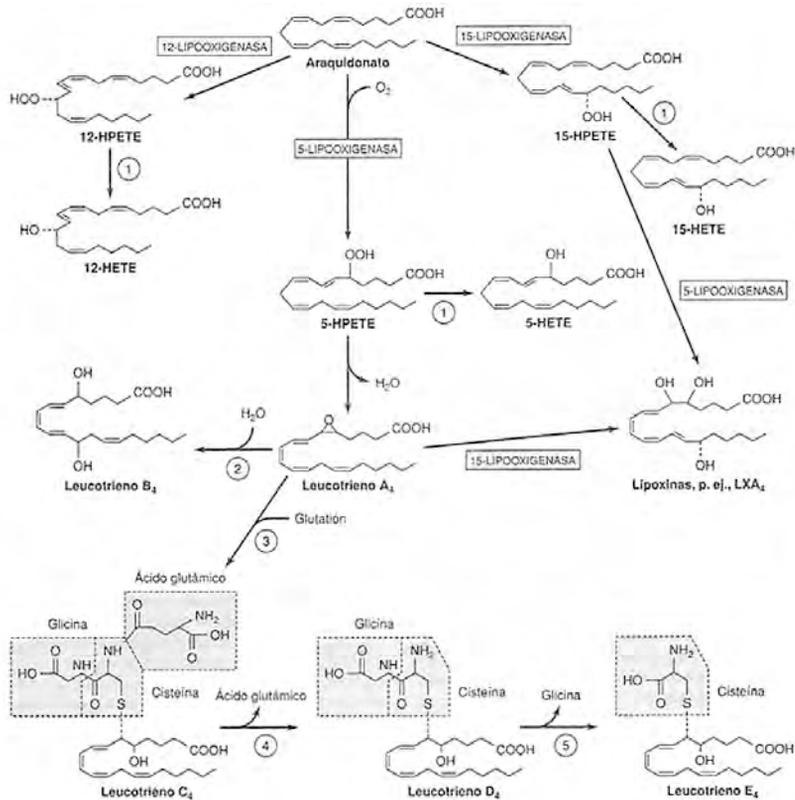


Figura 31. Vía de la síntesis de leucotrienos y lipoxinas (Murray *et al.*, 2004)

## Síntesis de colesterol

Es un compuesto de importancia en la estructura de las membranas celulares, una parte de obtiene de la dieta y el resto se sintetiza en el cuerpo.

### *Descripción del proceso bioquímico:*

La síntesis de colesterol se divide en cinco etapas: 1) la síntesis del mevalonato que se realiza a partir de la acetil-CoA, 2) las unidades iso-

prenoides se forman a partir de mevalonato por pérdida de dióxido de carbono, 3) seis unidades isoprenoides se condensan para formar escualeno, 4) el escualeno se somete a ciclización para dar lugar al esteroide madre que es el lanosterol y 5) este último da origen al colesterol.

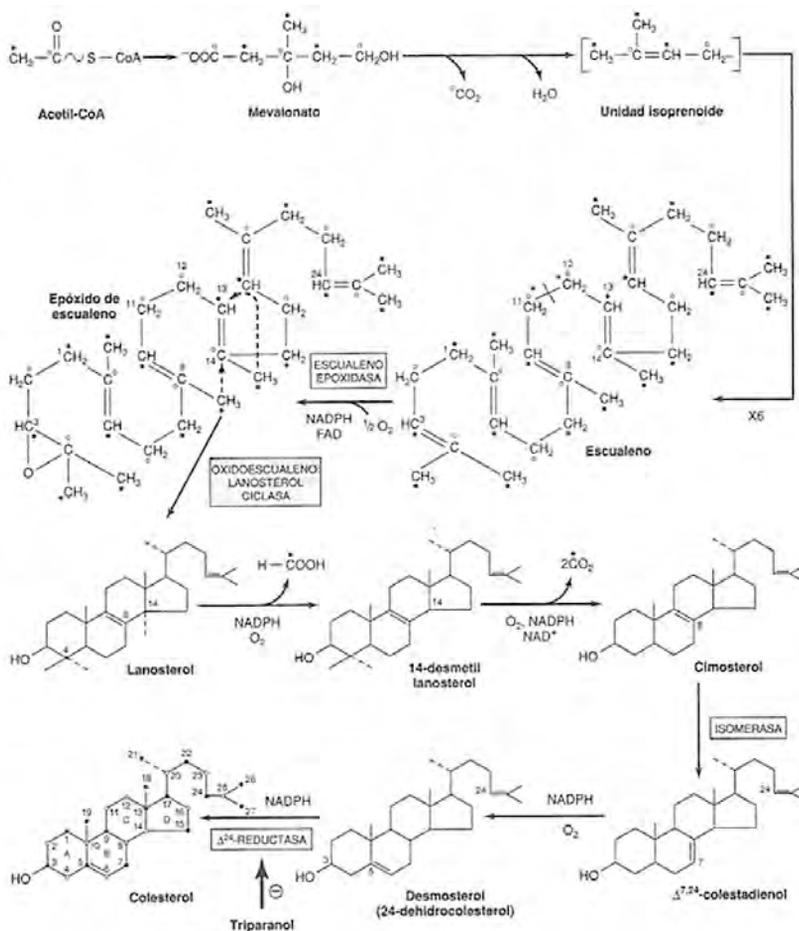


Figura 32. Vía de la síntesis del colesterol (Murray *et al.*, 2004)



## Capítulo 6

### Generalidades del metabolismo de proteínas

Adriana Caballero Roque. Gilber Vela Gutiérrez

**E**l proceso de digestión de las proteínas que se ingieren en la dieta, se lleva a cabo en el tubo digestivo, mediante la acción de varias enzimas proteolíticas (proteasas), que hidrolizan las uniones peptídicas, para la liberación de los aminoácidos, participan además sustancias como el ácido clorhídrico que permite la acción de ciertas enzimas digestivas sobre las proteínas (19).

#### Procesos de catabolismo de proteínas

El principal proceso del catabolismo (degradación de compuestos) de proteínas es: transaminación y desaminación.

##### Transaminación

###### *Descripción del proceso bioquímico:*

Por medio de esta reacción, el grupo amino de un aminoácido es transferido a un cetoácido, el cual se convierte en aminoácido mientras que, a su vez, el aminoácido donador del grupo amino queda como un cetoácido. El cetoácido aceptor más común es el ácido alfa

cetoglutarico, por lo que el producto más común de la reacción es el ácido glutámico.

