



ESCUELA DE CIENCIAS DE LA SALUD

ASIGNATURA: Bioquímica Agroindustrial

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA REMINGTON
DIRECCIÓN PEDAGÓGICA

Este material es propiedad de la Corporación Universitaria Remington (CUR), para los estudiantes de la CUR en todo el país.

2011

CRÉDITOS



El módulo de estudio de la asignatura Bioquímica Agroindustrial es propiedad de la Corporación Universitaria Remington. Las imágenes fueron tomadas de diferentes fuentes que se relacionan en los derechos de autor y las citas en la bibliografía. El contenido del módulo está protegido por las leyes de derechos de autor que rigen al país.

Este material tiene fines educativos y no puede usarse con propósitos económicos o comerciales.

AUTOR

Diana Lucía Toro Arango

Ingeniera Agroindustrial, Especialista en Gestión de la Innovación Tecnológica.
veterinaria.agroindustrial@remington.edu.co

Nota: el autor certificó (de manera verbal o escrita) No haber incurrido en fraude científico, plagio o vicios de autoría; en caso contrario eximió de toda responsabilidad a la Corporación Universitaria Remington, y se declaró como el único responsable.

RESPONSABLES

ESCUELA DE CIENCIAS DE LA SALUD

Director Arcadio Maya Elejalde

AGROINDUSTRIAL

Decano Dr. Ignacio Ramos Jaramillo
Vicedecana Dra. Diana Lucía Toro

Director Pedagógico

Octavio Toro Chica
dirpedagogica.director@remington.edu.co

Coordinadora de Medios y Mediaciones

Angélica Ricaurte Avendaño
mediaciones.coordinador01@remington.edu.co

GRUPO DE APOYO

Personal de la Unidad de Medios y Mediaciones

EDICIÓN Y MONTAJE

Primera versión. Febrero de 2011.

Derechos Reservados



Esta obra es publicada bajo la licencia Creative Commons. Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 2.5 Colombia.

TABLA DE CONTENIDO

1. PRESENTACIÓN.....	8
2. MAPA DE LA ASIGNATURA.....	10
3. LA BIOQUÍMICA PARA LA AGROINDUSTRIA Y SU CONCEPTOS BÁSICOS	12
3.1. La Bioquímica y La Agroindustria	13
3.1.1. La estrategia de los PAI	14
3.1.2. Los PAI constituyen las materias elaboradas con características definidas.....	14
3.2. Fundamentos definiciones y conceptos.....	18
3.2.1. La bioquímica es una ciencia moderna	19
3.2.2. Los elementos químicos de la vida.....	22
3.2.3. El mundo vivo	25
3.3. Biomoléculas	30
3.3.1. Energía.....	41
3.3.2. Metabolismo	42
4. PROTEÍNAS, CARBOHIDRATOS Y LÍPIDOS.....	46
4.1. Proteínas	47
4.2. Asociaciones supramoleculares de las proteínas.....	49
4.2.1. Desnaturalización	50
4.2.2. Diversidad funcional de las proteínas	51
4.3. Anticuerpos y respuesta inmune; especificidad de especie de las proteínas.....	55
4.4. Isomería secuencial en las cadenas polipeptídica.....	56
4.4.1. Codificación genética de las secuencias aminoácidas de las proteínas	57
4.5. Carbohidratos.....	61
4.6. Lípidos	75
4.6.1. Clasificación de los lípidos.....	76
4.7. Ácidos grasos.....	77
4.7.1. Ácidos grasos esenciales	78
4.8. Triacilglicéridos (Triglicéridos).....	79

4.8.1. Propiedades de los triacilglicéridos.....	80
4.9. Terpenos.....	81
4.10. Esteroides.....	83
4.11. Prostaglandinas.....	84
4.12. Sistemas lipoproteicos	85
5. ENZIMAS METABOLISMO Y FOTOSÍNTESIS.....	89
5.1. Enzimas y vitaminas	90
5.1.1. Propiedades de las enzimas	90
5.1.2. Las seis clases de enzimas	92
5.2. Vitaminas.....	97
5.2.1. Vitaminas lipídicas.....	99
5.3. Metabolismo y Fotosíntesis	102
5.3.1. El Metabolismo en los mamíferos.....	102
6. BIOQUÍMICA AGROINDUSTRIAL ANIMAL Y VEGETAL	114
6.1. Bioquímica en productos de origen animal	115
6.1.1. Proteínas	115
6.2. Proteínas animales	120
6.2.2. Proteínas de los microorganismos	122
6.2.3. Extracción de los polisacáridos insolubles	125
6.2.4. Extractos de polisacáridos solubilizables	125
6.2.5. Aceites y grasas vegetales.....	127
6.2.6. Sector lácteo.....	128
6.2.7. Ovoproductos.....	130
6.3. Bibliografía	137

1. PRESENTACIÓN

El módulo de Introducción a la Tecnología Agroindustrial, tiene su origen en la necesidad de enseñar a los estudiantes las razones científicas y tecnológicas de los métodos por los cuales se dan las distintas síntesis en las transformaciones agroindustriales desde lo más simple como es la separación de la proteína de la leche, que como comúnmente se conoce por medio del uso del “cuajo” hasta procesos más complejos como la extracción de proteínas vegetales y purificación de estas.

Con este módulo se pretende concretar la aplicación de los contenidos aprendidos en el curso de química orgánica, biología y química general, con el fin de buscarles la mejor utilidad a todos los conceptos y su razón de ser.

El alcance que se le dio a este módulo trata de abarcar los temas más relevantes de la bioquímica, con el fin de buscar su aplicación en la agroindustria, temas más específicos deberán ser tratados por los estudiantes en el transcurso de su profesión, la idea principal de módulo es dar unos contenidos básicos y concretos que le permitan al estudiante, tener herramientas para construir e investigar conceptos más profundos, respecto a los usos de materias primas y productos intermedios de origen vegetal y animal.

El Tecnólogo agroindustrial se ocupa de procesos en los que ocurren transformaciones bioquímicas, como la desnaturalización de proteínas en la leche, la obtención de proteínas como la de soya, la caramelización en los dulces de leche, la cocción, maduración y asado de carnes. Entre muchas otras en las cuales es un actor de las reacciones que le favorecen su proceso de transformación para el beneficio económico y productivo de su empresa y de la sociedad.

Es por esto necesario que conozca las principales biomoléculas que conforman las materias primas agroindustriales, su nomenclatura, estructura, propiedades químicas, reacciones de síntesis, procesos de asimilación, transporte, la interacción de estos en los procesos metabólicos y fotosintéticos, su capacidad de transformación, propiedades tecnológicas y fenómenos que puedan alterar dichas sustancias durante los procesos de transformación, conservación y almacenamiento.

Para esto en el siguiente módulo al inicio podrá encontrar varias de las razones, por las cuales se han creado los llamados productos alimentarios intermedios o PAI para hacer más eficientes los procesos de producción al explotar al máximo todas las propiedades y características de ellos y hacer un mejor y eficiente uso de los recursos y materias primas.

Posteriormente podrá estudiar las principales biomoléculas como lo son las proteínas, carbohidratos, lípidos, enzimas, vitaminas y posteriormente algunos de los principios del metabolismo en los mamíferos y en la fotosíntesis.

Finalmente encontrará algunas aplicaciones de los conceptos antes vistos aplicados a temas específicos de la agroindustria alimentaria.

2. MAPA DE LA ASIGNATURA

BIOQUÍMICA AGROINDUSTRIAL



PRÓPOSITO GENERAL DEL MÓDULO

- ▶ Proporcionar una formación adecuada en los aspectos básicos de la Bioquímica como son:
- ▶ La importancia de la Bioquímica para la agroindustria y sus conceptos más básicos.
- ▶ La estructura y función de las biomoléculas que componen los seres vivos (proteínas, lípidos, carbohidratos, enzimas, vitaminas)
- ▶ Las funciones que se pueden generar durante el proceso del metabolismo y la fotosíntesis
- ▶ La aplicación de la bioquímica a temas como los lácteos, las grasas y aceites, las proteínas animales y vegetales y los ovoproductos.



OBJETIVO GENERAL DEL MODULO

- ▶ Conocer las características, propiedades, extracción y análisis de los principales compuestos bioorgánicos; analizando su relación con los principales procesos de transformación de materias primas, y de alimentos de origen vegetal o animal, los fenómenos de deterioro y tendrá las herramientas básicas para el estudio de los métodos utilizados para la conservación de las mismas y de sus productos.



OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Presentar un panorama general de los biocompuestos, con énfasis en las relaciones existentes entre su estructura su origen y su comportamiento en los procesos metabólicos.
- ▶ Adquirir la conceptualización de los procesos bioquímicos de los carbohidratos, los lípidos, las proteínas y sus funciones, atributos e interacción con los alimentos, tanto a nivel vegetal como animal.
- ▶ Analizar la relación de los componentes bioquímicos con los procesos de metabolismo del ser humanos, los animales y en las plantas por medio del estudio de la fotosíntesis.
- ▶ Asociar los conceptos aprendidos en las unidades anteriores con los procesos de algunas industrias agroalimentarias.

UNIDADES

Unidad 1

Capacidad para recordar las relaciones existentes entre los biocompuestos y las estructuras y los procesos metabólicos

Unidad 2

Capacidad de reconocer las funciones y procesos metabólicos de los lípidos proteínas y carbohidratos

Unidad 3

Capacidad de describir las rutas metabólicas y fotosintéticas.

Unidad 4

Capacidad de aplicar los conceptos a las agroindustria.

3. LA BIOQUÍMICA PARA LA AGROINDUSTRIA Y SU CONCEPTOS BÁSICOS

OBJETIVO GENERAL

Presentar un panorama general de los biocompuestos, con énfasis en las relaciones existentes entre su estructura su origen y su comportamiento en los procesos metabólicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Informar sobre la importancia que tiene la bioquímica para la agroindustria y para el procesamiento de productos de carácter intermedio.
- ▶ Clarificar algunos términos y conocer los orígenes de la bioquímica y sus biomoléculas en toda la cadena de la vida.

Prueba Inicial

- ▶ Describa para usted porque es necesario el estudio de la bioquímica en la agroindustria.
- ▶ Qué cree usted que significa PAI y para qué sirve.
- ▶ Consulte la historia de la bioquímica y los desarrollos realizados por Friedrich wöhler, Eduard Buchner, Emil Fischer.
- ▶ Consulte qué es la bioinformática y para que se usa.
- ▶ Consultar las partes de la célula animal y vegetal y las funciones de cada una de sus organelas.

3.1. La Bioquímica y La Agroindustria

Informar sobre la importancia que tiene la bioquímica para la agroindustria y para el procesamiento de productos de carácter intermedio.

«Se ha dado el nombre de alimentos plásticos a la albúmina, a la fibrina y a la caseína vegetal, así como a la caseína y a la fibrina animales, por la razón de que estas sustancias son las únicas, de entre las que suministran el reino vegetal y el reino animal, que pueden producir, en la nutrición, las partes esenciales de la sangre y de los órganos de los animales¹».

El fraccionamiento de los productos agrícolas y la sustitución de un constituyente bioquímico de origen animal por un constituyente de origen vegetal son inquietudes muy antiguas pero que han permanecido durante mucho tiempo como patrimonio de algunos pioneros.

En nuestros días, para atender el conjunto de las necesidades de salud, de servicio, de higiene y de placer del consumidor, el sector agroalimentario ha salido de los esquemas convencionales de la tecnología alimentaria. Y es así como la industria agroalimentaria conoce en este fin del siglo XX una revolución comparable a la vivida anteriormente por otros sectores industriales.

Esquemáticamente, una industria llamada de primera transformación pone en el mercado productos denominados intermediarios que servirán de materias primas, de ingredientes para la industria de segunda transformación que elabora alimentos.

A partir de los productos agrícolas, aplicando técnicas y procedimientos basados en las características fisicoquímicas de sus constituyentes, esta industria de primera transformación aísla las fracciones para hacer de ellas ingredientes o productos alimentarios intermediarios (PAI) con cualidades nutricionales y funcionales bien definidas y específicas en su utilización. Además esta industria no sólo extrae los constituyentes bioquímicos principales sino que tiene igualmente la capacidad de elaborar agentes de textura edulcorantes, colorantes, aromas, etc. En la elaboración de los productos acabados, los PAI se han convertido en las piezas destacadas de las Industrias agroalimentarias. Incluso la restauración colectiva se ha convertido en una cocina de ensambladura de estos ingredientes.

Las ventajas de una revolución así en la logística de las industrias agroalimentarias, están ligadas a las necesidades de fabricar y de poner en el mercado productos de calidad constante (en el

¹ JUSTOS LIEBIG Nuevas cartas sobre la química Ed. Victor Masson, 1852, p. 116

tiempo y en el espacio), elaborables en los lugares de consumo o en el curso del transporte evitando la mayor parte de los problemas de conservación de los productos acabados (platos cocinados, semiconservas, entre otros).

En el marco de la nueva colección «Industrias Alimentarias y Biológicas», el fin de esta obra es el de desarrollar bajo una forma condensada las dos vertientes de esta actividad industrial:

Fabricación y propiedades y funcionales de los productos alimentarios intermediarios.

Extracción y modificación de biomoléculas.

3.1.1. La estrategia de los PAI

Las industrias agroalimentarias han iniciado estos últimos años una profunda mutación. Para responder a las demandas cada vez más diversificadas y a las exigencias cada vez más precisas de los consumidores, las industrias agroalimentarias deben hacer gala de una gran capacidad de innovación. Los productos alimentarios deben hoy en día presentar una garantía higiénica sin fallos, satisfacer las necesidades nutricionales y sensoriales y aportar cada vez más servicios para responder a las necesidades creadas por la evolución del modo de vida; es decir, satisfacer la ineludible regla de las 4 S: salud, sabor, seguridad y servicio.

Si el alimento tradicional es el resultado de las transformaciones de una materia prima agrícola (pan, vino, queso, cerveza, carne, etc.), es otro el caso de los productos nuevos que son el resultado de un ensamblaje de diversos ingredientes. Se ha asistido estos últimos años al nacimiento de una industria de primera transformación en el campo de los glúcidos, lípidos, proteínas, colorantes, aromas, etc., cuya vocación es suministrar los ingredientes, productos alimentarios intermediarios (PAI), a las industrias de segunda transformación.

El suministrador de PAI juega un papel de intermediario entre el industrial agroalimentario y su vertiente agrícola. Las consecuencias son importantes tanto en el plano cultural como en el económico. A través de un vuelco tal en su relación con la materia prima, el sector alimentario accede a modos de organización verdaderamente industriales. Los industriales discuten con otros industriales en un lenguaje común. Pero la evolución es también técnica. Los ingredientes no aportan a una receta nada más que su funcionalidad.

3.1.2. Los PAI constituyen las materias elaboradas con características definidas

Son almacenables, intercambiables y sus propiedades funcionales están cada vez mejor establecidas.

El problema está en valorizar los componentes de los productos agrícolas variables en el tiempo y en el espacio y con frecuencia de difícil conservación.

Subproductos y desechos de la industria agroalimentaria deben convertirse en coproductos, cuyos componentes deben ser valorizados: caseína y lactoproteínas, sangre, desechos de mataderos, etc.

A menudo la industria de los PAI ha acertado a valorizar todos estos componentes y a hacer salir una parte de los compuestos obtenidos del sector alimentario hacia los sectores no alimentarios, farmacéutico u otro sector industrial.

En lo que concierne a los componentes de los productos agrícolas, es necesario, por ejemplo, recordar que los productos vegetales más importantes no contienen más que un 50 por ciento de productos nobles, constituidos por glúcidos, lípidos o proteínas, en lo que se refiere a los cereales o a las proteaginosas: la envoltura constituye casi la mitad de las producciones vegetales. Estos materiales de «embalaje» representan un yacimiento muy importante, pero todavía muy difícil de explotar económicamente por ahora.