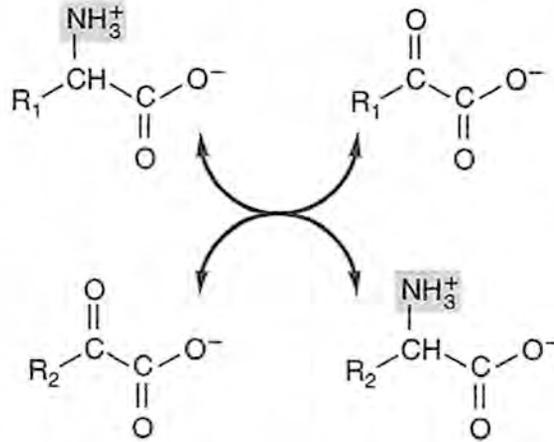


Figura 33. Fórmula química de la transaminación (Murray *et al.*, 2004)

## Desaminación oxidativa

### *Descripción del proceso bioquímico:*

Los aminoácidos provenientes de las proteínas pueden utilizarse para proporcionar energía, para lo cual tienen que convertirse en intermediarios del ciclo de Krebs o en acetil-CoA para poder ser oxidados, por lo tanto como paso previo deben perder el nitrógeno que está presente en los aminoácidos en forma del grupo amino, a este proceso se llama desaminación.

Como resultado de la desaminación se obtiene el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y el esqueleto de carbonos, que será diferente para cada aminoácido, de acuerdo con la estructura de cada uno (13).

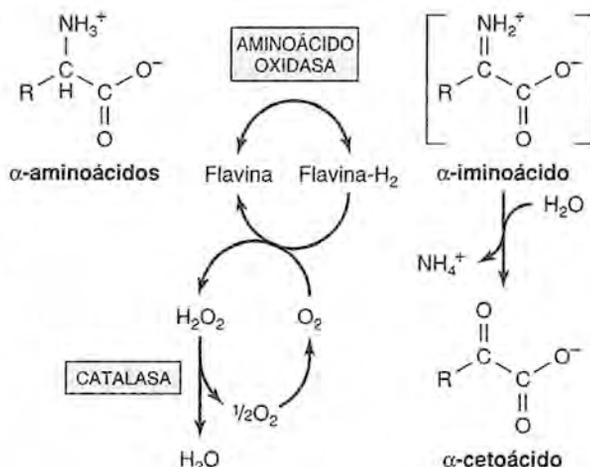


Figura 34. Proceso de la desaminación oxidativa (Murray *et al.*, 2004)

## Procesos de anabolismo de proteínas

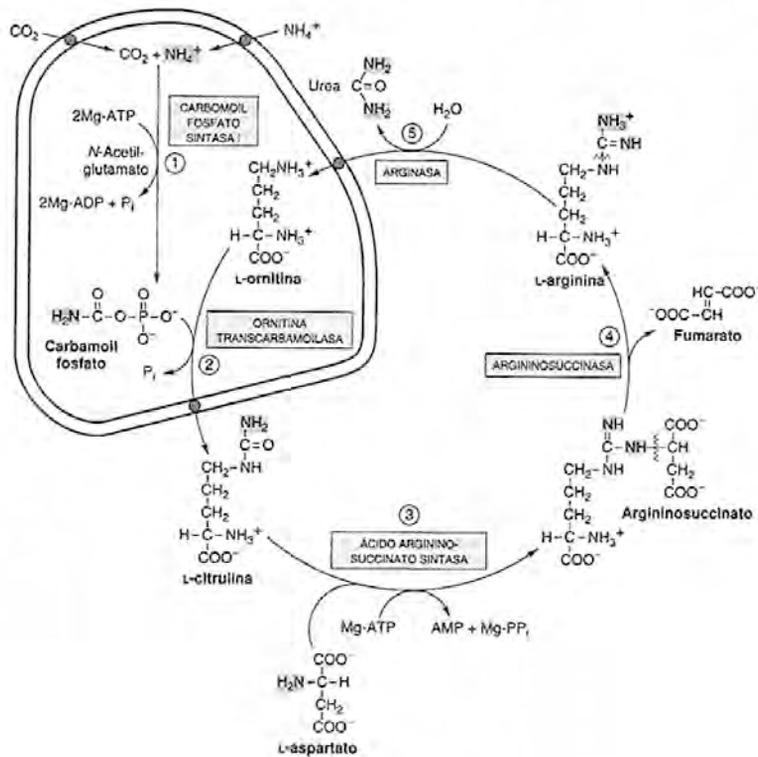
El principal proceso del anabolismo (formación de compuestos) de proteínas es: síntesis de urea.

### Síntesis de la urea

#### *Descripción del proceso bioquímico:*

En el proceso de desaminación de los aminoácidos se produce amoníaco que es un compuesto tóxico para el organismo, especialmente por sus efectos sobre el sistema nervioso central por lo que es transformado en ciertos compuestos para luego ser eliminado por la orina (19).

El mecanismo más activo para la captura del amoníaco es la síntesis de urea, que se realiza mediante un mecanismo en el que se regenera el primer sustrato de tal manera que se forma un ciclo, donde participan como intermediarios la ornitina y la citrulina, estos aminoácidos no forman parte de las proteínas. Por cada molécula de urea se eliminan dos moléculas de amoníaco.

Figura 35. Ciclo de la urea (Murray *et al.*, 2004)

## Destino de los carbonos sin grupo amino

Los carbonos que quedan después del proceso de desaminación que sufren los aminoácidos pasan a convertirse en intermediarios del ciclo los ácidos tricarbóxicos (ciclo de Krebs), de la glucólisis o de la Beta oxidación de los ácidos grasos.

Los aminoácidos cuyos carbonos entran al ciclo de Krebs o a la glucólisis reciben el nombre de glucogénicos (pueden convertirse en glucosa) y los que se comportan como derivados de ácidos grasos y pueden producir cuerpos cetónicos se llaman cetogénicos.

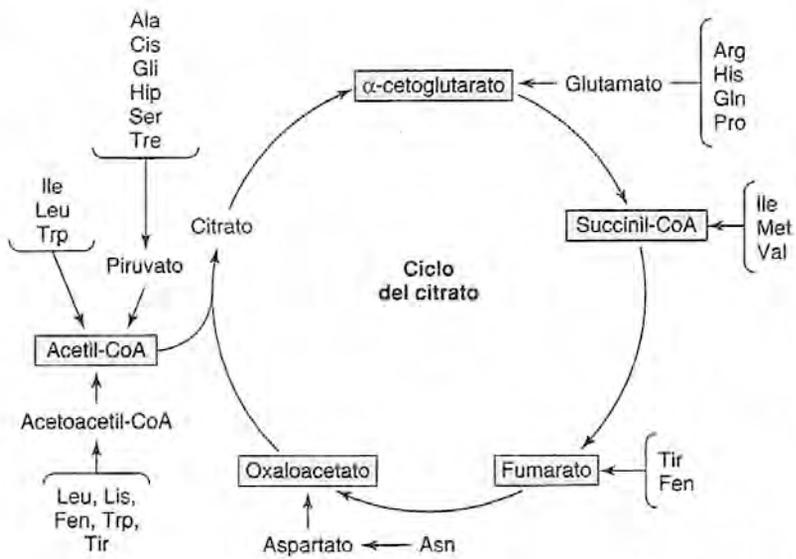


Figura 36. Destino de los carbonos después de la desaminación (Murray *et al.*, 2004)



## Capítulo 7

### Conceptos generales del metabolismo de ácidos nucleicos

Adriana Caballero Roque

**L**os ácidos nucleicos y nucleótidos, ingeridos mediante la alimentación en cantidades mínimas, son degradados en el intestino a moléculas más pequeñas llamadas mono nucleótidos, que pueden ser absorbidos o convertidos en bases de purina o pirimidina (15).

#### Procesos de catabolismo de ácidos nucleicos

El principal proceso del catabolismo (degradación de compuestos) de ácidos nucleicos es convertirlos en: nucleótidos de purina y nucleótidos de pirimidina.

#### Degradación de nucleótidos púricos

El grado de degradación de las bases de purina (adenina y guanina) varía de especie a especie. En el hombre el producto final del catabolismo de las purinas es el ácido úrico, que se excreta por la orina.

### Descripción del proceso bioquímico:

El ácido úrico se forma a partir de los nucleosidos de purina por la vía de las bases de purina hipoxantina, xantina y guanina con las enzimas respectivas.

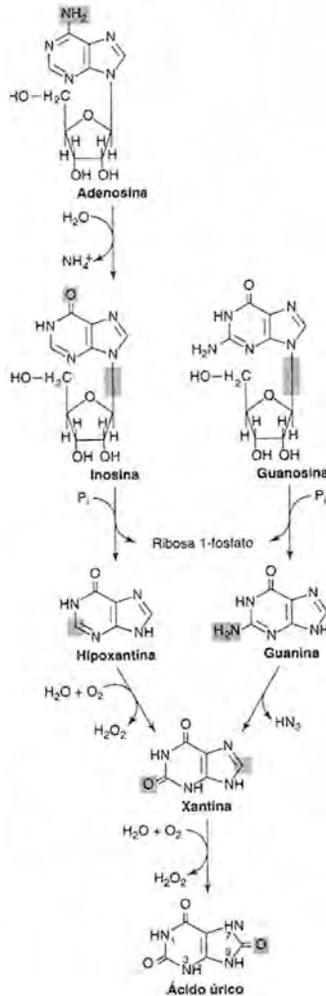


Figura 37. Fórmulas químicas de la formación de ácido úrico (Fuente: Murray, 2004).

## Degradación de nucleótidos pirimidicos

Los productos finales del catabolismo de bases de pirimidinas (citosina, uracilo y timina) son muy solubles como son: dióxido de carbono, amonio, beta-alanina y beta aminoisobutirato.

### Descripción del proceso bioquímico:

Los nucleótidos citosina, uracilo y timina, son degradados por vías distintas y por enzimas específicas para dar como productos finales los mencionados anteriormente.

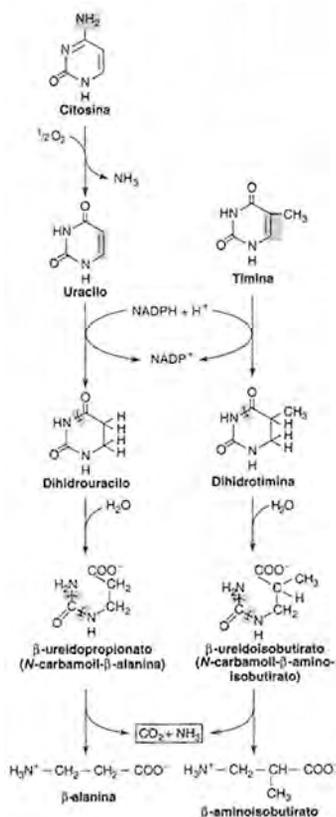


Figura 38. Fórmulas químicas de la degradación de purinas (Murray *et al.*, 2004).

## Procesos de anabolismo de ácidos nucleicos

El principal proceso del anabolismo (formación de compuestos) de ácidos nucleicos es: formación de nucleótidos de purina y nucleótidos de pirimidina.

### Síntesis de nucleótidos de purina

#### *Descripción del proceso bioquímico:*

El proceso se inicia a partir de 5 fosfato de ribosa y ATP, se realiza una serie de reacciones para la formación del monofosfato de inosina (IMP), a partir de aquí surgen dos caminos para la formación de AMP y GMP. Posteriormente se da una transferencia de fosforilo a partir de ATP para convertirlos en ADP y GDP.

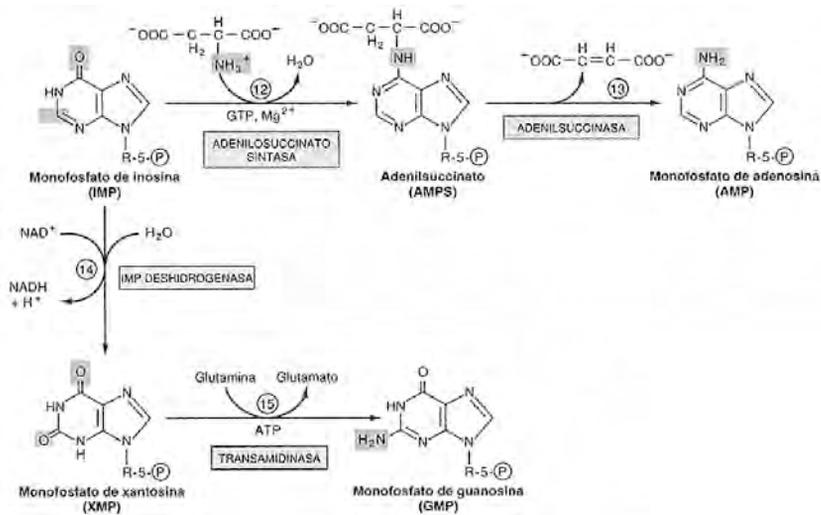


Figura 39. Fórmulas químicas de la conversión de IMP a AMP y GMP. (Murray *et al.*, 2004)

## Síntesis de nucleótidos de pirimidina

### Descripción del proceso bioquímico:

En este proceso, se sintetiza primero la base pirimídica llamada ácido orótico (Orotato) a partir de dióxido de carbono, ATP, glutamina y ácido aspártico. El orotato reacciona con 5 fosforribosil pirofosfato (PRPP) para formar el orotidilato que por descarboxilación se transforma a uridilato (UMP), este se fosforila para formar UDP, por una parte se convierte en UTP, que es el precursor de CTP y por otra parte se utiliza para la formación de TMP.

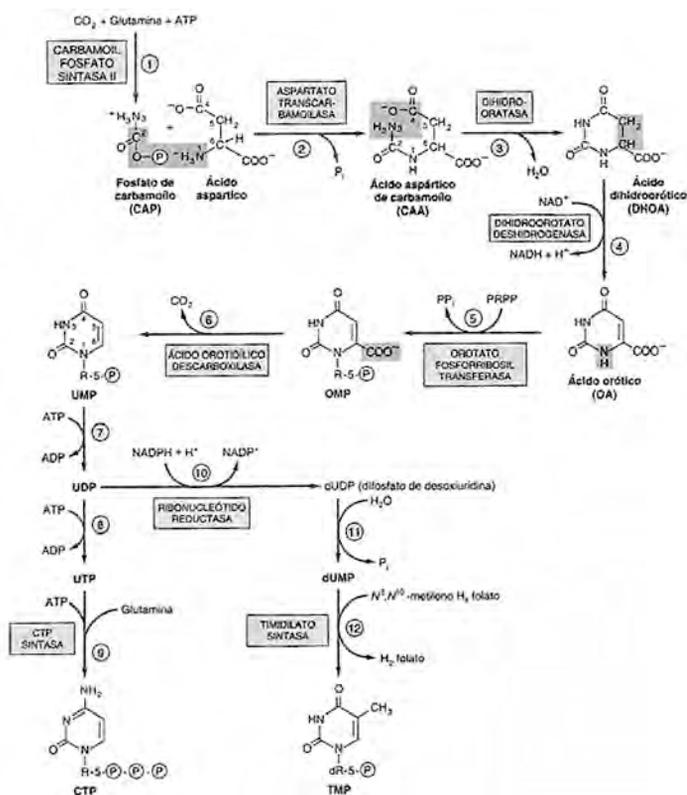


Figura 40. Fórmulas químicas de la síntesis de UTP, CTP y TMP (Murray *et al.*, 2004).