► Punto de vista de los consumidores

Tanto para la restauración colectiva como para la restauración individual, los consumidores exigen que los productos sean obtenidos a los mejores precios y por otro lado listos para el empleo. Además, se trata de asegurar el valor salud en estos alimentos diversos, conciliando los imperativos tecnológicos (hacer los productos atractivos para los consumidores) y las características nutricionales. A título de ejemplo, citemos la fabricación de fibras agradables o la producción de productos aligerados.

Es necesario introducir aire y agua utilizando los PAI asociados o no a aditivos, jugando con complejos agua-macromoléculas para obtener una textura agradable a la vez que se limita la ingestión.

► Punto de vista de los industriales

Se asiste a una evolución de las empresas productoras de PAI. Se trata, en efecto, de valorizar todos los constituyentes de una materia prima utilizando todas las salidas, tanto alimentarias como no alimentarias. Cada fracción purificada constituye una nueva materia prima. Las fracciones así obtenidas a partir de estas materias primas constituyen PAI de primera generación.

Pero para favorecer la utilización de estos componentes, las empresas deben asociar estos componentes en proporción equilibrada, suministrando la tecnología de empleo de estas mezclas para cada utilizador. Así, estas sociedades tienen un servicio para la clientela muy desarrollado y muy adaptado a las necesidades de los diferentes utilizadores. Es el caso, por ejemplo, de las sociedades que hacen “cracking” de la leche para productos destinados a la fabricación de helados, biscuits, productos de charcutería o chocolate. Ocurre lo mismo con las firmas fabricantes de gelatina para diferentes industrias alimentarias.

3.1.2.1 Ilustración de la estrategia de los PAI: los alimentos aligerados

El gran auge de los alimentos aligerados responde a la demanda creciente por parte de los consumidores cada vez más preocupados de su forma y de su equilibrio alimentario. Los progresos combinados de la dietética, de la ingeniería industrial alimentaria y de las ciencias de los alimentos han permitido conciliar placer y alimentación equilibrada y reducir el aporte calórico medio de la ración alimentaria.

Las soluciones teóricas provienen de aligeramientos en ingredientes juzgados desde, ahora como «sospechosos» para la salud: las grasas de origen animal, el colesterol, los glúcidos, el cloruro sódico, y de la adición de sustancias juzgadas más bien como beneficiosas para la salud: las carnes, los oligoelementos, las fibras, los edulcorantes, a los cuales es necesario añadir los nuevos ingredientes del mañana: algas, plancton, grasas sintéticas, etc.

En consecuencia, los industriales agroalimentarios inclinan la mayor parte de sus productos hacia versiones aligeradas cuyas ventas se incrementan como media un 8 por ciento por año (frente al 3 por ciento de las versiones corrientes). La modificación de las recetas tradicionales hace intervenir, en el seno de nuevas formulaciones, a nuevos ingredientes que permiten recobrar, e incluso mejorar, las características organolépticas originales.

► **La textura se asegura con:**

Espesantes y Gelificantes cuya dosis ha sido reajustada: gelatinas, carragenatos, xantano, guar, alaroba, pectina, alinatos, almidones modificados, cte.; fermentos lácticos: tipo bifidus y acidophilus; agentes de balasto: fibras solubles, celulosa cristalina, polioles, maltodextrinas.

► **El sabor se asegura con:**

Una elección juiciosa de aromas y de potenciadores del sabor; edulcorantes que restituyen el sabor azucarado, modificando la intensidad de los aromas (efecto «elevador», efecto «enmascarados») o provocando «efectos especiales» tales como el de «frío en la boca» provocado por los polioles (xilitol); especias y aromas que realzan el sabor; agentes de sapidez; conservadores (en función de la legislación) que evitan la aparición de sabores parásitos debidos a degradaciones.

El industrial buscará, en la medida de lo posible, no complicar demasiado el proceso industrial y adaptarlo a los nuevos condicionantes. La ausencia de ciertos constituyentes va a traducirse en una modificación del comportamiento tecnológico. Citemos algunos ejemplos:

En los helados aligerados, el exceso de agua libre corre el riesgo de cristalizar y de destruir la homogeneidad del producto; es necesario recurrir a estabilizantes.

Es necesario añadir gelatina al perfil de fusión lipídomimética para conservar en numerosos productos las sensaciones de mullido y de fundente de las materias grasas.

Es indispensable añadir a los alimentos en los que los glúcidos han sido reemplazados por edulcorantes, aromas que imiten el sabor de los productos provenientes de la reacción de Maillard.

La puesta a punto de nuevos ingredientes debe ser objeto de estudios de comportamiento y de pruebas de dosimetría. Mencionemos en particular, el estudio de las interacciones entre todos estos ingredientes, su estabilidad durante los procesos industriales y su comportamiento con el agua.

En resumen, frente a la evolución rápida de los modos de consumo y gracias a la estrategia de los PAI, los alimentos del mañana serán completamente equilibrados en calorías y su contenido en ingredientes (más o menos) estará perfectamente ajustado en función de un objetivo nutricional. La optimización de la ración alimentaria pasará así pues por una alimentación más sofisticada y más práctica de aplicar.

Para concluir, es necesario recolocar esta reestructuración en las Industrias Agroalimentarias en el contexto socioeconómico. En efecto, la evolución de los modos de vida y de los hábitos alimentarios y la adquisición de nuevos conocimientos tienden a alentar la destrutturación del sector industrial en procesos tradicionales. Además, el desarrollo de los PAI constituye una puesta considerable para obtener, a partir de los productos agrícolas, productos cuyas utilitaciones pueden ser extremadamente variadas. Se trata esencialmente de satisfacer las necesidades muy diversificadas de los consumidores que desean productos equilibrados, relativamente atractivos, pero asegurando el aporte de todos los elementos necesarios en una ración baja en calorías y además, con productos muy diversos para modos de vida muy diferentes y que los consumidores elijan con total libertad”².

Ejercicio

Realice un ensayo, mínimo de una hoja en tamaño carta y letra arial 11 donde exponga sus posición como tecnólogo agroindustrial frente a la responsabilidad ética, humana y profesional donde toque los siguientes temas.

- ▶ Alimentos procesados
- ▶ Alimentos modificados
- ▶ Alimentos fortificados
- ▶ Carnes mecánicamente procesadas.
- ▶ Seguridad alimentaria

3.2. Fundamentos definiciones y conceptos

Objetivo específico:

Clarificar algunos términos y conocer los orígenes de la bioquímica y sus biomoléculas en toda la cadena de la vida.

2 LINDER, Guy y LORIENT, Denis. Bioquímica Agroindustrial. Editorial ACRIBIA, S.A Zaragoza (España) .1996 p. 1-9

“La bioquímica es el estudio de las moléculas y las reacciones químicas de la vida. Es la disciplina que emplea los principios y el lenguaje de la química a fin de explicar la biología a nivel molecular. Los bioquímicos descubrieron que los compuestos químicos y los procesos metabólicos centrales son los mismos que se encuentran en organismos tan distantes como las bacterias, plantas y humanos. Se sabe que los principios básicos de la bioquímica son comunes a todos los organismos vivos. Que en la práctica los científicos concentran sus esfuerzos de investigación en organismos particulares, sus resultados se pueden extrapolar a muchas otras especies.

Muchos estudiantes e investigadores están cada vez más interesados en la bioquímica humana. Las causas de la enfermedad y la importancia de la nutrición apropiada.

Con frecuencia es más fácil comprender los principios básicos de la bioquímica mediante el estudio de muchas especies diferentes para identificar temas y patrones comunes. Un conocimiento y apreciación de otras especies son de gran utilidad en el aprendizaje de la bioquímica. También ayudan a reconocer la naturaleza fundamental de la vida a nivel molecular y la forma en que las especies están relacionadas como consecuencia de la evolución de un ancestro común”.

3.2.1. La bioquímica es una ciencia moderna

La bioquímica surgió como ciencia dinámica tan sólo desde hace 100 años. No obstante, las bases para el campo de trabajo que dieron pie al surgimiento de la bioquímica como ciencia moderna fueron sentadas desde hace muchos siglos. El periodo anterior al siglo XX fue testigo de rápidos avances en la comprensión de los principios químicos básicos como la cinética de reacción y la composición atómica de las moléculas. Para fines del siglo XIX se habían identificado numerosas sustancias químicas producidas por los organismos vivos. Desde entonces, la bioquímica se ha convertido en una disciplina organizada y los bioquímicos dilucidaron muchos de los procesos químicos de la vida. El crecimiento de la bioquímica y su influencia en otras disciplinas seguirá su marcha durante el siglo XXI.

En 1828, Friedrich Wöhler sintetizó el compuesto orgánico urea al calentar el compuesto inorgánico cianato de amonio.

Este experimento mostró por primera vez que a partir de sustancias inorgánicas comunes era posible sintetizar los compuestos que se encuentran exclusivamente en los organismos vivos. Ahora se sabe que la síntesis y degradación de las sustancias biológicas obedecen a las mismas leyes químicas y físicas aplicables a procesos independientes de la biología. No se requieren procesos especiales o "vitalistas" para explicar la vida a nivel molecular. Muchos científicos ubican los principios de la bioquímica con la síntesis de la urea que realizó Friedrich Wöhler; sin embargo,

tuvieron que transcurrir otros 75 años antes de que los primeros departamentos de bioquímica se establecieran en las universidades.

Los dos descubrimientos más importantes en la historia de la bioquímica son especialmente notables: el descubrimiento de la función catalítica de las enzimas y la función de los ácidos nucleicos como moléculas transportadoras de información. El gran tamaño de las proteínas y los ácidos nucleicos dificultó su caracterización inicial debido a las técnicas disponibles en la primera parte del siglo XX. Con el desarrollo de la tecnología moderna, ahora se tiene acceso a una gran cantidad de información acerca del modo como se relacionan las estructuras de las proteínas y los ácidos nucleicos con sus funciones biológicas.

El primer descubrimiento —la identificación de las enzimas como catalizadores de reacciones biológicas— fue en parte resultado de la investigación de Eduard Buchner. En 1897, Eduard Buchner demostró que los extractos de levaduras libres de células podían catalizar la fermentación de la glucosa para convertirla en alcohol y dióxido de carbono. Antes de esto, los científicos creían que sólo las células vivas podían catalizar tales, reacciones biológicas complejas.

El estudio de la naturaleza de los catalizadores biológicos fue investigado por Emil Fischer, un contemporáneo de Eduard Buchner. Fischer estudió el efecto catalítico de las enzimas de la levadura en una reacción simple, la hidrólisis (ruptura por agua) de la sacarosa (azúcar de mesa). Fischer propuso que durante la catálisis una enzima y su reactante, o sustrato, se combinaban para formar un compuesto intermedio. También propuso que sólo una molécula con una estructura adecuada podía servir como sustrato de una determinada enzima. Fischer describió las enzimas como moldes rígidos, o cerraduras, y a los sustratos como sus llaves correspondientes. Pronto los investigadores comprendieron que casi todas las reacciones de la vida eran catalizadas por enzimas por ende, la teoría modificada de la llave y su cerradura de la acción enzimática sigue siendo el principio central de la bioquímica moderna.

Como se veremos más adelante, la catálisis enzimática permite rendimientos muy altos con muy pocos subproductos, en el caso de haberlos. En contraste, muchas reacciones catalizadas en la química orgánica se consideran aceptables si obtienen rendimientos de 50 a 60%. Las reacciones bioquímicas deben ser eficientes dado que los subproductos pueden ser tóxicos para las células y su formación desperdiciaría energía preciosa. Por supuesto, la otra propiedad clave de la catálisis enzimática es que las reacciones biológicas ocurren con mucha mayor rapidez que sin un catalizador.

La última mitad del siglo XX presenció tremendos avances en el área de la biología estructural, en especial en lo referente a la estructura de las proteínas. En las décadas de 1950 y 1960, científicos de la Universidad de Cambridge (Reino Unido) dirigidos por John C. Kendrew y Max Perutz explicaron las primeras estructuras de las proteínas. Desde entonces, se han determinado las

estructuras tridimensionales de más de 1,000 proteínas diferentes y la comprensión de la compleja bioquímica de las proteínas se ha incrementado de manera significativa. Estos rápidos avances fueron posibles gracias al acceso a computadoras más grandes y rápidas, y a nuevos programas de computación capaces de realizar los numerosos cálculos que antes se acostumbraba efectuar a mano o por medio de calculadoras sencillas. Gran parte de la bioquímica moderna depende de las computadoras, por lo que se ha creado una nueva subdisciplina denominada bioinformática.

El segundo gran descubrimiento en la historia de la bioquímica —la identificación de los ácidos nucleicos como moléculas de información— se suscitó medio siglo después de los experimentos de Fischer y Buchner. En 1944, Oswald Avery, Colin MacLeod y Maclyn McCarty extrajeron ácido desoxirribonucleico (ADN) de una cepa tóxica de la bacteria *Streptococcus pneumoniae* y lo mezclaron con una cepa no tóxica del mismo microorganismo. Como resultado, la cepa no tóxica se transformó de manera permanente en una cepa tóxica. Este experimento proporcionó la primera evidencia concluyente de que el ADN es el material genético. En 1953, James D. Watson y Francis H. C. Crick dedujeron la estructura tridimensional del ADN. La estructura del ADN sugirió de inmediato a Watson y Crick un método por el que el ADN pudiera reproducirse por sí mismo, o autorreplicarse, y por lo tanto transmitir información biológica a sus sucesivas generaciones. Las investigaciones posteriores demostraron que la información codificada en el ADN se transcribía al ácido ribonucleico (ARN) y después se traducía en la proteína.

► ADN → ARN → Proteína

El estudio de la genética en el contexto de las moléculas de ácido nucleico es parte de la biología molecular y, a su vez, la biología molecular es parte de la bioquímica. Con el fin de entender de qué forma los ácidos nucleicos almacenan y transmiten información genética, se debe comprender la estructura de los ácidos nucleicos y su función en la codificación de las enzimas, las cuales catalizan la síntesis y degradación de las biomoléculas, entre las que se encuentran también los ácidos nucleicos. El estudiante comprenderá que gran parte de su estudio de la bioquímica estará dedicado a considerar por qué las enzimas y los ácidos nucleicos son centrales para la química de la vida.

Como predijo Crick en 1958, el flujo normal de información del ácido nucleico a la proteína es irreversible. Él se refirió a este flujo de información unidireccional como el Dogma Central de la biología molecular. El término "Dogma Central" muchas veces es malentendido. En términos estrictos, no se refiere al flujo general de información al que antes se hizo referencia, sino al hecho de que una vez que la información en los ácidos nucleicos se transfiere a la proteína ésta no puede fluir de nuevo hacia los ácidos nucleicos.

3.2.2. Los elementos químicos de la vida

Existen seis elementos no metálicos —oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo y azufre— que representan más de 97% del peso de la mayoría de los organismos. Todos estos elementos pueden formar enlaces covalentes estables. Las cantidades relativas de estos seis elementos varían en cada organismo. El agua es el principal componente de las células y representa un alto porcentaje (en peso) de oxígeno. El carbono es mucho más abundante en los organismos vivos que en el resto del universo. Por otro lado, algunos elementos como el silicio, el aluminio y el hierro son muy comunes en la corteza terrestre pero están presentes en las células sólo en trazas. En conjunto, un total de 29 elementos diferentes se encuentran por lo común en los organismos vivientes. Éstos incluyen a cinco iones esenciales en todas las especies: calcio (Ca^{2+}), potasio K^{+} , sodio Na^{+} , magnesio Mg^{2+} , y cloruro (Cl^{-}). Los 24 elementos adicionales representan sólo 3% del peso de los organismos vivos.