## Capítulo 8

### Aspectos generales sobre la integración y regulación del metabolismo

Adriana Caballero Roque. Daisy Escobar Castillejos

#### Interacciones celulares

La célula es considerada en conjunto como unidad estructural, en la que cada organelo subcelular lleva a cabo una o más funciones bioquímicas específicas, en concierto con las funciones de los demás organelos.

La división de los procesos del metabolismo por las diferentes biomoléculas (carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos nucleicos) se realiza sólo por necesidades de organización para presentar en forma didáctica al metabolismo celular.

La célula funciona de modo integral, con un complicado entrecruzamiento de vías metabólicas, cuyas reacciones individuales están catalizadas por enzimas y reguladas por una serie de mecanismo complejos, dentro de esta gran complejidad, sin embargo es posible distinguir algunos puntos de convergencia de las vías metabólicas, que llevan a vías finales (13).

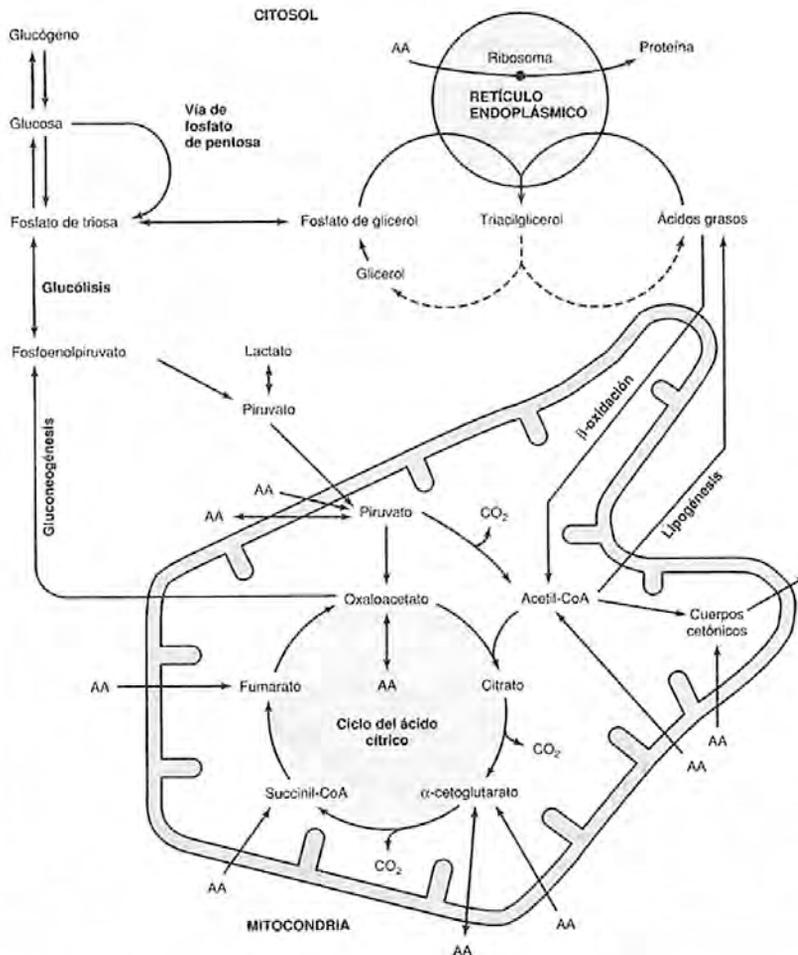


Figura 41. Interacciones celulares ( Murray *et al.*, 2004 ).

## Correlación de vías metabólicas

En el proceso de catabolismo, que da como resultado la producción de energía, los carbohidratos, lípidos y proteínas son convertidos en moléculas de acetil-CoA o en moléculas intermediarias del ciclo de Krebs, en donde sus carbonos son oxidados a CO<sub>2</sub> y se produce NADH o poder

reductor en general (electrones), que entran a la cadena respiratoria, la cuál acoplada con la fosforilación del ADP, permite que se capture la energía en forma de moléculas de ATP.

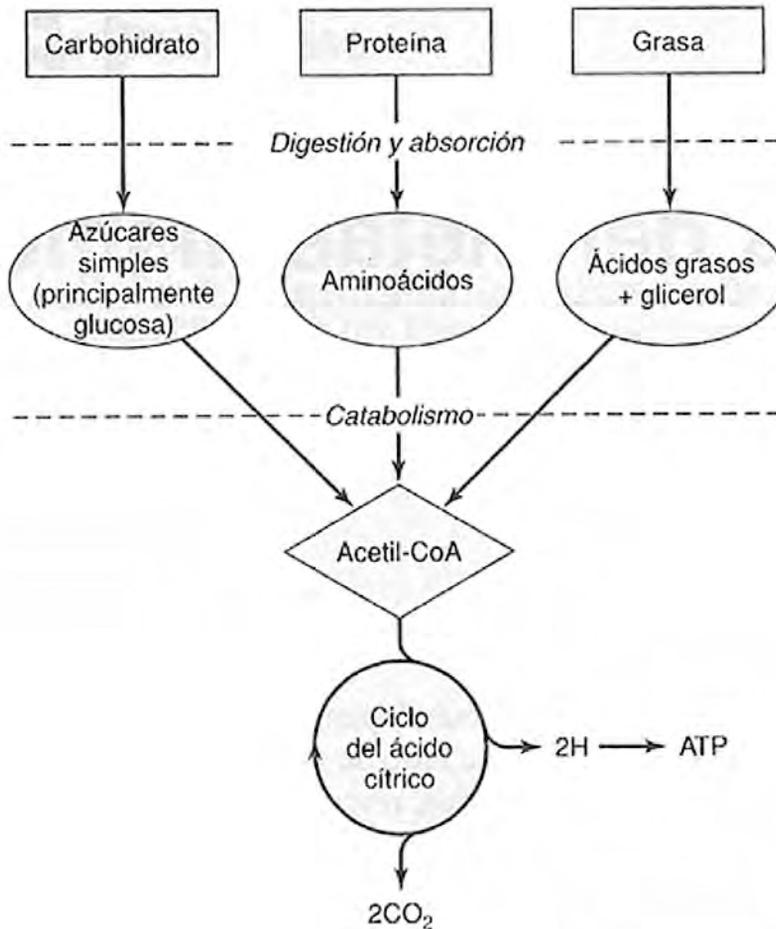


Figura 42. Descripción general de las vías del catabolismo (Murray *et al.*, 2004).

En los organismos multicelulares, como el hombre, existen mecanismos de comunicación intercelular que garantizan el funcionamiento orgánico e integrado del organismo completo, entre esos mecanismos fundamentales se encuentran el sistema endocrino, el sistema nervioso y el aparato circulatorio que además de las mismas hormonas que transporta, permite el intercambio de un sin número de moléculas entre los diferentes tejidos y órganos.

## Función de hormonas en el metabolismo

Una hormona es un compuesto químico orgánico formado en el interior de una glándula o de una célula, la función que desempeña en el metabolismo de un organismo es coordinar o regular las reacciones metabólicas. Las principales hormonas y su función en el metabolismo son:

*Insulina*: tiene efecto hipoglucemiante, aumenta la lipogénesis, la oxidación de la glucosa y la síntesis del glucógeno.

*Adrenalina*: tiene efecto hiperglucemiante, estimula la glucogenólisis.

*Glucagón*: acelera la glucogenólisis sólo en el músculo.

*Glucocorticoides*: estimula la gluconeogenesis, además tiene efecto hiperglucemiante.

*Tiroxina*: acelera la absorción intestinal de los azúcares, estimula todas las oxidaciones.

*Somatotrofina*: tiene efecto hiperglucemiante, inhibe la entrada de la glucosa a las células.

Por mecanismos de acoplamiento entre el impulso nervioso y una respuesta metabólica y fisiológica, el sistema nervioso parece jugar un papel regulador y de comunicación en la función de prácticamente todos los órganos, inclusive en la de las glándulas endócrinas (13).

## Función de vitaminas y minerales en el metabolismo

Las vitaminas y los minerales actúan como coenzimas o componentes de ellas en un gran número de reacciones enzimáticas.

Las principales vitaminas que participan en las reacciones metabólicas y sus funciones son:

*Tiamina (vit. B<sub>1</sub>)*: participa en la descarboxilación de  $\alpha$ -oxoácidos.

*Biotina (vit. B<sub>7</sub>)*: interviene en la transferencia de CO<sub>2</sub>.

*Ácido Pantoténico (vit. B<sub>5</sub>)*: se usa en la transferencia de grupos acilo.

*Piridoxina (vit. B<sub>6</sub>)*: se necesita en la transferencia de grupos amino.

*Riboflavina (vit. B<sub>2</sub>)*: se encuentra presente en las reacciones de óxido-reducción.

*Cobalamina (vit. B<sub>12</sub>)*: participa en el desplazamiento de hidrógenos.

*Ácido nicotínico (vit. B<sub>3</sub>)*: participa en las reacciones de óxido-reducción.

*Ácido ascórbico (vit. C)*: se usa como cofactor en reacciones de hidroxilación.

*Vitamina K*: se usa como cofactor en las reacciones de carboxilación.

*Vitamina D*: necesaria para la regulación del metabolismo del Ca<sup>2+</sup>

*Vitaminas A, E*: protegen a las membranas celulares.

Los principales minerales y sus funciones en el metabolismo son:

*Calcio (Ca)*: Participa en reacciones en la formación de factores de coagulación, conducción de la contracción muscular transmisión de impulso nervioso a células.

*Hierro (Fe)*: Se usa en la transportación de oxígeno y dióxido de carbono en la sangre, es cofactor de enzimas, es componente de los citocromos que participan en la cadena respiratoria.

*Fósforo (P)*: Es componente de muchos sistemas enzimáticos, constituyente del trifosfato de adenosina, ADN, ARN, y los fosfolípidos de las membranas celulares, participa en el equilibrio ácido-base. Forma parte de la estructura de huesos y dientes.

*Magnesio (Mg)*: Es cofactor de más de 300 enzimas, participa en la activación del ATP, contribuye a la síntesis de ADN y ARN durante la proliferación celular, participa en la liberación de la insulina del páncreas y la acción final de la hormona en las células.

*Sodio (Na)*: participa en la creación de la carga de potencial eléctrico para la contracción muscular y el impulso nervioso. Regula el líquido intra y extra celular, contribuye a conservar el agua en el cuerpo.

*Potasio (K)*: participa en la creación de la carga de potencial eléctrico para la contracción del músculo liso, esquelético y cardíaco.

blanco. Forma parte de la estructura de huesos y dientes.

*Yodo (I)*: es componente de hormonas tiroideas.

*Zinc (Zn)*: es cofactor o componente de más de 200 enzimas que intervienen en la síntesis de ADN y ARN, tiene función inmunitaria, ayuda a la estabilización de proteínas en membranas celulares, hormonas y factores genéticos de transcripción.

*Manganeso (Mn)*: participa en la activación de sistemas enzimáticos.

*Molibdeno (Mo)*: es cofactor de diversas enzimas.

*Cromo (Cr)*: participa en la conservación de la captación de glucosa por las células.

*Cobre (Cu)*: es cofactor de enzimas oxidasas que participan como antioxidantes en la síntesis de colágena, hemoglobina, tejido conjuntivo, formación de huesos.

*Selenio (Se)*: es constituyente de metaloenzimas, integra enzimas de sistemas antioxidantes, de la síntesis de hormonas tiroideas.

*Boro (B)*: interviene en el metabolismo de los nutrientes.

*Flúor (F)*: forma parte de la estructura de huesos y dientes.

*Cobalto (Co)*: es parte esencial de la vitamina B12 (cianocobalamina).

Las vitaminas y los minerales usados en las reacciones metabólicas tienen carácter de esenciales ya que deben ser ingeridas con la alimentación, ya que no se pueden sintetizar en el organismo.

## El agua: molécula importante en el metabolismo

El agua es el disolvente universal, en el que se pueden disolver una gran cantidad de compuestos moleculares, compuestos iónicos, sales, entre otros, aunque existen algunos compuestos que son insolubles en agua.

El agua representa casi el 70% del cuerpo humano y está implicada en muchas funciones del metabolismo, digestión, absorción, transporte, secreción, excreción, reproducción, lubricación de articulaciones, regulación de temperatura y reacciones bioquímicas que ocurren en el organismo. El agua no se considera un nutrimento, debido a que no tiene un valor energético, este compuesto no sufre cambios químicos durante su utilización biológica. Muchas de las macromoléculas con

interés bioquímico, como las proteínas, las enzimas y ácidos nucleicos se vuelven activas al interactuar con el agua y adquirir sus correspondientes estructuras secundarias, terciarias, etc. (12).



## Capítulo 9

### Conceptos generales sobre macro nutrientes y dietética

L. Elena Flores Guillén. Alfredo Pérez Jácome

**A** partir de los alimentos que se ingieren en la dieta, se obtienen los diferentes compuestos químicos llamados macro nutrientes, que el ser humano utiliza en la nutrición para cumplir las funciones vitales. Los más importantes son los siguientes:

#### Carbohidratos

Llamados también hidratos de carbono, son compuestos orgánicos que constituyen la fuente predominante de energía para la población, especialmente en forma de granos de cereales y tubérculos.