La mayor parte del material sólido de las células está formado por compuestos que contienen carbono. El estudio de tales compuestos cae dentro del dominio de la química orgánica. Existe una coincidencia considerable entre las disciplinas de la química orgánica y la bioquímica, razón por la que es de gran utilidad un curso de química orgánica para entender la bioquímica”.³

“¿Qué es la vida? La respuesta a esta pregunta sencilla y aparentemente engañosa ha sido esquiva a pesar del trabajo de los científicos durante varios siglos. Gran parte de la dificultad para delinear la naturaleza precisa de los seres vivos descansa en la abrumadora diversidad del mundo vivo y en el solapamiento aparente de diversas propiedades de la materia viva y la muerta. Como consecuencia, la vida se ha considerado como una propiedad intangible que hace difícil una explicación sencilla. Generalmente se describe en términos operativos, por ejemplo, como movimiento, reproducción, adaptación y respuesta a los estímulos externos. Sin embargo, desde finales del siglo XIX, la ciencia de la Bioquímica (la investigación de las bases moleculares de la vida) ha aportado nuevos conocimientos”.

Los bioquímicos han investigado los seres vivos con un enfoque experimental único que se basa en los conceptos de la biología, la química, la física y las matemáticas, así como con una tecnología cada vez más sofisticada. Su trabajo ha descubierto que a pesar de la rica diversidad de seres vivos, desde la ballena azul al más pequeño de los microorganismos, todos obedecen a las mismas leyes físicas y químicas que rigen el universo. Todos están formados por la misma clase de moléculas biológicas y sus métodos de mantenimiento de los procesos biológicos son semejantes. Entre los conocimientos más importantes que se han obtenido a partir del trabajo de los bioquímicos se encuentran los siguientes:

³ HORTON, H, Robert y otros. Principios de Bioquímica. Cuarta edición. Editorial Pearson. México. 2008 p.1-4

La vida es compleja y dinámica. Todos los organismos están formados principalmente por moléculas orgánicas (con carbono) que tienen formas tridimensionales complicadas. Los procesos vivos, como el crecimiento y el desarrollo, utilizan miles de reacciones químicas en las que variedades ingentes de moléculas vibran y giran, interaccionan, chocan y se reagrupan en moléculas nuevas.

La vida está organizada y automantenida. Los seres vivos son sistemas organizados jerárquicamente, es decir, cada nivel descansa sobre el inmediato inferior. Las moléculas que constituyen los seres vivos, denominadas **biomoléculas**, están formadas por átomos, que a su vez están formados por partículas subatómicas. Determinadas biomoléculas se unen para formar polímeros denominados **macromoléculas**.

Como ejemplos tenemos los ácidos nucleicos, las proteínas y los polisacáridos, que están formados, respectivamente, por nucleótidos, aminoácidos y azúcares. Varias combinaciones de biomoléculas y macromoléculas forman una miríada de estructuras supramoleculares más grandes y más complejas que juntas constituyen las células. En los organismos multicelulares hay otros niveles de organización como los tejidos, los órganos y los sistemas orgánicos. En cada nivel de organización el conjunto es mayor que la suma de las partes.

En otras palabras, en cada nivel emergen propiedades nuevas que no se pueden predecir a partir del análisis de las partes que lo componen. Por ejemplo, la hemoglobina, la proteína que transporta el oxígeno molecular en la sangre de los vertebrados, está formada por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno e hierro.

El componente hemo de la hemoglobina, que es responsable del transporte de oxígeno, no se oxida por el oxígeno como sucedería sin el componente proteico. Las propiedades del sistema de anillo hemo y su protección de la oxidación por la proteína que lo rodea son ejemplos de propiedades emergentes. La organización y el funcionamiento ordenado de los seres vivos requieren adquirir continuamente energía y materia, y eliminar las moléculas de desecho.

Estas tareas las realizan cientos de reacciones bioquímicas que están catalizadas por **enzimas**. Se denomina **metabolismo** a la suma total de todas las reacciones en un ser vivo. La capacidad de los seres vivos para regular los procesos metabólicos, a pesar de la variabilidad de sus ambientes interno y externo, se denomina **homeostasis**.

La vida es celular. Las células se diferencian mucho en estructura y función, pero todas están rodeadas por una membrana que controla el transporte de algunas sustancias químicas dentro y fuera de la célula. La membrana también participa en la respuesta de la célula al ambiente

extracelular. Si se divide una célula en sus partes componentes, se detiene el funcionamiento vital. Las células se originan únicamente por la división de células que ya existen

La vida se fundamenta en la información. La organización requiere información. Los seres vivos pueden considerarse como sistemas procesadores de información, ya que el mantenimiento de su integridad estructural y de los procesos metabólicos requiere la gestión adecuada del conjunto enorme de moléculas interaccionantes dentro de las células, y entre las células y las generaciones de futuras células.

La información biológica está en forma de mensajes codificados que son inherentes a la estructura tridimensional singular de las biomoléculas. La información genética, que se almacena en las secuencias lineales de nucleótidos en el ácido nucleico ácido desoxirribonucleico (DNA), denominadas **genes**, especifica a su vez la secuencia lineal de aminoácidos de las proteínas y de qué forma y cuándo se sintetizan esas proteínas.

Las proteínas realizan su función interaccionando con otras moléculas. La estructura tridimensional singular de cada clase de proteína permite su unión y su interacción con una clase específica de moléculas, con una forma complementaria precisa. Durante el proceso de unión se transfiere la información. Por ejemplo, la unión de la insulina, una proteína que libera el páncreas de los vertebrados, a las moléculas receptoras de insulina en la superficie de determinadas células es una señal que inicia la captura de la molécula nutriente glucosa. Asimismo, el transporte de los aminoácidos es sensible a la insulina.

La vida se adapta y evoluciona. Toda la vida sobre la Tierra tiene un origen común, y las formas nuevas surgen a partir de otras formas. Cuando un organismo individual en una población se autorreproduce, las modificaciones del DNA inducidas por las agresiones y los errores que tienen lugar cuando se copian las moléculas de DNA pueden dar lugar a **mutaciones** o cambios de la secuencia. La mayoría de las mutaciones son silenciosas; es decir, o bien las repara la célula o no tienen efecto sobre el funcionamiento del organismo. Sin embargo, algunas son nocivas y sirven para limitar el éxito reproductor de los descendientes.

En ocasiones poco frecuentes, las mutaciones pueden contribuir a aumentar la capacidad del organismo para sobrevivir, para adaptarse a circunstancias nuevas y para reproducirse. La principal fuerza impulsora de este proceso es la capacidad de explotar las fuentes de energía. Los individuos que poseen características que les permiten explotar mejor una fuente energética específica dentro de su hábitat pueden tener una ventaja competitiva cuando los recursos son limitados. A lo largo de muchas generaciones la interdependencia de los cambios ambientales y de la variación genética puede dar lugar a la acumulación de características favorables y, finalmente, a formas de vida muy diferentes.

Las ciencias biológicas están experimentando en el momento actual una revolución creada por la aplicación de las técnicas bioquímicas y la genética. Las tecnologías generadas por esta ciencia relativamente nueva —la biología molecular— han proporcionado un conocimiento inimaginable sobre el funcionamiento de los seres vivos. En la actualidad, es habitual la identificación de genes específicos y el seguimiento de sus efectos en los seres vivos.

Este enfoque nuevo ya ha proporcionado una avalancha de información que ha transformado disciplinas tan diversas como la agricultura, la arqueología, la botánica, la biología del desarrollo, la ecología, la ciencia forense, la medicina, la farmacología y la nutrición. La capacidad de los futuros científicos para utilizar el volumen completo de conocimientos nuevos y crecientes comienza con el aprendizaje de los principios básicos de la bioquímica.

3.2.3. El mundo vivo

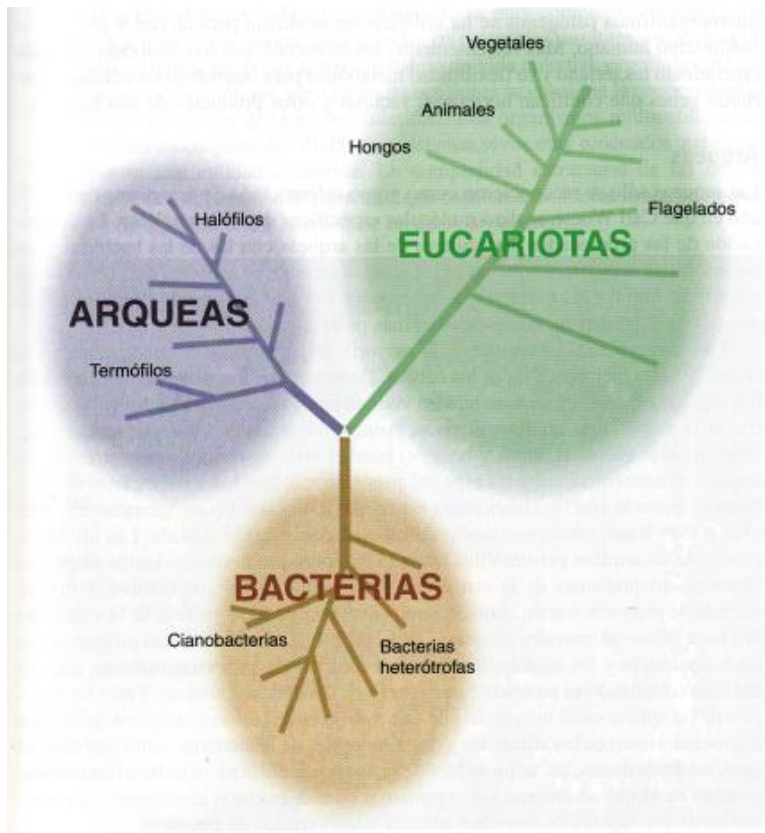
Los cálculos sobre el número de especies vivas actuales van desde varios millones a decenas de millones. Todas están formadas por **células procariotas** o **eucariotas**. La mayoría de los organismos son procariotas; es decir, sus células carecen de núcleo (*pro* = «antes», *karyon* = «núcleo» o «meollo»). Los eucariotas (*en* = «verdadero») están formados por un número de células relativamente grande y de gran complejidad que poseen un núcleo, que es un compartimiento rodeado por una membrana que contiene el material genético.

Los procariotas no sólo son las formas más antiguas de vida sobre la Tierra, sino que desde hace unos 3800 millones hasta alrededor de 1800 millones de años, fueron las únicas formas de vida. Hasta los años 1980 se pensaba que los procariotas constaban sólo de las bacterias. El análisis de las secuencias de nucleótidos del ácido ribonucleico (RNA), una clase de ácido nucleico que participa en la síntesis de proteínas, ha demostrado que existen dos grupos de procariotas bastante distintos: bacterias y arqueas.

Su apariencia externa es semejante, pero las diferencias de las propiedades moleculares de las bacterias y las arqueas son más pronunciadas que las diferencias con las de los eucariotas. Los procariotas unicelulares son los seres vivos pequeños. No obstante, su biomasa combinada es 10 veces mayor que la de los organismos eucariotas más grandes (animales, vegetales, hongos y protistas unicelulares). Los procariotas virtualmente ocupan cada nicho de la Tierra. Además de en el aire, el suelo y el agua, varias especies procariotas viven sobre la piel y en el tubo digestivo de los animales, dentro de los manantiales calientes y a varios kilómetros profundidad dentro de la corteza de la Tierra.

Las pruebas moleculares sobre las relaciones evolutivas de las especies vivas son lo suficientemente convincentes para que muchos científicos clasifiquen actualmente a todos los seres vivos en tres dominios: **bacterias**, **arqueas** y **eucariotas**. Cada dominio se considera

brevemente. Posteriormente, se presenta una introducción a los virus, entidades genéticas que se encuentran en la frontera entre lo vivo y lo inanimado.



Los dominios de la vida sobre la Tierra

Las pruebas moleculares indican que todas las formas de vida investigadas hasta ahora pueden clasificarse en tres dominios.

3.2.3.1 Bacterias

Las bacterias son tan diversas en sus hábitats y en sus capacidades nutritivas que sólo pueden realizarse sobre ellas afirmaciones generales. Como grupo, las bacterias son especialmente conocidas por su diversidad bioquímica. Varias especies poseen características que las permiten explotar virtualmente cada fuente de energía, nutriente y entorno concebible. Por ejemplo, algunas especies bacterianas pueden utilizar la energía luminosa para convertir el CO_2 en moléculas orgánicas. Otras utilizan la energía que extraen de las moléculas inorgánicas u orgánicas.

Algunas especies bacterianas poseen una reputación bien merecida como productoras de enfermedades (p. ej., cólera, tuberculosis, sífilis y tétanos). Sin embargo, la gran mayoría desempeña funciones vitales en el mantenimiento de la vida sobre la tierra. Se requiere la actividad de muchas clases de bacterias para reciclar nutrientes como el carbono, el nitrógeno y el

azufre. Por ejemplo, la bacteria *Rhizobium* transforma el nitrógeno molecular inerte (N_2) en amoníaco (NH_3), que luego puede ser asimilado por otros organismos como las plantas leguminosas.

Una de las funciones más importantes de las bacterias es la descomposición, un proceso que libera nutrientes de los organismos muertos, para que puedan utilizarlos los vivos.

Muchas especies bacterianas son de gran interés práctico para el ser humano. Los alimentos como el yogur, el queso, el pan ácido y el «sauerkraut» se fabrican con la colaboración de determinadas bacterias.

Otras clases de bacterias, como los actinomicetos, producen antibióticos que se utilizan para curar las infecciones bacterianas. Las bacterias han sido especialmente valiosas en la investigación bioquímica. Debido a su rápido crecimiento y a su cultivo relativamente fácil, determinadas especies (especialmente *Escherichia coli*) han sido fundamentales en la investigación de la mayoría de los procesos bioquímicos básicos. La información adquirida en los estudios sobre los microorganismos patógenos se ha utilizado en medicina para aliviar y prevenir el sufrimiento humano. Más recientemente, los biotecnólogos han utilizado el rápido crecimiento bacteriano y su flexibilidad metabólica para insertar en las células bacterianas genes que codifican hormonas, vacunas y otros productos de uso humano.

3.2.3.2 Arqueas

Las arqueas sólo se reconocieron como grupo diferenciado de organismos en 1977, año en que Carl Woese analizó moléculas específicas de ácido nucleico. La comparación de las propiedades moleculares de las arqueas con las de las bacterias y los eucariotas ha demostrado que las arqueas están en muchos aspectos más cerca de los eucariotas que de las bacterias de apariencia similar. Por ejemplo, el sistema de síntesis de proteínas de las arqueas es más parecido al de los eucariotas.

Una característica destacada de la mayoría de las arqueas es su capacidad para ocupar y hasta mejorar en todos los hábitat. Denominadas frecuentemente extremófilas, algunas especies de arqueas pueden vivir en circunstancias que fácilmente destruirían a la mayoría de las formas vivas. Aunque otras clases de organismos (p. ej., determinadas bacterias, algas y hongos) pueden vivir en condiciones extremas, las arqueas se encuentran entre las especies más extremófilas. Los extremófilos se clasifican de acuerdo con las condiciones especiales en las que viven: temperaturas muy altas o muy bajas, concentraciones salinas elevadas, presión elevada. Las investigaciones de las arqueas extremófilas también han permitido conocimientos singulares sobre

las adaptaciones de la estructura biomolecular a las condiciones extremas, además de proporcionar un conocimiento considerable de la historia de la vida sobre la Tierra.