#### Funciones

Los carbohidratos desempeñan varias funciones importantes desde el punto de vista nutricional. En primer término son fuentes de energía, aportando el mayor porcentaje de ésta en las dietas. Las reservas de glucógeno que se acumulan en el hígado y el músculo constituyen una fuente de energía metabólica que responde inmediatamente a las necesidades de los diversos tejidos del organismo.

Existen otros atributos asociados a los carbohidratos en la dieta. La sacarosa y en grado menor la fructuosa y la glucosa que confieren sabor dulce a los alimentos; Los almidones y las pectinas le confieren textura, tanto en forma natural como procesada.

### Requerimientos y recomendaciones nutricionales

El porcentaje de calorías proveniente de los carbohidratos en una dieta normal oscila entre 55 y 60%. Existen otras recomendaciones dietéticas como la del INCAP para el consumo de carbohidratos que es de 60 -70% de la energía total, esto equivale a 300 – 350 gramos diarios de carbohidratos para una persona que ingiere 2,000 Kcal/día (22, 23).

### Fuentes alimentarias

Las fuentes de carbohidratos simples son la sacarosa y la glucosa, que tienen gran importancia en la industria alimentaria, principalmente como dulces y caramelos, bebidas azucaradas y repostería y se considera que tiene un efecto negativo en la salud.

Las principales fuentes de carbohidratos complejos (almidones) son los cereales tales como: maíz, trigo, arroz, centeno, cebada y mijo y las raíces y tubérculos como la papa y la yuca. Los disacáridos provienen principalmente de las frutas, la caña de azúcar, la remolacha y la leche.

La fibra alimentaria está formada por polisacáridos complejos y otros compuestos orgánicos que no son digeribles en el intestino delgado humano, se considera que la dieta de un adulto joven debe de contener por lo menos 20 gramos diarios de fibra alimentaria, esto se logra incorporando a la dieta cereales integrales, frutas, vegetales de hoja y aun fuentes más concentradas tales como el salvado de trigo y el de avena en hojuelas (8, 17).

### Lípidos

Los lípidos tienen como característica general ser insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos, los lípidos de gran importancia nutri-

cional son los triglicéridos abundantes en muchos productos animales y vegetales. Los triglicéridos sólidos a temperatura ambiente moderada predominan en el reino animal, los que son líquidos a esta temperatura se les reconoce como aceites y predominan en el reino vegetal.

### Funciones

Las grasas y aceites cumplen una función importante como fuente concentrada de energía, es el nutrimento que aporta la mayor cantidad de calorías por gramo, además sirven de vehículo para la absorción, transporte y almacenamiento de vitaminas liposolubles.

En el contexto alimentario, estos compuestos confieren a los alimentos una textura y sabor especiales que los vuelve más apetecibles, y dan una sensación de saciedad a quienes lo ingieren.

### Requerimientos y recomendaciones nutricionales

En términos de aporte energético, se considera recomendable que entre el 25 y 30% del valor calórico total de la dieta provenga de los lípidos. Las cantidades mínimas aceptables se han estipulado en 20% del valor energético total de la dieta en sujetos mayores de 5 años.

Se recomienda que los ácidos grasos saturados no sobrepasen 10% de la energía total alimentaria diaria debido a la asociación con enfermedades cardiovasculares y que la ingestión de ácidos grasos poliinsaturados se limite de 7 a 10% de la energía total, pues su exceso está asociado con un incremento de reacciones de peroxidación (22, 23).

### Fuentes alimentarias

Entre las fuentes principales de grasa de origen animal están las carnes de cordero, cerdo, res, pescados ricos en aceite, leche bronca y sobre todo la manteca de cerdo y la mantequilla.

Las grasas de origen vegetal que en su mayoría son aceites, son más recomendables para el consumo humano, debido a su fácil digestibilidad y el superior contenido de ácidos grasos esenciales, las fuentes

principales son el aguacate, las aceitunas, las nueces y la semilla de maíz, algodón y soya con los cuales se elaboran los aceites para cocinar. El aceite de soya es fuente de ácido alfa-linoléico (8, 18).

## Proteínas

Las proteínas son el componente fundamental de todos los órganos y tejidos, tienen una gran importancia nutricional ya que constituyen más del 50% de las células vivas de su peso en seco. Están estructurados por aminoácidos que se clasifican en esenciales y no esenciales.

Los aminoácidos esenciales son aquellos que no puede sintetizar el organismo o la velocidad de su síntesis es muy lenta y que deben ser proporcionados por la dieta.

Los aminoácidos no esenciales pueden ser sintetizados por el organismo a partir de residuos de carbohidratos y nitrógeno orgánico y además provienen de la dieta.

## Funciones

Siendo constituyentes esenciales de todas las células, las proteínas cumplen una serie de funciones plásticas (formadoras, constructoras) y protectoras. Provee los materiales necesarios para la construcción y renovación de las proteínas celulares, se emplean para elaborar nuevos tejidos por lo que aumentan las necesidades en periodos de crecimiento rápido (edad fetal, infancia y adolescencia)

## Clasificación de los aminoácidos

ESENCIALES	NO ESENCIALES
<p>Tirosina Valina Leucina Isoleucina Fenilalanina Triptófano Metionina Lisina Histidina</p>	<p>Glicina Alanina Serina Prolina Hidroxiprolina Tirosina Cisteína Cistina Arginina Asparagina Ácido Aspártico Ácido glutámico Glutamina</p>

### Requerimientos y recomendaciones

Los requerimientos de las proteínas se entienden en función de las necesidades fisiológicas de nitrógeno y de las cantidades y proporciones de los aminoácidos esenciales necesarios para asegurar la síntesis proteica.

Los requerimientos varían con la edad cuando se expresan por kilogramo de peso corporal, desde muy altos para los niños en etapa de crecimiento, hasta un requerimiento bajo para mantenimiento en las siguientes etapas. En el adulto el requerimiento es exclusivamente de mantenimiento. En el embarazo se agrega de nuevo un requerimiento para crecimiento (desarrollo del feto y de la placenta principalmente) y en la lactancia se requieren proteínas adicionales para la producción de la leche materna (22, 23).

### Fuentes alimentarias

Las mejores fuentes de proteínas son los alimentos de origen animal tales como la leche y sus derivados la carne de res, cerdo y aves de corral, los huevos y el pescado. Las proteínas de estos alimentos son de alta calidad nutricional. los alimentos de origen vegetal, tales

como los cereales y las leguminosas son cuantitativamente los que más contribuyen a la ingestión proteínica. La calidad nutricional de éstas es muy inferior cuando se consumen como fuente exclusiva de proteínas.

Es muy importante hacer notar que afortunadamente los cereales a menudo van acompañados de leguminosas y aunque no siempre se combinan en la proporción deseable, se produce cierto grado de complementación de aminoácidos. Las frutas y verduras también contribuyen con algunos aminoácidos en las dietas mixtas (8,16).

## Bibliografía

- Bohinsky, Robert, 1991, *Bioquímica*, Editorial Addison Wesley, 5ª edición, Iberoamericana. E.U.
- Burton, D.J. y Routh J.L., 1977, *Química Orgánica y Bioquímica*, primera edición, McGraw-Hill, s. l.
- Copeland, Robert A., 2000, *Enzymes. A Practical Introduction to Structure, Mechanism and Data Analysis*, 2a. edición, Wiley-VCH, E.U.
- Escott- Stump S., 2005, *Nutrición, diagnóstico y tratamiento*, Editorial McGraw Hill, 5ª edición, s.l.
- Garrett, Reginald H., Grishman, Charles M., 1999, *Biochemistry*, Editorial Saunders College Publishing and Harcourt Brace College publishers, 2a. edition, E.U.
- Herrera, Emilio, 1996, *Bioquímica. Aspectos estructurales y vías metabólicas*, Volumen I, editorial McGraw Hill Interamericana, España.
- Horton H., Robert, 1995, *Bioquímica*, editorial Prentice Hall Hispanoamericana S.A., México.
- INCAP, OPS., 1995, *Nutrición básica*, Guatemala.

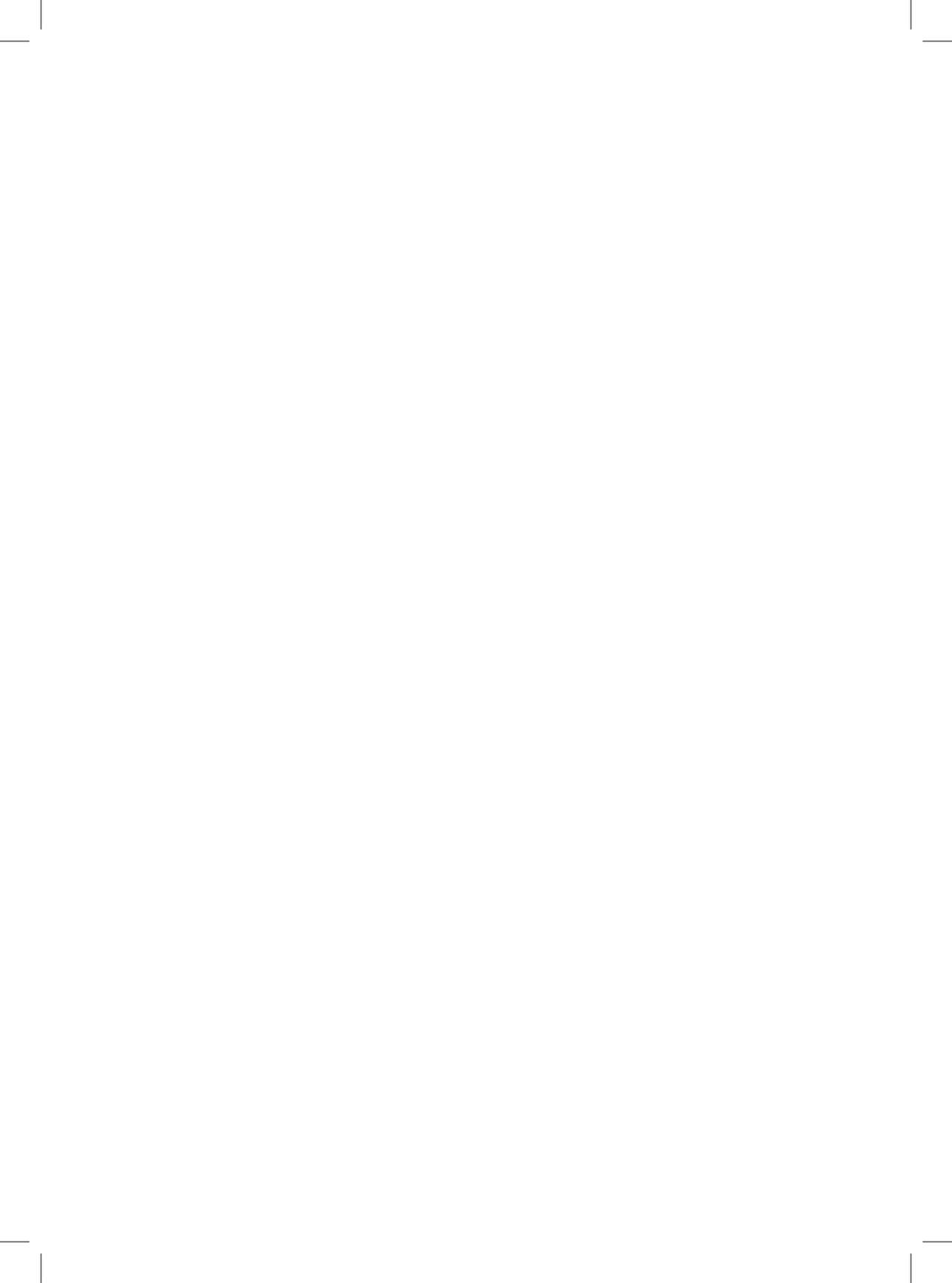
- Karp, Gerald, 1998, *Biología celular y molecular*, editorial McGrawHill Interamericana. México.
- Mathews, Christopher K., 2000, *Bioquímica*, 2ª edición, Editorial McGraw Hill Interamericana, España.
- Melo R. Virginia, Cuamatzi T. Oscar, 2004, *Bioquímica de los procesos metabólicos*, Reverté ediciones, México.
- Mendoza E. Calvo M., 2010, *Bromatología. Composición y propiedades de los alimentos*, editorial McGraw Hill, s.l.
- Montgomery, Rex Conway, Thomás W. Spector, Arthur A., 1999, *Bioquímica. Casos y texto*, 6ª edición, Editorial Harcourt Brace, España.
- Morrison, James D., 1979, *Organic Chemistry*, Editorial Wadsworth Publishing Company, E.U.
- Murray, Robert, Granner Daryl, Mayes Peter, Rodwell V., 2004, *Harper Bioquímica ilustrada*, Editorial Manual Moderno, México.
- Organización Mundial de la Salud, 1985, *Necesidades de energía y proteínas*, Ginebra.
- ONU, 1995, *Los carbohidratos en la nutrición humana*, Roma FAO.
- ONU, 1995, *Las grasas y los aceites en la nutrición humana*, Roma FAO.
- Peña A., Arroyo A., Gómez A., Tapia R., 1996, *Bioquímica*, Editorial Limusa, México.
- Roach, Jason O'Neale, 2004, *Lo esencial en metabolismo y nutrición*, 2ª edición, Editorial Elsevier, s.l.

Rojas Garcidueñas Manuel, 1996, *Fisiología vegetal aplicada*, 4ª edición, Editorial Interamericana Mc Graw Hill, México.

Torun, B.M., T. Menchú y L. G. Elías, 1996, *Recomendaciones dietéticas diarias del INCAP*, Guatemala INCAP/OPS.

UNU, 1989, *Metas nutricionales y guías de alimentación para América Latina*, Caracas Venezuela.