Los esfuerzos investigadores de los bioquímicos y los biotecnólogos se han centrado en las **extremozimas**, que son enzimas (catalizadores proteicos) que operan en condiciones nocivas. Entre los ejemplos de las aplicaciones industriales de este trabajo están las enzimas que se utilizan en el procesamiento de los alimentos y los detergentes de lavandería. Junto con muchas especies bacterianas, las arqueas han demostrado su utilidad en la **biorreparación**, proceso en el que se utilizan los organismos para degradar o eliminar los contaminantes de los lugares de desechos tóxicos y los vertidos de petróleo.

3.2.3.3 Eucariotas

El tercer dominio de los seres vivos, los eucariotas, está constituido por el resto de las especies de la Tierra. Aunque la presencia o ausencia de un núcleo es la diferencia más notable entre los procariotas y los eucariotas, existen otras distinciones significativas:

Tamaño. Las células eucariotas son sustancialmente más grandes que las células procariotas. Por ejemplo, el diámetro de las células animales varía entre 10 y 30 μm . Estos valores son aproximadamente 10 veces superiores que los de los procariotas. Sin embargo, es más clara la disparidad de tamaño entre los dos tipos de células cuando se considera el volumen. Por ejemplo, el volumen de una célula eucariota típica, como una célula hepática (hepatocito), se encuentra entre 6000 y 10.000 μm^3 . El volumen de *E. coli* es varios centenares de veces menor.

Complejidad. La complejidad estructural de los eucariotas es notable. Además de un núcleo bien formado, se encuentran presentes varias estructuras subcelulares denominadas **orgánulos**. Cada orgánulo está especializado en la realización de tareas específicas. La compartimentalización que proporcionan los orgánulos permite la concentración de las moléculas de reactante y producto en lugares donde pueden utilizarse con eficacia. Esto, junto con otros factores, hacen posible la existencia de mecanismos reguladores complicados. Como consecuencia, las células de los eucariotas multicelulares son capaces de responder con rapidez y eficacia a las comunicaciones intercelulares que se requieren para la proliferación y el desarrollo.

Multicelularidad. Sólo en los eucariotas se encuentra una multicelularidad verdadera. Aunque los protistas unicelulares muy complejos constituyen la mayor biomasa de los eucariotas, todas las categorías restantes son multicelulares. Algunas bacterias tienen un hábito de vida colonial, especialmente sobre los medios sólidos, pero en pocas ocasiones se consigue la cooperatividad y especialización de la multicelularidad. Los organismos multicelulares no sólo son un conjunto de células: son sistemas vivos muy ordenados que juntos forman una entidad coherente. La

complejidad estructural de las células eucariotas proporciona la capacidad que requieren los mecanismos complicados de comunicación intercelular en estos organismos.

3.2.3.4 Virus

Los virus no son seres vivos, aunque pueden desorganizar los procesos dentro de los seres vivos por medio de reacciones bioquímicas. Formados por DNA o RNA envuelto en una proteína o una membrana, los virus son agentes infecciosos que se autorreproducen insertando su información genética en células hospedadoras susceptibles. Los genes víricos pueden permanecer durmientes en el DNA de la célula durante períodos de tiempo largos o pueden empezar inmediatamente a dirigir la producción de cantidades masivas de ácido nucleico y componentes proteicos que se ensamblan en nuevas partículas del virus. Una vez ha empezado una infección vírica manifiesta, la célula está, en efecto, secuestrada. Los genes del virus emplean la maquinaria de la célula para su propio uso. Como consecuencia de la infección vírica, las células pueden dañarse o destruirse.

Los virus son parásitos intracelulares que infectan a casi todas las clases de organismos. Sin embargo, cada tipo de virus normalmente sólo infecta a una especie o a unas pocas especies semejantes. Con frecuencia las infecciones víricas producen enfermedades. Entre las enfermedades infecciosas humanas producidas por virus se encuentran el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA), la polio, la rabia, varios tipos de hepatitis y el resfriado común. Las enfermedades animales y vegetales producidas por virus causan un daño inmenso a la agricultura. Sin embargo, los virus hacen algo más que producir enfermedades. Pueden ser también agentes de modificaciones genéticas. En ocasiones, cuando se producen viroides (partículas víricas) nuevos, éstos incorporan de forma inadvertida parte del material genético de la célula hospedadora. A continuación, esta información se transmite a una célula hospedadora nueva. En circunstancias poco habituales se transfiere a una especie diferente. Este proceso, que se denomina **transducción**, es una fuente de variación genética que impulsa los cambios evolutivos.

Los bioquímicos han utilizado a los virus como herramientas en sus investigaciones de numerosos procesos vivos. Por ejemplo, las investigaciones de los bacteriófagos (virus que infectan a las bacterias) han aportado un conocimiento inestimable sobre los mecanismos genéticos básicos. En las investigaciones sobre los detalles de la expresión del procesamiento de la información genética y otros aspectos del metabolismo celular se han utilizado virus animales. Actualmente, se está utilizando la capacidad de los virus para infectar a determinadas células humanas como mecanismo en los protocolos de la genoterapia.

3.3. Biomoléculas

Los seres vivos están formados por miles de clases diferentes de moléculas inorgánicas y orgánicas. El agua, una molécula inorgánica, puede constituir entre el 50 y el 95 % del contenido en peso de una célula, y los iones como el sodio (Na^+), el potasio (K^+), el magnesio (Mg^{2+}) y el calcio (Ca^{2+}) pueden representar otro 1 %. Casi todas las demás clases de moléculas orgánicas están formadas principalmente por seis elementos: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre, y contienen cantidades mínimas de determinados elementos metálicos y otros no metálicos. Es notable el hecho de que los átomos de cada uno de los elementos más comunes que se encuentran en los seres vivos puedan formar fácilmente enlaces covalentes estables. En los enlaces covalentes, los átomos están unidos al compartir los electrones que completan los orbitales más externos de cada átomo.

La capacidad de los átomos de carbono para formar cuatro enlaces covalentes sencillos fuertes, bien con otros átomos de carbono o con átomos de otros elementos, posibilita la notable complejidad estructural y la diversidad de las moléculas orgánicas. Las moléculas orgánicas con muchos átomos de carbono pueden dar lugar a formas complicadas, como largas estructuras lineales o cadenas ramificadas y anillos.

Grupos funcionales de las biomoléculas orgánicas

La mayoría de las biomoléculas pueden considerarse derivadas del tipo más simple de moléculas orgánicas, que son los hidrocarburos. Los hidrocarburos, son moléculas que contienen carbono e hidrógeno y que son hidrófobas, lo cual significa que son insolubles en agua. Todas las demás moléculas orgánicas se forman uniando otros átomos o grupos de átomos al esqueleto carbonado de un hidrocarburo. Las propiedades químicas de estas moléculas derivadas están determinadas por la disposición específica de los átomos denominados grupos funcionales. Por ejemplo, los alcoholes se producen cuando los átomos de hidrógeno se sustituyen por grupos hidroxilo ($-\text{OH}$). Así, el metano (CH_4), un componente del gas natural, puede convertirse en metanol (CH_3OH), un líquido tóxico que se utiliza como disolvente en muchos procesos industriales.

La mayoría de las biomoléculas contienen más de un grupo funcional. Por ejemplo, muchas moléculas sencillas de azúcar tienen varios grupos hidroxilo y un grupo aldehído. Los aminoácidos, que son los bloques de construcción de las proteínas, tienen un grupo amino y un grupo carboxilo. Las propiedades químicas de cada grupo funcional contribuyen al comportamiento de las moléculas que lo contienen.

Grupos funcionales importantes de las biomoléculas

Nombre de la familia	Estructura del grupo	Nombre del grupo	Significado
Alcohol	$R-OH$	Hidroxilo	Polar (y por lo tanto hidrosoluble), forma enlaces de hidrógeno
Aldehído	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-H \end{array}$	Carbonilo	Polar, se encuentra en algunos azúcares
Cetona	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-R' \end{array}$	Carbonilo	Polar, se encuentra en algunos azúcares
Ácidos	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-OH \end{array}$	Carboxilo	Débilmente ácido, lleva una carga negativa cuando dona un protón
Aminas	$R-NH_2$	Amino	Débilmente básico, lleva una carga positiva cuando acepta un protón
Amidas	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-NH_2 \end{array}$	Amido	Polar, pero no lleva carga
Tioles	$R-SH$	Tiol	Fácilmente oxidable; puede formar fácilmente enlaces $-S-S-$ (disulfuro)
Ésteres	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-O-R \end{array}$	Éster	Se encuentran en determinadas moléculas lipídicas
Doble enlace	$RCH=CHR$	Alqueno	Componente estructural importante de muchas biomoléculas; p. ej., se encuentra en moléculas lipídicas

► **Principales clases de biomoléculas**

Muchos de los compuestos orgánicos que se encuentran en las células son relativamente pequeños, con pesos moleculares inferiores a 10.000 Dalton (D). (Un Dalton, 1 unidad de masa atómica es igual a 1/12 de la masa de un átomo de ^{12}C). Las células contienen cuatro familias de moléculas pequeñas: aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y nucleótidos.

Clases principales de biomoléculas

Molécula pequeña	Polímero	Funciones generales
Aminoácidos	Proteínas	Catálisis y elementos estructurales
Azúcares	Hidratos de carbono	Fuentes energéticas y elementos estructurales
Ácidos grasos	N.A.	Fuentes energéticas y elementos estructurales de las moléculas lipídicas complejas
Nucleótidos	DNA RNA	Información genética Síntesis de proteínas

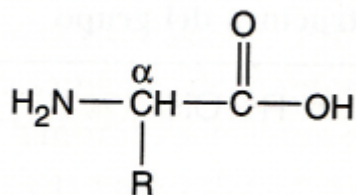
Los miembros de cada grupo desempeñan varias funciones. En primer lugar, se utilizan en la síntesis de moléculas mayores, muchas de las cuales son polímeros. Por ejemplo, las proteínas, determinados hidratos de carbono y los ácidos nucleicos son polímeros formados, respectivamente, por aminoácidos, azúcares y nucleótidos. Los ácidos grasos son componentes de varias clases de moléculas de lípidos (insolubles en agua).

En segundo lugar, algunas moléculas tienen funciones biológicas especiales. Por ejemplo, el nucleótido adenosina trifosfato (ATP) opera como reserva celular de energía química. Finalmente, muchas moléculas orgánicas pequeñas participan en las rutas de reacciones.

► Aminoácidos y proteínas

Existen cientos de aminoácidos naturales, cada uno de los cuales contiene un grupo amino y un grupo carboxilo. Los aminoácidos se clasifican como α , β o γ , de acuerdo con la posición del grupo amino con referencia al grupo carboxilo. En los aminoácidos α , la clase más frecuente, el grupo amino está unido al átomo de carbono (carbono α) inmediatamente adyacente al grupo carboxilo. En los aminoácidos β y γ , el grupo amino está unido a los carbonos segundo y tercero, respectivamente, a partir del grupo carboxilo. Unido también al carbono α está otro grupo, que se denomina cadena lateral o grupo R.

Las propiedades químicas de cada aminoácido están determinadas en gran medida por las propiedades de su cadena lateral. Por ejemplo, algunas cadenas laterales son hidrófobas, mientras que otras son **hidrófilas** (es decir, se disuelven fácilmente en agua). La fórmula general de los aminoácidos α es



Existen 20 aminoácidos α estándar en las proteínas. Algunos aminoácidos estándar tienen funciones singulares en los seres vivos. Por ejemplo, la glicina y el ácido glutámico actúan como neurotransmisores en los animales. (Los **neurotransmisores** son moléculas señalizadoras liberadas por las células nerviosas). Las proteínas contienen también aminoácidos no estándar que son versiones modificadas de los aminoácidos estándar. La estructura y función de las moléculas proteicas con frecuencia se altera por la conversión de determinados residuos de aminoácidos en derivados fosforilados, hidroxilados o de otro tipo. (El término «residuo» indica una biomolécula pequeña que se ha incorporado a una macromolécula, p. ej., los residuos de aminoácido de una proteína.) Por ejemplo, en el colágeno, la proteína del tejido conjuntivo, un gran número de los

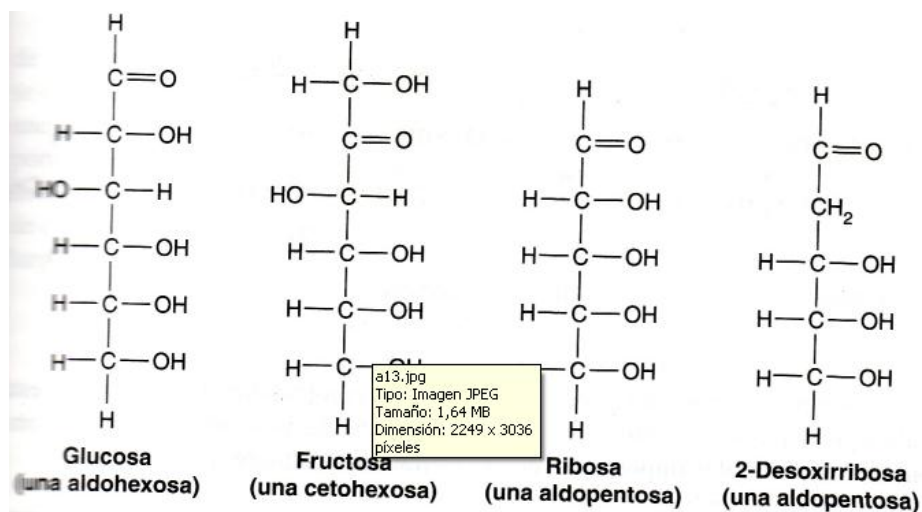
residuos de prolina están hidroxilados. Muchos de los aminoácidos naturales no son aminoácidos α . Entre los ejemplos más notables se encuentra la β alanina, precursor de la vitamina ácido pantoténico, y el ácido γ -aminobutírico (GABA), un neurotransmisor que se encuentra en el cerebro.

Las moléculas de aminoácido se utilizan principalmente para la síntesis de largos polímeros complejos denominados **polipéptidos**. Los polipéptidos cortos, con una longitud inferior a 50 aminoácidos, se denominan **péptidos**. A los polipéptidos más largos se les suele denominar **proteínas**. Los polipéptidos desempeñan una gran variedad de funciones en los seres vivos. Entre los ejemplos de moléculas formadas por polipéptidos se encuentran las proteínas de transporte, las proteínas estructurales y las enzimas.

Los aminoácidos individuales están unidos en péptidos y polipéptidos mediante el **enlace peptídico**, un enlace amida que se forma en una clase de reacción de sustitución nucleófila, con participación de un grupo carbonilo, que se produce entre el grupo amino de un aminoácido y el grupo carboxilo de otro. El carácter parcial de doble enlace del enlace peptídico da lugar a una disposición en el plano de los átomos HN-CO que da a las moléculas polipeptídicas una estabilidad suficiente en condiciones fisiológicas. El carbono α aporta flexibilidad a la cadena polipeptídica debido a la rotación libre de los enlaces en este carbono.

La estructura tridimensional final y, como consecuencia, la función biológica, de los polipéptidos se debe, en gran medida, a las interacciones entre los grupos.

AZÚCARES E HIDRATOS DE CARBONO Los azúcares contienen grupos funcionales alcohol y carbonilo. Se describen en función del número de carbonos y de la clase de grupo carbonilo que contienen. Los azúcares que poseen un grupo aldehído se denominan aldosas, y aquellos que poseen un grupo cetona se denominan cetosas. Por ejemplo, el azúcar glucosa de seis carbonos (una fuente de energía importante en la mayoría de los seres vivos) es una aldohexosa. La fructosa (azúcar de la fruta) es una cetohehexosa.



Los azúcares son las unidades básicas de los hidratos de carbono, las moléculas orgánicas más abundantes de la naturaleza. Los hidratos de carbono van desde los azúcares sencillos, o **monosacáridos**, como la glucosa y la fructosa, a los **polisacáridos**, polímeros que contienen miles de unidades azúcar. Entre estos últimos se encuentran el almidón y la celulosa de las plantas y el glucógeno de los animales. Los hidratos de carbono desempeñan varias funciones en los seres vivos. Determinados azúcares son fuentes de energía importantes. La glucosa es la fuente de energía hidrocarbonada en los animales y las plantas. La sacarosa es utilizada por muchas plantas como un medio eficaz de transporte de energía por sus tejidos. Algunos hidratos de carbono actúan como materiales estructurales. La celulosa es el principal componente estructural de la madera y de determinadas fibras de las plantas. La quitina, otro tipo de polisacárido, se encuentra en las cubiertas protectoras exteriores de los insectos y los crustáceos.

Algunas biomoléculas contienen componentes hidrocarbonados. Los nucleótidos, los bloques de construcción de los ácidos nucleicos, contienen los azúcares ribosa o desoxirribosa. Determinadas proteínas contienen también hidratos de carbono. Las glucoproteínas y los glucolípidos se encuentran en la superficie externa de membranas celulares de los organismos multicelulares, donde desempeñan funciones decisivas en las interacciones entre las células.

► Ácidos grasos

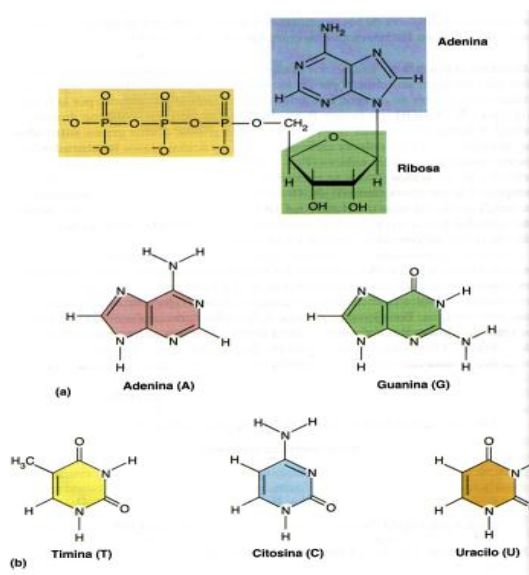
Los ácidos grasos son ácidos monocarboxílicos que generalmente contienen un número par de átomos de carbono. En algunos organismos actúan como fuentes de energía. Los ácidos grasos están representados por la fórmula química R^-COOH , en la que R es un grupo alquilo que contiene átomos de carbono e hidrógeno. Existen dos tipos de ácidos grasos:

Ácidos grasos **saturados**, que no contienen dobles enlaces carbono-carbono, y ácidos grasos **insaturados**, que poseen uno o varios dobles enlaces. En condiciones fisiológicas el grupo carboxilo de los ácidos grasos se encuentra en el estado ionizado, R^-COO^- . Por ejemplo, el ácido graso saturado de 16 carbonos, denominado ácido palmítico, se encuentra como palmitato, $CH_3(CH_2)_{14}COO^-$. Aunque el grupo carboxilo cargado tiene afinidad por el agua, las largas cadenas hidrocarbonadas apolares hacen a la mayoría de los ácidos grasos insolubles en agua.

Los ácidos grasos sólo se encuentran como moléculas independientes (libres) en los seres vivos en cantidades mínimas. La mayoría se encuentra como componente de varias clases de moléculas lipídicas. Los lípidos son un grupo diverso de sustancias solubles en disolventes orgánicos, como el cloroformo o la acetona, e insolubles en agua. Por ejemplo, los triacilgliceroles (grasas y aceites) son ésteres que contienen glicerol (un alcohol de tres carbonos con tres grupos hidroxilo) y tres ácidos grasos. Determinadas moléculas de lípidos análogos a los triacilgliceroles, que se denominan fosfoglicéridos, contienen dos ácidos grasos. En estas moléculas el tercer grupo hidroxilo del glicerol está acoplado con fosfato, el cual a su vez está unido a pequeños compuestos polares como la colina. Los fosfoglicéridos son componentes estructurales importantes de las membranas celulares.

► Nucleótidos y ácidos nucleicos

Los nucleótidos contienen tres componentes: un azúcar de cinco carbonos (bien ribosa o desoxirribosa), una base nitrogenada, y uno o varios grupos fosfato. Las bases de los nucleótidos son anillos aromáticos heterocíclicos con varios sustituyentes. Hay dos clases de bases: las purinas bicíclicas y las pirimidinas monocíclicas.

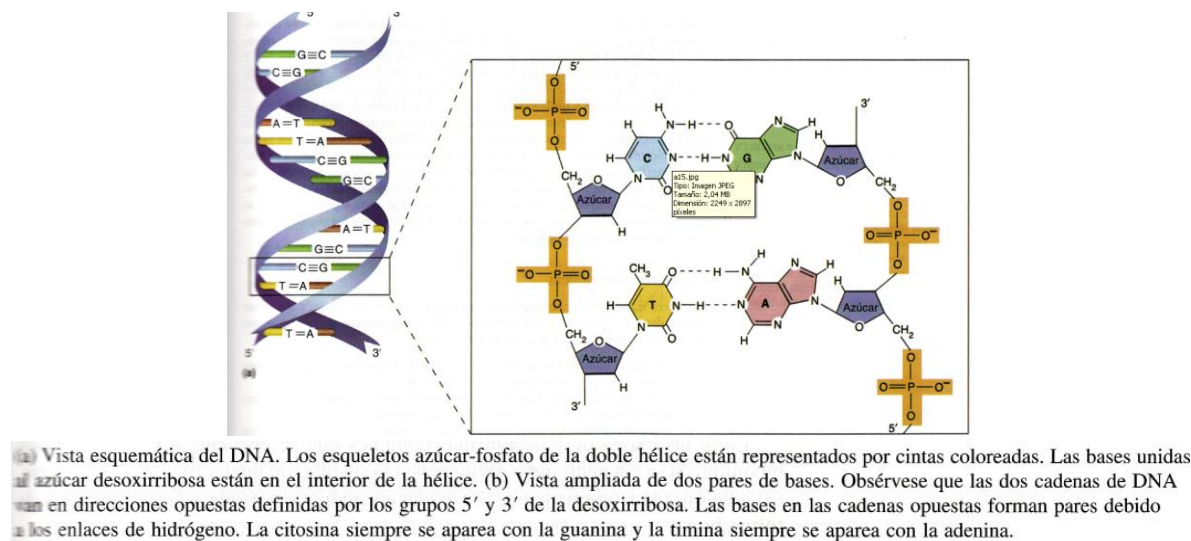


Los nucleótidos participan en una gran variedad de reacciones de biosíntesis y de generación de energía. Por ejemplo, una proporción sustancial de la energía que se obtiene de las moléculas del alimento se utiliza para formar los enlaces fosfato de energía elevada de la adenosina trifosfato (ATP). Sin embargo, la función más importante de los nucleótidos es actuar como bloques de construcción de los ácidos nucleicos. En una molécula de ácido nucleico, un gran número de nucleótidos (desde centenares a millones) están ligados por enlaces fosfodiéster para formar cadenas largas de polinucleótidos. Hay dos clases de ácido nucleico:

DNA. El DNA es el depositario de la información genética. Su estructura consta de dos cadenas de polinucleótidos enrolladas una alrededor de la otra para formar una doble hélice a derechas. Además de la desoxirribosa y el fosfato, el DNA contiene cuatro clases de bases: las **purinas** adenina y guanina y las **pirimidinas** timina y citosina. La doble hélice se forma por el apareamiento complementario entre las bases mediante la formación de enlaces de hidrógeno. (Un enlace de hidrógeno es una fuerza de atracción entre el hidrógeno y átomos electronegativos como el oxígeno o el nitrógeno.) La adenina se aparea con la timina, y la guanina con la citosina. Cada gen está formado por una secuencia lineal de bases específica y singular. Aunque la mayoría de los genes codifican la secuencia lineal de aminoácidos de las proteínas, el DNA no está implicado directamente en la síntesis de proteínas. En su lugar, se utiliza otro tipo de ácido nucleico para convertir las instrucciones codificadas en el DNA en productos polipeptídicos.

Vista esquemática del DNA. Los esqueletos azúcar-fosfato de la doble hélice están representados por cintas coloreadas. Las bases unidas al azúcar desoxirribosa están en el interior de la hélice. (b) Vista ampliada de dos pares de bases. Obsérvese que las dos cadenas de DNA van en direcciones opuestas definidas por los grupos 5' y 3' de la desoxirribosa. Las bases en las cadenas opuestas

forman pares debido a los enlaces de hidrógeno. La citosina siempre se aparea con la guanina y la timina siempre se aparea con la adenina.



RNA. El RNA es un polinucleótido que se diferencia del DNA en que contiene el azúcar ribosa en lugar de desoxirribosa, y la base uracilo en lugar de timina. En el RNA, como en el DNA, los nucleótidos están unidos por enlaces fosfodiéster. A diferencia de la doble hélice del DNA, el RNA es de cadena sencilla. Las moléculas de RNA se doblan en estructuras tridimensionales creadas por las regiones locales de apareamiento complementario de bases. Durante un proceso complejo, la doble hélice del DNA se desenrolla parcialmente y se sintetizan las moléculas de RNA utilizando una cadena de DNA como molde.

Existen tres clases principales de RNA: RNA mensajero (mRNA), RNA ribosómico (rRNA) y RNA de transferencia (tRNA). Cada secuencia singular o molécula de mRNA posee la información que codifica directamente la secuencia de aminoácidos de un polipéptido específico. Los ribosomas, que son estructuras supramoleculares grandes y complejas formadas por rRNA y moléculas proteicas, convierten la secuencia de bases del mRNA en la secuencia de aminoácidos de un polipéptido.

Las moléculas de RNA de transferencia actúan como adaptadoras durante la síntesis de proteínas. Cada clase de molécula de tRNA se une a un aminoácido específico. Cada polipéptido se construye al traducirse en cada ribosoma la información de la secuencia de bases del mRNA por el apareamiento de bases entre las moléculas de mRNA y tRNA. Al aproximarse los aminoácidos se forman los enlaces peptídicos.

La mayoría de las moléculas de los seres vivos son orgánicas. Las propiedades químicas de las moléculas orgánicas están determinadas por las disposiciones específicas de los átomos, que se

denominan grupos funcionales. Las células contienen cuatro familias de moléculas pequeñas: aminoácidos, azúcares, ácidos grasos y nucleótidos.

► Procesos Bioquímicos

Todas las características de los seres vivos —su organización compleja y su capacidad para crecer y reproducirse— son el resultado de procesos bioquímicos coordinados y finalistas. El metabolismo, la suma total de estos procesos, es posible por el flujo de energía y nutrientes y por los miles de reacciones bioquímicas, cada una de ellas catalizada por una enzima específica. Las funciones primarias del metabolismo son: (1) la adquisición y utilización de energía, (2) la síntesis de moléculas necesarias para la estructura y el funcionamiento de las células (es decir, proteínas, hidratos de carbono, lípidos y ácidos nucleicos), (3) el crecimiento y desarrollo, y (4) la eliminación de los productos de desecho. Los procesos metabólicos requieren cantidades significativas de energía útil.

► Reacciones bioquímica

A primera vista las miles de reacciones que tienen lugar en las células parecen ser extremadamente complejas. Sin embargo, varias características del metabolismo nos permiten simplificar en gran medida este cuadro:

Aunque el número de reacciones es muy grande, el número de clases de reacciones es relativamente pequeño.

Las reacciones bioquímicas tienen mecanismos sencillos propios de las reacciones orgánicas (es decir, una enzima normalmente sólo hace una cosa).

Son relativamente pocas las reacciones de importancia central en Bioquímica (es decir, aquellas que se utilizan en la producción de energía y la síntesis y degradación de los principales componentes celulares).

Entre las clases de reacción más comunes que se encuentran en los procesos bioquímicos se encuentran las siguientes: (1) sustitución nucleófila, (2) eliminación, (3) adición, (4) isomerización, (5) oxidación-reducción. Cada una se describirá de forma breve.

► Reacciones De Sustitución Nucleófila

En las reacciones de sustitución nucleófila, como sugiere el nombre, se sustituye un átomo o grupo por otro:



En la reacción general que se muestra más arriba, la especie atacante (A) se denomina **nucleófilo** («amante del núcleo»). Los nucleófilos son aniones (átomos o grupos con carga negativa) o especies neutras que poseen pares electrónicos no enlazantes. Los **electrófilos** («amantes de los electrones») son deficitarios en densidad electrónica y, por lo tanto, fácilmente atacables por un nucleófilo. Al formarse un enlace nuevo entre A y B, se rompe el viejo entre B y X. El nucleófilo que sale, en este caso, X) se denomina **grupo de salida**.

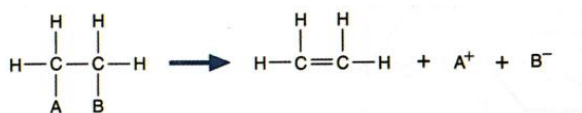
Un ejemplo importante de sustitución nucleófila es la reacción de la glucosa con el ATP). En esta reacción, que es el primer paso en la utilización de la glucosa como fuente de energía, el oxígeno del hidroxilo del carbono 6 de la molécula de azúcar es el nucleófilo, y el fósforo el electrófilo. El grupo de salida es la adenosina difosfato.

Las reacciones de **hidrólisis** son una clase de reacción de sustitución nucleófila en la que el oxígeno de una molécula de agua es el nucleófilo. El grupo carbonilo de un éster, una amida o un anhídrido es normalmente el electrófilo.

La digestión de muchas moléculas del alimento implica una hidrólisis. Por ejemplo, proteínas se degradan en el estómago en una reacción catalizada por ácido.

► Reacciones De Eliminación

En las reacciones de **eliminación**, cuando se eliminan los átomos de una molécula se forma un doble enlace.

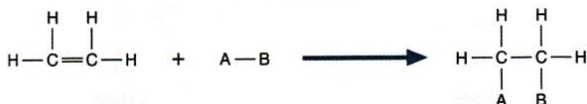


La eliminación de H₂O de las biomoléculas que contienen grupos funcionales alcohol es una reacción que se encuentra comúnmente. Un ejemplo señalado de esta reacción es la deshidratación del 2-fosfoglicerato, un paso importante en el metabolismo de los hidratos de

carbono. Otros productos de las reacciones de eliminación son el amoníaco (NH₃), las aminas (RNH₂) y los alcoholes (ROH).

► Reacciones De Adición

En las **reacciones de adición** se combinan á:- moléculas para formar un solo producto.



La **hidratación** es una de las reacciones de adición más comunes. Cuando se añade agua a un alqueno se produce un alcohol. Un ejemplo característico es la hidratación intermediario metabólico fumarato para formar malato.

► Reacciones de Isomerización

Las reacciones de **isomerización** suponen el desplazamiento de átomos o grupos. Una de las isomerizaciones biológicas más comunes es la interconversión entre los azúcares aldosa y cetosa.



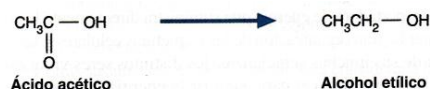
► Reacciones de Oxidación-Reducción

Las **reacciones de óxido-reducción** (también denominadas reacciones redox) se producen cuando hay una transferencia de electrones desde un donador (denominado **agente reductor**) a un aceptor (denominado **agente oxidante**). Cuando los agentes reductores donan sus electrones, quedan **oxidados**. Al aceptar electrones, los agentes oxidantes quedan **reducidos**. Los dos procesos se producen siempre de forma simultánea. No siempre es fácil determinar si las biomoléculas han ganado o perdido electrones. Sin embargo, pueden utilizarse dos reglas sencillas para averiguar si una molécula ha sido oxidada o reducida:

Se produce una oxidación cuando una molécula gana oxígeno o pierde hidrógeno



Se produce una reducción cuando una molécula pierde oxígeno o gana hidrógeno.