Voet Donald, Voet Judith G., 1992, *Bioquímica*, Ediciones Omega, México.



## Apéndice

### Valores de referencia más frecuentes para pruebas de laboratorio (en orden alfabético)

Los valores presentados pueden variar de acuerdo a los diferentes métodos y procedimientos utilizados en los laboratorios de análisis bioquímicos (Escott-Stump, 2005).

Valores séricos normales	
Ácido úrico	4.0-9.0mg/dl
Bicarbonato	22-28 mmol/L
Bilirrubina total	0.15-1.0 mg/dl
Calcio	9-11 mg/dl
Cinc	0.75-1.4 mg/ml
Creatinina	0.7-1.4 mg/dl
Fósforo	2.5- 4 mg/dl
Glucosa en ayunas	70-110 mg/dl
linfocitos	Más de 1500/mm <sup>3</sup>
Lipasa	Menos de 1.5 unidades
Lípidos: séricos total	450-850 mg/dl
Lípidos: ácidos grasos totales	190-240 mg/dl
Lípidos: colesterol	120-210 mg/dl
Lípidos: triglicéridos	Menos de 160 mg/dl
Magnesio	1.8-3 mg/dl
PH, arterial, plasma	7.36-7.44

Potasio, suero	3.5- 5.5 mmol/L
Proteínas séricas: total	6-8 g/dl
Proteínas: albúmina	3.5-5 g/dl
Proteínas: globulina	1.5-3 g/dl
Proteína C-reactiva (PCR)	0
Sodio, suero	136-145 mmol/L
<b>Valores de células sanguíneas</b>	
Cuenta de eritrocitos	4.5-6.2 millones/mm <sup>3</sup> (hombres) 4.2-5.4 millones/mm <sup>3</sup> (mujeres)
Ferritina	20-300 mg/ml (hombres) 20-120 mg/ml (mujeres)
Folato	2-20mg/ml
Glóbulos blancos	4 800-11 800 /mm <sup>3</sup>
Hematócrito	40-54% (hombres) 37-47% (mujeres)
Hemoglobina	14-17 g/dl (hombres) 12-15 g/dl (mujeres)
Hierro	75-175 mg/dl (hombres) 65-165 mg/dl (mujeres)
<b>Valores normales en orina</b>	
Acetona	0
Amoníaco	20-70 meq/L
Azúcar	0
Estrógenos	4-25 mg/24 horas ( hombres) 4-60 mg/24 horas(mujeres)
Gravedad específica	1.003-1.030
Nitrógeno en urea	2-20 g / 24 horas
Oxalato	20-60 mg/24 horas
Ph	4.6-8

## Ficha biográfica de autora y colaboradores

### Adriana Caballero Roque

Ingeniera Bioquímica, Maestra en Alimentación y Nutrición, Doctora en Ciencias en Desarrollo Sustentable. Profesora de tiempo completo de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Miembro del cuerpo académico Seguridad Alimentaria y Nutricional.

### Patricia Iveth Meza Gordillo

Licenciada en Nutrición, Maestra en Ciencias de los Alimentos. Profesora de tiempo completo de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Miembro del cuerpo académico Seguridad Alimentaria y Nutricional.

### Erika Judith López Zuñiga

Licenciada en Nutrición, Maestra en Alimentación y Nutrición. Profesora de tiempo completo de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Miembro del cuerpo académico Seguridad Alimentaria y Nutricional.

### Gilber Vela Gutiérrez

Ingeniero Bioquímico. Maestro en Ciencias en Ingeniería Bioquímica. Profesor de tiempo completo de la Facultad de Ciencias de la Nutrición

y alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Miembro del cuerpo académico Seguridad Alimentaria y Nutricional.

### **Leónides Elena Flores Guillén**

Licenciada en Nutrición, Maestra en Alimentación y Nutrición. Profesora de tiempo completo de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Miembro del cuerpo académico Seguridad Alimentaria y Nutricional.

### **Alfredo Pérez Jácome**

Médico. Especialidad en medicina familiar. Profesor de tiempo completo de la Facultad de Ciencias de la Nutrición y Alimentos de la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Miembro del cuerpo académico Seguridad Alimentaria y Nutricional.

### **Daisy Escobar Castillejos**

Ingeniera Bioquímica, Maestra en Ciencias en Ingeniería Bioquímica, Doctora en Ciencias en Desarrollo Sustentable. Profesora de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas. Miembro del cuerpo académico Hidrología.

## *Rectoría*

Ing. Roberto Domínguez Castellanos  
RECTOR

Mtro. José Francisco Nigenda Pérez  
SECRETARIO GENERAL

C.P. Miriam Matilde Solís Domínguez  
AUDITORA GENERAL

Lic. Adolfo Guerra Talayero  
ABOGADO GENERAL

Mtro. Pascual Ramos García  
DIRECTOR DE PLANEACIÓN

Mtro. Florentino Pérez Pérez  
DIRECTOR ACADÉMICO

Lic. María de los Ángeles Vázquez Amancha  
ENCARGADA DE LA DIRECCIÓN DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Dr. Eduardo E. Espinosa Medinilla  
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Lic. Ricardo Cruz González  
DIRECTOR DE ADMINISTRACIÓN

L.R.P. Aurora Evangelina Serrano Roblero  
DIRECTORA DE SERVICIOS ESCOLARES

Mtra. Brenda María Villarreal Antelo  
DIRECTORA DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES

Lic. Noé Fernando Gutiérrez González  
DIRECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

## *Dependencias de Educación Superior*

Mtro. Jesús Manuel Grajales Romero  
DIRECTOR DE OFERTA EDUCATIVA REGIONALIZADA

Mtra. Érika Judith López Zúñiga  
DIRECTORA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA NUTRICIÓN Y ALIMENTOS

Dr. Ernesto Velázquez Velázquez  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS

C.D. Jaime Raúl Zebadúa Picone  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ODONTOLÓGICAS Y SALUD PÚBLICA

Mtro. Martín de Jesús Ovalle Sosa  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS

Ing. Francisco Félix Domínguez Salazar  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Antrop. Julio Alberto Pimentel Tort  
DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIO SUPERIORES EN ARTES

Dr. Alain Basail Rodríguez  
DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MÉXICO Y CENTROAMÉRICA (CESMECA)

Dra. Silvia Guadalupe Ramos Hernández  
DIRECTORA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Lic. Diego Martín Gámez Espinosa  
COORDINADOR DEL CENTRO DE LENGUAS

Dr. Alejandro Nettel Hernanz  
RESPONSABLE DEL CAMPUS DEL MAR





## Principios básicos sobre biomoléculas y vías metabólicas

Se terminó de imprimir en el mes de abril de 2012, con un tiraje de 500 ejemplares, en los Talleres de Ediciones de la Noche, Madero núm. 687, 44100, Guadalajara, Jalisco. Teléfono: 33-3825-1301. El diseño tipográfico estuvo a cargo de Víctor Miguel Sosa Aguilar y el cuidado de la edición de la Oficina Editorial de la UNICACH, durante el rectorado del Ing. Roberto Domínguez Castellanos.