En las reacciones biológicas redox, los electrones se transfieren a aceptores electrónicos como el nucleótido NAD^+/NADH (dinucleótido de nicotinamida y adenina en su forma oxidada/reducida).

3.3.1. Energía

Se define la **energía** como la capacidad para realizar trabajo, es decir, mover la materia. A diferencia de las máquinas fabricadas por el hombre, que generan y utilizan la energía en condiciones duras con temperaturas, presiones y corrientes eléctricas elevadas, las máquinas moleculares relativamente frágiles de los seres vivos deben utilizar mecanismos más sutiles. Las células generan la mayoría de su energía utilizando reacciones redox en las que se transfieren electrones desde una molécula oxidable a una molécula con deficiencia de electrones. En estas reacciones, los electrones con frecuencia se eliminan o añaden en forma de átomos de hidrógeno (H^+) o iones hidruro (H^-).

Cuanto más reducida está una molécula, es decir, cuantos más átomos de hidrógeno posee, más energía contiene. Por ejemplo, los ácidos grasos contienen proporcionalmente más átomos de hidrógeno que los azúcares y por lo tanto rinden con la oxidación más energía que las moléculas de azúcar.

Cuando se oxidan los ácidos grasos y los azúcares, sus átomos de hidrógeno se eliminan por las coenzimas redox FAD (dinucleótido de flavina y adenina) o NAD^+ , respectivamente. (Las coenzimas son moléculas pequeñas que operan asociadas con las enzimas y sirven como transportadoras de grupos moleculares pequeños o, en este caso, electrones.) Los productos reducidos de este proceso (FADH_2 o NADH , respectivamente) pueden luego transferir los electrones a otro aceptor electrónico.

Siempre que se transfiere un electrón se pierde energía. Las células poseen mecanismos complejos para explotar este fenómeno, de forma que parte de la energía liberada puede capturarse para el trabajo celular. La característica más destacada de la generación de energía en la mayoría de las células es la ruta de transporte electrónico, una serie de moléculas transportadoras de electrones ligadas y embebidas en la membrana. Durante un proceso regulado, se libera la energía al transferirse los electrones desde una molécula transportadora de electrones a otra. Durante varias de estas reacciones redox, la energía que se libera es suficiente para impulsar la síntesis de ATP , la molécula transportadora de energía que suministra directamente la energía que se utiliza para mantenerla gran organización de las estructuras celulares y las funciones celulares.

A pesar de sus muchas semejanzas, los distintos seres vivos difieren en las estrategias precisas que emplean para adquirir la energía de su entorno. Los **autótrofos** son organismos que transforman la energía del sol (**fotoautótrofos**) o diversas sustancias químicas (**quimioautótrofos**) en energía de enlace químico. Los **heterótrofos** obtienen energía degradando moléculas de alimento ya formadas como única fuente de energía. Algunos procariotas y un pequeño número de plantas (p. ej., la planta carnívora que digiere los insectos capturados) son **fotoheterótrofos**, es decir, utilizan como fuentes de energía tanto la luz como las biomoléculas orgánicas.

La fuente última de la energía que utilizan la mayoría de las formas de vida sobre la Tierra es el Sol. Los organismos foto sintetizadores como los vegetales, determinados procariotas y las algas, captan la energía luminosa y la utilizan para transformar el dióxido de carbono (CO_2) en azúcares y otras biomoléculas. Entre los procariotas hay especies quimiótrofas que no obtienen energía del sol. Situadas en lugares exóticos, como los manantiales calientes o enterrados en los estratos rocosos, obtienen la energía requerida para incorporar el CO_2 a las biomoléculas orgánicas oxidando sustancias inorgánicas como el ácido sulfhídrico (SH_2), el nitrito (NO_2^-) o el gas hidrógeno (H_2).

La biomasa producida en ambos tipos de procesos es, a su vez, consumida por organismos heterótrofos que la utilizan como fuente de energía y de materiales estructurales. En cada paso, al reagruparse los enlaces moleculares, parte de la energía se pierde en forma de calor. Antes de que suceda esto, las células utilizan la energía capturada para mantener sus estructuras y actividades complejas.

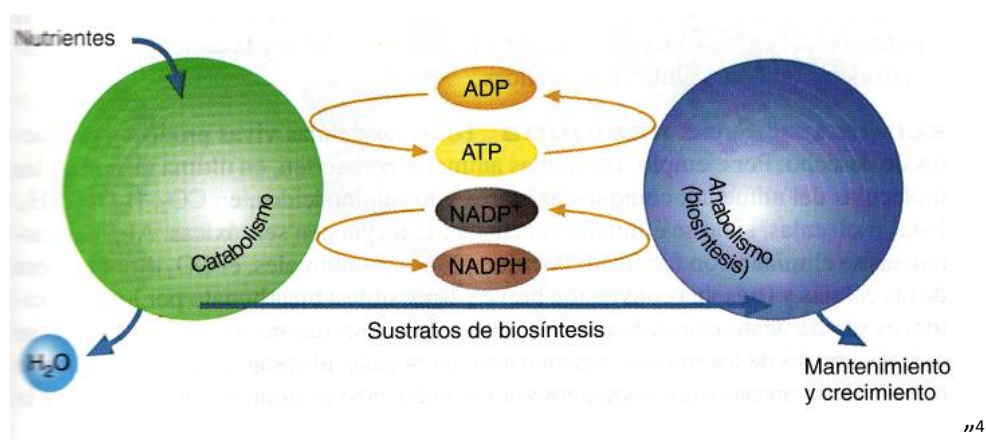
3.3.2. Metabolismo

La suma de todas las reacciones catalizadas por enzimas de un ser vivo, es una actividad coordinada y dinámica. Muchas de estas reacciones están organizadas en rutas. Cada ruta bioquímica está formada por varias reacciones que se producen secuencialmente, es decir, el producto de una reacción es el reactante de la reacción siguiente. Existen dos clases principales de rutas bioquímicas: anabólicas y catabólicas.

En las **rutas anabólicas** o de biosíntesis, se sintetizan grandes moléculas complejas a partir de precursores más pequeños. Los bloques de construcción (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos) producida o adquirida del alimento se incorporan en moléculas grandes más complejas. Dado que la biosíntesis aumenta el orden y la complejidad, las rutas anabólicas requieren un aporte de energía. Entre los ejemplos de procesos anabólicos se encuentran la síntesis de polisacáridos y proteínas a partir de azúcares y aminoácidos, respectivamente.

Durante las **rutas catabólicas** se degradan moléculas grandes complejas a productos más pequeños y sencillos. Algunas rutas catabólicas liberan energía. Una fracción de esta energía se captura y se utiliza para impulsar las reacciones anabólicas.

En la Figura siguiente se explica la relación entre los procesos anabólicos y catabólicos, Al degradarse las moléculas nutrientes, la energía y el poder reductor se conservan en las moléculas de ATP y NADH, respectivamente. Los procesos de biosíntesis utilizan metabolitos del catabolismo, ATP sintetizado y NADPH (dinucleótido de nicotinamida y adenina fosfato reducido, una fuente de poder reductor, es decir, electrones de energía elevada), para crear estructuras y funciones complejas.



⁴ McKee Trudy y McKee James R. Bioquímica, la base molecular de la vida, tercer edición. Editorial Mc Graw Hill. España. 2003 p2-21

Ejercicio

- ▶ Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)
- ▶ La capacidad de los seres vivos para regular los procesos metabólicos a pesar de la variabilidad de sus ambientes interno y externo se denomina Homeostasis.
- ▶ Se denomina catabolismo a la suma total de todas las reacciones en un ser vivo.
- ▶ Las modificaciones del DNA inducidas por las agresiones y los errores al copiar las moléculas del DNA se llaman mutación.
- ▶ Las células que carecen de núcleo son llamadas procariotas.
- ▶ Una de las utilidades de las arequeas es en la biorreparación o biorremediación.
- ▶ Los virus no son seres vivos.
- ▶ Los virus son agentes infecciosos que se autoreproducen insertando su información genética en células hospedadoras susceptibles.
- ▶ En los enlaces covalentes, los átomos están unidos al compartir los electrones que completan los orbitales más externos en cada átomo.
- ▶ La molécula de ATP opera como una reserva celular de energía química

Prueba Final

1. Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)

Uno de los dos descubrimientos más importantes en la historia de la bioquímica es el descubrimiento de la función catalítica de las enzimas.

El investigador Eduard Büchner, describió las enzimas, como moldes rígidos o cerraduras y a los sustratos como sus llaves correspondientes.

El agua es una molécula orgánica.

Las cadenas laterales hidrófobas se disuelven fácilmente en el agua.

A los polipéptidos con más de 50 aminoácidos se les suele denominar proteínas.

La quitina y la celulosa son hidratos de carbono.

Los ácidos grasos insaturados, poseen uno o varios enlaces dobles.

El RNA es un polinucleótido que se diferencia del DNA porque posee la base uracilo en el lugar de la timina.

Se produce una reacción de reducción cuando una molécula gana oxígeno o pierde hidrógeno.

Durante las rutas catabólicas se degradan moléculas grandes, complejas, a productos más pequeños y sencillos.

2. Construya un cuento sencillo, donde describa la historia de una de las biomoléculas de la vida, sus reacciones y sus aplicaciones a la agroindustria.

4. PROTEÍNAS, CARBOHIDRATOS Y LÍPIDOS

OBJETIVO GENERAL

Adquirir la conceptualización de los procesos bioquímicos de los carbohidratos, los lípidos, las proteínas y sus funciones, atributos e interacción con los alimentos, tanto a nivel vegetal como animal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Conocer la composición, clasificación, reacciones, propiedades y otros elementos necesarios en el estudio de las proteínas.
- ▶ Conocer la composición, clasificación, reacciones, propiedades y otros elementos necesarios en el estudio de los carbohidratos.
- ▶ Conocer la composición, clasificación, reacciones, propiedades y otros elementos necesarios en el estudio de los lípidos.

Prueba Inicial

- ▶ Consulte cómo se clasifican las proteínas según su composición, conformación, estructura y explique brevemente.
- ▶ Consulte tres casos en los que se pueda visualizar la desnaturalización de las proteínas en alimentos.
- ▶ Consulte las diferentes formas de purificación y caracterización de las proteínas.

4.1. Proteínas

Objetivo Específico:

Conocer la composición, clasificación, reacciones, propiedades y otros elementos necesarios en el estudio de las proteínas.

“Las proteínas son las moléculas orgánicas más abundantes en las células, constituyendo el 50 por ciento o más de su peso seco. Se encuentran en todas las partes de cada célula, ya que son fundamentales en todos los aspectos de la estructura y función celulares. Existen muchas clases de proteínas diferentes, una cada de ellas especializada en una función biológica diferente. Además la información genética es expresada en su mayor parte por las proteínas. Por esta razón debemos examinar también la naturaleza general de la relación genética entre el ácido desoxirribonucleico y la estructura de las proteínas, así como el efecto de las mutaciones sobre la estructura proteica. La estructura de las moléculas de proteína, así como su relación con su función biológica y actividad constituyen problemas centrales de la bioquímica actual”.

► Composición de las proteínas

Se han aislado centenares de proteínas diferentes en forma pura y cristalina. Todas ellas contienen carbono, hidrogeno, nitrógeno y oxígeno, mientras que casi todas contienen azufre. Las hay que contienen algunos elementos adicionales, particularmente fosforo, hierro, cinc y cobre. Los pesos moleculares de las proteínas son muy elevados, pero por hidrólisis acida, las moléculas proteicas dan una serie de compuestos orgánicos sencillos de bajo peso molecular; son los α -amino-ácidos que difieren entre sí en la estructura de sus grupos R o cadenas laterales. Por lo común, solamente se encuentran 20 α -aminoácidos distintos como sillares de las proteínas.

En las moléculas proteicas los sucesivos restos aminoácidos se hallan unidos covalentemente entre sí formando largos polímeros no ramificados. Están unidos en una ordenación de cabeza a cola mediante unas uniones amida sustituidas llamas enlaces peptídicos, producidas por eliminación de los elementos del agua entre el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino del siguiente. Estas macro moléculas, que reciben el nombre de polipéptidos, pueden contener centenares de unidades de aminoácidos. Las cadenas poli-peptídicas de las proteínas no son, sin embargo, polímeros al azar, de longitud indefinida, cada cadena polipeptídica posee una específica composición química, un peso molecular y una secuencia ordenada de sus aminoácidos estructurales y una forma tridimensional.

Las proteínas se dividen en dos clases principales basándose en su composición: proteínas simples y proteínas conjugadas. Las proteínas simples son aquellas que por hidrólisis producen solamente aminoácidos, sin ningún otro producto principal, orgánico o inorgánico. Contienen habitualmente 50 % de carbono, 7 % de hidrógeno, 23 % de oxígeno, 16 % de nitrógeno y de 0 a 3 % de azufre. Las proteínas conjugadas son aquellas que por hidrólisis producen no solamente aminoácidos, sino también otros componentes orgánicos o inorgánicos. La porción no aminoácida de una proteína conjugada se denomina grupo prostético. Las proteínas conjugadas pueden clasificarse de acuerdo con la naturaleza química de sus grupos prostéticos. De este modo tenemos núcleo-proteínas y lipoproteínas, las cuales contienen ácidos nucleicos y lípidos, respectivamente, así como fosfoproteínas, metaloproteínas y glicoproteínas.

► **Las proteínas pueden clasificarse en dos clases principales, según su conformación.**

Las proteínas fibrosas: se hallan constituidas por cadenas polipeptídicas ordenadas de modo paralelo a lo largo de un eje, formando fibras o láminas largas. Son materiales físicamente resistentes, insolubles en el agua o en las disoluciones salinas diluidas. Las proteínas fibrosas son los elementos básicos estructurales en el tejido conjuntivo de los animales superiores, tales como el colágeno de los tendones y la matriz de los huesos, la α -queratina del cabello, cuerno, cuero, unas y plumas, y la elastina del tejido conjuntivo elástico.

Las proteínas globulares: por otra parte, están constituidas por cadenas polipeptídicas plegadas estrechamente de modo que adoptan formas esféricas o globulares compactas. La mayor parte de las proteínas globulares son solubles en los sistemas acuosos. Generalmente desempeñan una función móvil o dinámica en la célula. De los casi dos millares de enzimas diferentes conocidos hasta ahora casi todos son proteínas globulares, como también lo son los anticuerpos, algunas hormonas y muchas proteínas que desempeñan una función de transporte, tales como la seroalbúmina y la hemoglobina. Algunas proteínas se hallan situadas entre los tipos fibroso y globular, pareciéndose a las proteínas fibrosas por sus largas estructuras cilíndricas, y a las proteínas globulares, por ser solubles en las disoluciones acuosas salinas. Se encuentran entre ellas la miosina, elemento estructural importante del músculo, y el fibrinógeno, precursor de la fibrina, elemento estructural de los coágulos sanguíneos.

El término estructura primaria se refiere al esqueleto covalente de la cadena polipeptídica, y establece de modo específico la secuencia de sus restos aminoácidos. La estructura secundaria se refiere a la ordenación regular y periódica en el espacio de las cadenas polipeptídica a lo largo de una dirección. La estructura secundaria es sobre todo evidente en las proteínas fibrosas, en las que las cadenas polipeptídica poseen una conformación extendida o arrollada longitudinalmente; lo mismo ocurre en segmentos de cadenas polipeptídica de las proteínas globulares. El término estructura terciaria se refiere al modo como la cadena polipeptídica se curva o se pliega para formar la estructura estrechamente plegada y compacta de las proteínas globulares. El término

estructura cuaternaria pone de manifiesto cómo se disponen en el espacio las cadenas individuales polipeptídicas de una proteína que posee más de una cadena. La mayor parte de las grandes proteínas, ya sean fibrosas o globulares, contienen dos o más cadenas polipeptídicas, entre las cuales pueden no existir enlaces covalentes. El término más general de conformación, se emplea para referirse a la estructura combinada secundaria, terciaria y cuaternaria de una proteína.

Las proteínas con dos o más cadenas polipeptídicas se conocen por el nombre de proteínas oligoméricas y sus cadenas componentes se llaman subunidades o protómeros. Un ejemplo bien conocido de proteína oligomérica es la hemoglobina, pigmento respiratorio de los eritrocitos de la sangre, que está constituido por cuatro cadenas polipeptídicas acopladas íntimamente, formando un conjunto globular compacto de considerable estabilidad a pesar de la carencia de enlaces covalentes entre ellas. Las proteínas oligoméricas contienen habitualmente un número par de cadenas polipeptídicas, que pueden ser idénticas o diferir en longitud o secuencia aminoácida. En las subunidades de las proteínas oligoméricas más pequeñas, puede haber desde dos a doce cadenas polipeptídicas, que por lo general no están unidas covalentemente entre sí, puede parecer impropio, o al menos ambiguo referirse a las proteínas oligoméricas como «moléculas», y hablar de su «peso molecular». Sin embargo, en muchas proteínas oligoméricas las cadenas individuales se hallan tan estrechamente unidas que la partícula completa se suele comportar en disolución como una sola molécula. Además, todas las subunidades componentes de las proteínas oligoméricas son necesarias para su función biológica.

4.2. Asociaciones supramoleculares de las proteínas

Algunas veces aparece en las células un conjunto de moléculas de proteína actuando conjuntamente, a modo de agrupación o de complejo que puede aislarse en forma homogénea e incluso cristalina. Un ejemplo de agrupación de macromoléculas relacionadas funcionalmente, llamado agrupación supra-molecular o complejo, es el complejo de la sintetasa de los ácidos grasos, que contiene una molécula de cada uno de los siete enzimas diferentes que se precisan para la biosíntesis de los ácidos grasos.

Este complejo puede ser aislado de las células de levadura en forma homogénea. Los mayores complejos proteicos supramoleculares son los virus, complejos de proteínas y de ácidos nucleicos; algunos virus contienen también lípidos e iones metálicos, uno de los virus menores, posee un peso de partícula de aproximadamente 40 millones, de los cuales alrededor del 5 por ciento, es decir 2 millones, están constituidos por ácido ribonucleico. Los restantes 38 millones son aportados por la porción proteica, constituida por unas 2200 cadenas polipeptídicas idénticas. Sin embargo, las partículas virales se comportan como estructuras aisladas homogéneas que poseen

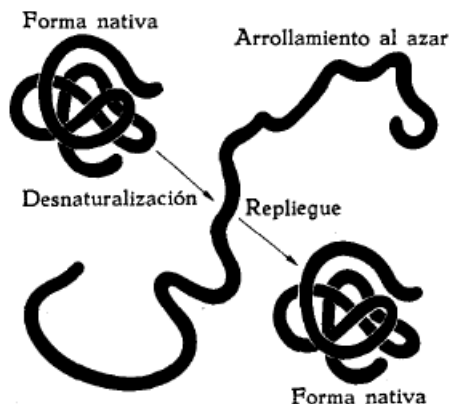
un peso molecular definido, debido a que sus subunidades componentes se hallan empaquetadas muy íntimamente

4.2.1. Desnaturalización

Muchas moléculas proteicas solo retienen su actividad biológica dentro de una fluctuación muy limitada de temperatura y de pH. La exposición de proteínas solubles o globulares a pH extremos o a temperaturas elevadas, les hace experimentar un cambio conocido como desnaturalización, el efecto más visible del cual, consiste en un descenso de su solubilidad. Puesto que los enlaces químicos covalentes del esqueleto peptídico de las proteínas no se rompen durante este tratamiento relativamente suave, se ha llegado a la conclusión que la estructura primaria permanece intacta. La mayor parte de las proteínas globulares experimentan el proceso de desnaturalización cuando se calientan por encima de 60-70 °C. La formación de un coágulo insoluble blanco cuando se hierva la clara de huevo es un ejemplo común de desnaturalización térmica. La consecuencia más significativa de la desnaturalización es que las proteínas pierden su actividad biológica característica. Por ejemplo, al calentar las enzimas se suele perder su capacidad catalítica.

La desnaturalización consiste en el despegamiento de la estructura nativa plegada característica de la cadena polipeptídica de las moléculas de las proteínas globulares.

Desnaturalización y renaturalización de una proteína globular. Después que la cadena peptídica ha sido desplegada —por acción del calor, por exposición a un pH bajo o por tratamiento con urea—, con frecuencia se repliega espontáneamente y adopta la forma nativa.



Cuando la agitación térmica provoca que la estructura nativa plegada se desarrolle o se distienda, originando una cadena libremente ondulada, la proteína pierde su actividad biológica. Aunque cada tipo de proteína posee una composición fija de aminoácidos, así como una determinada secuencia, establecida durante su biosíntesis, la secuencia aminoácida no confiere directamente a la proteína su función biológica o actividad. Sin embargo, veremos que la secuencia aminoácida determina en último extremo la actividad biológica de la proteína ya que de ella depende la conformación nativa o estado de plegamiento de la molécula proteica, gracias a las interacciones reciprocas entre las cadenas laterales de aminoácidos, así como entre el disolvente y solutos.

Esta conclusión es consecuencia del descubrimiento, de que la desnaturalización o desplegamiento de las proteínas nativas, que origina formas enrolladas al azar, desprovistas de actividad biológica, no es un proceso irreversible como se creía. Se han observado muchos casos en que una molécula desplegada recupera su forma nativa en el tubo de ensayo, en un proceso que recibe el nombre de renaturalización.

Si la proteína desnaturalizada fuese un enzima, puede también recuperar su actividad catalítica por renaturalización, sin ningún cambio en la especificidad de la reacción catalizada. Sin embargo, la renaturalización de una proteína desnaturalizada no desarrolla ninguna actividad biológica que no se hallase ya presente en la proteína original. Estos hechos indican, por tanto, que la secuencia de aminoácidos en la cadena polipeptídica contiene la información requerida para especificar su conformación plegada nativa, y que esta conformación nativa determina su actividad biológica.

4.2.2. Diversidad funcional de las proteínas

Las proteínas poseen muy diversas funciones biológicas diferentes. La tabla siguiente da algunos ejemplos representativos de los diferentes tipos de proteínas, clasificados de acuerdo con su función. Los enzimas representan la clase más amplia. Se conocen cerca de dos millares de enzimas diferentes, cada uno de los cuales cataliza un tipo diferente de reacción química. Las enzimas poseen extraordinaria potencia catalítica, mucha más que los catalizadores fabricados por el hombre. Son extraordinariamente específicas en su función.

La enzima hexoquinasa cataliza la transferencia de un grupo fosfato desde el trifosfato de adenosina (ATP) a la glucosa, siendo la primera etapa del metabolismo de la glucosa. Otras enzimas deshidrogenan moléculas de combustible. Y otras, como por ejemplo, el citocromo *c*, transfieren electrones hacia el oxígeno molecular durante la respiración, o bien, como la DNA polimerasa y los enzimas activadores de aminoácidos, participan en la biosíntesis de los componentes celulares. Cada tipo de molécula de enzima tiene un centro activo al que se une su sustrato específico durante el ciclo catalítico.

TABLA 3-3. Clasificación de las proteínas por su función biológica.

<i>Tipos y ejemplos</i>	<i>Localización o función</i>
Enzimas	
Hexoquinasa	Fosforila glucosa
Lactato-deshidrogenasa	Deshidrogena lactato
Citocromo c	Transfiere electrones
DNA-polimerasa	Replica y repara DNA
Proteínas de reserva	
Ovoalbúmina	Proteína de la clara de huevo
Caseína	Proteína de la leche
Ferritina	Reserva de hierro en el bazo
Gliadina	Proteína de la semilla de trigo
Ceína	Proteína de la semilla de maíz
Proteínas transportadoras	
Hemoglobina	Transporta O ₂ en la sangre de los vertebrados
Hemocianina	Transporta O ₂ en la sangre de algunos invertebrados
Mioglobina	Transporta O ₂ en el músculo
Seroalbúmina	Transporta ácidos grasos en la sangre
β_1 -Lipoproteína	Transporta lípidos en la sangre
Globulina que liga hierro	Transporta hierro en la sangre
Ceruloplasmina	Transporta Cu en la sangre
Proteínas contráctiles	
Miosina	Filamentos estacionarios en las miofibrillas
Actina	Filamentos móviles en las miofibrillas
Dineína	Cilios y flagelos
Proteínas protectoras en la sangre de los vertebrados	
Anticuerpos	Forman complejos con proteínas extrañas
Complemento	Complejos con algunos sistemas antígeno-anticuerpo
Fibrinógeno	Precursor de la fibrina en la coagulación sanguínea
Trombina	Componente del mecanismo de coagulación
Toxinas	
Toxina de <i>Clostridium botulinum</i>	Origina envenenamiento bacteriano de los alimentos
Toxina diftérica	Toxina bacteriana
Venenos de serpiente	Enzimas que hidrolizan los fosfoglicéridos
Ricina	Proteína tóxica de la semilla del ricino
Gosipina	Proteína tóxica de la semilla del algodón
Hormonas	
Insulina	Regula el metabolismo de la glucosa
Hormona adrenocorticotrópica	Regula la síntesis de corticosteroides
Hormona del crecimiento	Estimula el crecimiento de los huesos
Proteínas estructurales	
Proteínas recubrimiento viral	Cubierta alrededor del cromosoma
Glucoproteínas	Recubrimientos celulares y paredes
α -Queratina	Piel, plumas, uñas, pezuñas
Esclerotina	Exoesqueletos de los insectos
Fibroína	Seda de los capullos, telarañas
Colágeno	Tejido conectivo fibroso (tendones, hueso, cartílago)
Elastina	Tejido conectivo elástico (ligamentos)
Mucoproteínas	Secreciones mucosas, fluido sinovial

Muchas enzimas contienen una sola cadena polipeptídica, pero en otras hay varias o muchas cadenas. Algunas enzimas se hallan más especializados y desempeñan una función reguladora

además de su actividad catalítica: son los llamados enzimas reguladoras o alostéricos. Virtualmente, todas las enzimas son proteínas globulares, como se dijo ya anteriormente. Como los enzimas catalizan las reacciones químicas constituye uno de los problemas principales de la bioquímica moderna.

Otra clase importante de proteínas desempeña la función de almacenar aminoácidos como elementos nutritivos y como sillares para el embrión en crecimiento, por ejemplo, la ovoalbúmina de la clara de huevo, la caseína de la leche y la gliadina de las semillas de trigo.

Algunas proteínas desempeñan una función de transporte, para lo cual son capaces de unirse y transportar tipos específicos de moléculas por la sangre. La seroalbúmina se une estrechamente a los ácidos grasos libres, y de este modo transporta sus moléculas entre el tejido adiposo y otros órganos de los vertebrados. Las Lipoproteínas del plasma sanguíneo transportan lípidos entre el intestino, el hígado y los tejidos adiposos (grasos). La hemoglobina de los eritrocitos de los vertebrados transporta oxígeno desde los pulmones a los tejidos; los invertebrados poseen otros tipos de moléculas proteicas transportadoras de oxígeno, tales como las hemocianinas.

Otros tipos de proteínas actúan como elementos esenciales de los sistemas motiles y contráctiles. La actina y la miosina son los dos elementos proteicos principales de los sistemas contráctiles del musculo; la actina es una proteína filamentosa, larga, constituida por muchas cadenas globulares polipeptídicas y ordenada como una sarta de cuentas, y la miosina es una molécula semejante a una larga varilla cilíndrica, constituida por dos cadenas polipeptídicas entrelazadas helicoidalmente. En los músculos, estas proteínas están ordenadas en disposiciones paralelas y se deslizan unas a lo largo de las otras durante la contracción.

Algunas proteínas desempeñan una función protectora o defensiva. Las proteínas sanguíneas trombina y fibrinógeno participan en la coagulación de la sangre e impiden de este modo la pérdida de sangre del sistema vascular de los vertebrados, pero las proteínas protectoras más importantes son los anticuerpos o inmunoglobulinas las cuales se combinan con las proteínas extrañas y así las neutralizan, o con otros cuerpos que se han introducido en la sangre o en los tejidos de un vertebrado determinado. En realidad el estudio de los anticuerpos ha conducido a la conclusión de que cada especie de organismo posee su propio con junto específico de moléculas proteicas.

Las toxinas, o sea, sustancias que son extremadamente tóxicas para los animales superiores en cantidades muy pequeñas, representan otro grupo de proteínas, que incluye a la ricina de la semilla del ricino, a la gossipina de las semillas de algodón, a la toxina diftérica y a la toxina de la bacteria anaerobia *Clostridium botulinum*, que es responsable de algunos tipos de envenenamiento por alimentos.

Entre las proteínas más interesantes se hallan aquellas que actúan como hormonas, tales como la hormona del crecimiento o somatotropina, una hormona de la glándula pituitaria anterior. La insulina, segregada por ciertas células especializadas del páncreas, es una hormona que regula el metabolismo de la glucosa; su deficiencia en el hombre provoca la enfermedad conocida como diabetes melitus.

Otra clase de proteínas comprende a las que actúan como elementos estructurales. En los vertebrados, la proteína fibrosa colágeno, es la principal proteína estructural extra celular en el tejido conectivo y en el hueso. Las fibrillas de colágeno colaboran también en la formación de un continuo estructural uniendo entre sí grupos de células para formar un tejido. Otras dos proteínas de los vertebrados son la elastina, del tejido elástico amarillo, y la α -queratina, mencionada anteriormente. El cartílago contiene no solamente colágeno sino también glucoproteínas, que confieren propiedades lubricantes y deslizantes a las secreciones mucosas y al fluido sinovial de las articulaciones de los vertebrados.

Además de estas clases principales de proteínas, algunas otras tienen funciones poco habituales. Las arañas y los gusanos de seda segregan una disolución espesa de la proteína fibroína, la cual se solidifica rápidamente formando un filamento insoluble de fuerza tensil excepcional y que sirve para formar telarañas y capullos. La sangre de algunos peces que habitan en las aguas antárticas, a temperaturas inferiores a cero grados, contiene una proteína que impide la congelación de la sangre, y que recibe, muy adecuadamente, el nombre de proteína «anticongelante». La monelina es una proteína de sabor dulce, encontrada en algunos frutos; cuando se desnaturaliza no conserva su sabor dulce.

Es extraordinario que todas las proteínas incluso las que ejercen efectos biológicos o tóxicos intensos, estén constituidas por los mismos 20 aminoácidos, los cuales por sí mismos no poseen sino poco o ningún efecto biológico y toxico. La conformación tridimensional es la que confiere a cada proteína su actividad biológica específica; la conformación, por su parte, está determinada por la secuencia específica de los aminoácidos en sus cadenas polipeptídica.

4.3. Anticuerpos y respuesta inmune; especificidad de especie de las proteínas

Entre la gran variedad de diferentes proteínas de los organismos vivos los anticuerpos o inmunoglobulinas han sido de la máxima importancia en la demostración de que las proteínas son específicas de cada especie de organismo. Las moléculas de anticuerpo aparecen en el suero sanguíneo y en ciertas células de un vertebrado en respuesta a la introducción de una proteína u otra macromolécula extraña a aquella especie.

Tal especie de macromolécula extraña se denomina antígeno. Las moléculas del anticuerpo específico, engendradas de este modo pueden combinarse con el antígeno que indujo su formación y constituir un complejo antígeno-anticuerpo. Esta reacción se llama respuesta inmunitaria y constituye la base de todo el campo de la inmunología.

La inmunidad frente a las enfermedades infecciosas puede conferirse, frecuentemente, inyectando cantidades muy pequeñas de ciertos componentes macromoleculares (es decir, antígenos) del microorganismo o del virus causante. Un anticuerpo específico o inmunoglobulina se forma como respuesta al antígeno extraño y puede persistir en la sangre durante mucho tiempo. Si el microorganismo tuviera acceso a la sangre o la linfa en cualquier ocasión futura, los anticuerpos así formados pueden neutralizar o inactivar al microorganismo al combinarse con sus componentes antigénicos. La respuesta inmune aparece solamente en los vertebrados y constituye, por tanto, un producto bastante reciente de la evolución biológica

Las moléculas de anticuerpo poseen centros de unión que son específicos para las características estructurales del antígeno que indujo su formación y complementarios respecto a ellas. La molecular del anticuerpo posee dos centros de unión que hacen posible la formación de una red tridimensional de moléculas alternantes de antígeno y de anticuerpo; dado que en último término precipita del suero, recibe el nombre de precipitina

Los anticuerpos son muy específicos para las proteínas extrañas que inducen su formación. Un anticuerpo de conejo, formado frente a albumina de huevo de gallina, por ejemplo, se combinara con la última, pero no con proteínas no relacionadas, como la hemoglobina humana. Tal anticuerpo es específico para la estructura tridimensional de la albumina de huevo de gallina, de modo que si este último es calentado o desnaturalizado para desplegar sus cadenas polipeptídicas, o si es modificado químicamente, el anticuerpo ya no se combinara con él.

La aplicación de la reacción, altamente específica, antígeno-anticuerpo al estudio de diversas proteínas de diferentes especies de organismos ha permitido obtener cierto número de conclusiones importantes:

La primera es que proteínas funcionalmente diferentes de una misma especie conducen a la formación de anticuerpos diferentes. Así, cuando un conejo se inmuniza frente a hemoglobina de caballo, los anticuerpos formados precipitarán la hemoglobina de caballo, pero no de cualquier otra proteína del caballo.

La segunda conclusión principal, con implicaciones biológicas de largo alcance, es que las proteínas homólogas de especies diferentes no son idénticas inmunológicamente. Son proteínas homologas aquellas que poseen funciones similares, tales como las hemoglobinas de distintas especies de vertebrados. Aunque las hemoglobinas de los diferentes mamíferos poseen la misma función y aproximadamente el mismo peso molecular, y así todas contienen cuatro átomos de hierro, cuatro anillos porfirínicos y cuatro cadenas peptídicas, no obstante, son moléculas inmunológicamente distintas. Los anticuerpos producidos por el conejo después de la inmunización con hemoglobina de caballo, por ejemplo, reaccionan al máximo con hemoglobina de caballo pero son mucho menos activas con hemoglobinas de otros vertebrados.

Una tercera conclusión consiste en que la especificidad como anticuerpo refleja relaciones filogenéticas. Las proteínas homologas de especies estrechamente relacionadas tienen una identidad más aproximada que las de especies muy distintas. Así, aunque los anticuerpos formados por el conejo frente a la hemoglobina de caballo reaccionaran mejor con hemoglobina de caballo, también lo harán con las hemoglobinas de aquellas especies más estrechamente relacionadas con el caballo, tales como la cebra, la vaca, el cerdo y otros ungulados, mientras que las hemoglobinas de roedores, pájaros y anfibios serán, con mucho, menos reactivas.

Las diferencias estructurales que existen entre las proteínas homologas de las diferentes especies, que fueron reveladas en un principio por la reacción antígeno-anticuerpo, son resultado de diferencias entre sus secuencias aminoácidas. Cuanto más estrechamente relacionadas se hallen dos especies de organismos, tanto más semejantes son las secuencias aminoácidos de sus proteínas homólogas.

4.4. Isomería secuencial en las cadenas polipeptídica

En páginas anteriores calculábamos que el número total de clases diferentes de proteínas en todas las especies de organismos vivos es del orden de 10^{10} a 10^{12} . ¿Puede construirse este enorme número de proteínas diferentes, cada una con su secuencia aminoácida propia, a partir de solamente 20 aminoácidos distintos? Es posible contestar a esta pregunta partiendo solo de

consideraciones matemáticas. En un dipéptido que contenga únicamente dos aminoácidos diferentes, A y B, son posibles dos isómeros secuenciales, a saber, A-B y B-A. En un tripéptido que contenga tres aminoácidos diferentes, son posibles seis ordenaciones distintas de la secuencia de los tres aminoácidos: A-B-C, A-C-B, B-A-C, B-C-A, C-A-B y C-B-A.

En la teoría de las permutaciones, la expresión general para el número de posibles ordenaciones secuenciales de objetos diferentes, viene dada por la expresión $n!$ (factorial de n), en la que n es el número de objetos diferentes. Para un tetrapéptido que posea cuatro aminoácidos diferentes, $4! = 4 \times 3 \times 2 \times 1 = 24$ secuencias diferentes posibles. Para un polipéptido de 20 aminoácidos diferentes, en el que cada uno de los aminoácidos aparece una sola vez, el número de ordenaciones secuenciales posibles es de $20!$, es decir, $20 \times 19 \times 18 \times 17 \times 16 \times \dots$ la cual asciende a la sobrecogedora cifra de 2×10^{18} . Pero se trata solamente de una pequeña cadena polipeptídica (peso molecular ≈ 2600), y cada uno de los aminoácidos aparece una sola vez.

Si consideramos ahora una proteína de peso molecular 23000 que contenga 12 aminoácidos diferentes en números iguales, se ha calculado que son posibles unos 10^{300} isómeros secuenciales. Lo mismo que el alfabeto inglés de 26 letras puede ser empleado para confeccionar un número enormemente grande de palabras escritas, así los 20 aminoácidos diferentes pueden utilizarse para construir un número casi ilimitado de proteínas distintas. Descifrar las secuencias aminoácidas de diferentes proteínas y relacionarlas con las propiedades y funciones de la proteína y con la filogenética del organismo, constituyen los objetivos principales de la bioquímica contemporánea.

4.4.1. Codificación genética de las secuencias aminoácidas de las proteínas

Debido a que la estructura y función de las proteínas son en último término un reflejo "de su secuencia aminoácida, difícilmente podríamos discutir las proteínas y sus actividades biológicas sin poseer al menos un conocimiento rudimentario de la naturaleza de la relación molecular entre genes y proteínas. Estas relaciones proporcionan una visión penetrante en la bioquímica comparativa de las proteínas en las diferentes especies, y en la evolución de las moléculas proteicas. La información genética está contenida en el ácido desoxirribonucleico (DNA), que es la macromolécula informativa de los cromosomas.

Esta información instruye a cada célula para producir un conjunto característico de proteínas, de acuerdo con el axioma central de la genética molecular; es decir: la información genética circula en la dirección $\text{DNA} \rightarrow \text{RNA} \rightarrow \text{proteína}$.

La secuencia aminoácida de la cadena polipeptídica de cada tipo de proteína es la que resulta especificada o codificada en último término por la secuencia de restos nucleotídicos en el ácido

desoxirribonucleico (DNA). El segmento de una molécula de DNA, especificando una cadena polipeptídica completa se llama cistrón o gen. Cada aminoácido se halla codificado por tres restos nucleotídicos sucesivos en el DNA, conjunto que se llama triplete codificador. Sin embargo, los genes permanecen en los cromosomas normalmente y no actúan directamente como matrices de codificación durante la biosíntesis de las proteínas, la cual tiene lugar en los ribosomas. En su lugar, el mensaje genético del gen se transmite primero enzimáticamente para formar un tipo específico de ácido ribonucleico llamado RNA mensajero (mRNA), cuya secuencia nucleotídica es complementaria con la del DNA del gen. Los tripletes codificadores del mRNA, o codones, que son complementarios de los del DNA, actúan como matriz inmediata y proporcionan la información genética que especifica la secuencia de los aminoácidos durante la biosíntesis de proteína en los ribosomas.

La secuencia de los tripletes codificadores en el DNA se corresponde de un modo lineal o secuencial; es decir, es colineal con la secuencia aminoácida de la cadena polipeptídica a la cual codifica, gracias a la actuación intermedia del RNA como matriz.

4.4.1.1 Mutaciones

A veces un gen específica a una proteína determinada, experimenta un cambio químico como resultado de una acción física, por ejemplo, rayos X, radiactividad o acción de algunos agentes químicos, de modo que una de las tres bases de un triplete codificador para un resto aminoácido, resulta alterada o se cambia; a veces puede verificarse la inserción de un nucleótido nuevo.

Como resultado la secuencia continua normal o sin coma de los tripletes codificadores del RNA resulta alterada y produce una alteración correspondiente en la secuencia nucleotídica del mRNA, la cual a su vez codifica una cadena polipeptídica alterada. En una cadena polipeptídica anormal pueden resultar sustituidos uno o varios aminoácidos de su secuencia específica por otros, y por consiguiente puede resultar defectuosa para efectuar su función biológica. El estudio experimental de las proteínas alteradas mutacionalmente es de gran importancia, ya que, para empezar, puede revelar cuáles son los restos aminoácidos de una cadena polipeptídica que son esenciales para la estructura y la función de una proteína.

Con este esbozo sobre la estructura y la biología de las proteínas como orientación, podemos ahora proceder a examinar la estructura de las proteínas más detalladamente”⁵.

⁵ Nelson, David L. Cox, Michael M. Lehninger Principios de Bioquímica .Ediciones Omega. Ed. #3. España 2001. Capítulo 3 pág. 59-72 buscar en la página web <http://quimicaclinicauv.blogspot.com/2007/06/libro-gratis-de-bioquimica.html>

4.4.1.2 Purificación y caracterización

Las proteínas pueden separarse entre sí basándose en las diferencias de (1) tamaño, (2) propiedades de solubilidad, (3) carga eléctrica, (4) comportamiento frente a la adsorción, y (5) afinidad biológica de una proteína para un ligando específico. La separación de proteínas basándose en el tamaño molecular puede realizarse mediante diferentes formas de centrifugación en gradiente de densidad y por cromatografía de exclusión molecular. Las proteínas pueden separarse también, basándose en la diferencia de solubilidades, según cuatro variables: el pH, la fuerza iónica, la constante dieléctrica del medio y la temperatura. Las precipitaciones por salado y en el punto isoelectrico son de la mayor utilidad. La separación de las proteínas basándose en la carga eléctrica depende de sus propiedades ácido-básicas, que constituyen un reflejo de los grupos R ionizables de la(s) cadena(s) polipeptídica(s). Cada proteína posee un pH isoelectrico característico, en el cual no se desplaza en el campo eléctrico. Por encima del pH isoelectrico posee una carga negativa y por debajo del, una carga positiva neta.

Las mezclas de proteínas pueden separarse basándose en sus velocidades relativas de movimiento en un campo eléctrico, bien por electroforesis libre en solución acuosa o por electroforesis de zona en un gel o soporte semisólido. La electroforesis discontinua y el electro enfoque isoelectrico proporcionan una gran capacidad de resolución. Las proteínas pueden separarse también mediante cromatografía de intercambio iónico.

La purificación de las proteínas incluye (1) la disponibilidad de un método específico de determinación, (2) de un método para liberar la proteína de la célula, ya sea en forma soluble, o bien asociada con un orgánulo subcelular, (3) la extracción de la proteína del orgánulo, en caso de ser necesario y (4) el empleo de una secuencia de métodos diferentes de fraccionamiento hasta alcanzar una actividad específica máxima y constante de la proteína, y se ha establecido su homogeneidad por criterios fisicoquímicos, tales como la electroforesis sobre gel o el electro enfoque isoelectrico.

El peso molecular de una proteína puede determinarse a partir del conocimiento de su composición química, de las medidas de presión osmótica, de las de velocidad de sedimentación o equilibrio, o por medio de la cromatografía en gel de exclusión. Las cadenas polipeptídica de las subunidades pueden separarse y determinar su peso molecular por electroforesis en gel en presencia de un detergente tal como el dodecilsulfato sódico”⁶.

⁶ Nelson, David L. Cox, Michael M. Lehninger Principios de Bioquímica .Ediciones Omega. Ed. #3 España 2001. Capítulo 7 pág. 185-186

Ejercicio

Seleccione la única respuesta correcta.

Las proteínas fibrosas son elementos estructurales del tejido conjuntivo de:

- ▶ Las plantas
- ▶ Animales superiores
- ▶ Las algas

Los mayores complejos proteicos supramoleculares son:

- ▶ Virus
- ▶ Levaduras
- ▶ Ácidos grasos

La exposición de proteínas solubles o globulares a pH extremos o temperaturas elevadas les hace experimentar un cambio conocido como:

- ▶ Homogenización
- ▶ Desnaturalización
- ▶ Solubilización

Son proteínas homologas aquellas que poseen funciones:

- ▶ paralelas
- ▶ iguales
- ▶ similares

No es una variable en la cual se puedan separar proteínas basados en diferencias de solubilidades:

- ▶ pH
- ▶ Tº
- ▶ presión

4.5. Carbohidratos

OBJETIVO ESPECÍFICO

Conocer la composición, clasificación, reacciones, propiedades y otros elementos necesarios en el estudio de los carbohidratos.

▶ Azúcares, polisacáridos de reserva y paredes celulares

Los hidratos de carbono, sacáridos o glúcidos se definen sencillamente, como polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas y sus derivados. Muchos poseen la fórmula empírica $(CH_2O)_n$, que daba a entender, en su origen, que se trataba de «hidratos» de carbono. Los monosacáridos, también llamados azúcares sencillos, están constituidos por una sola unidad de poli-hidroxialdehído o polihidroxicetonas.

El monosacárido más abundante es la D-glucosa, tiene seis átomos de carbono; es el monosacárido originario del que se derivan muchos más. La D-glucosa es el combustible principal para la mayor parte de los organismos, y es también la unidad estructural básica de los polisacáridos más abundantes, tales como el almidón y la celulosa.

Los oligosacáridos (del griego oligo «pocos»), contienen de dos a diez unidades de monosacáridos unidas mediante enlaces glucosídicos. Los polisacáridos contienen muchas unidades de monosacáridos enlazadas, formando cadenas lineales o ramificadas. Muchos polisacáridos contienen unidades de monosacáridos que se repiten, bien de una sola clase, o de dos clases, que se alternan.

Los polisacáridos desempeñan dos funciones biológicas principales: una como almacenadores de combustible y otra como elementos estructurales. En la biosfera hay, probablemente, más cantidad de glúcidos (hidratos de carbono) que de toda la demás materia orgánica junta, lo cual es debido en gran parte a la abundancia en el mundo de las plantas de dos polímeros de la D-glucosa, el almidón y la celulosa.

El almidón es la principal forma de almacenamiento de combustible en la mayor parte de los vegetales, mientras que la celulosa es el principal componente extracelular de las paredes celulares rígidas y de los tejidos fibrosos y leñosos de los mismos. El glucógeno, que se parece al almidón en su estructura, es el principal glúcido de reserva en los animales. Otros polisacáridos desempeñan el papel de componentes principales de las paredes celulares de las bacterias y de las cubiertas celulares blandas de los tejidos animales.

► Familias de monosacáridos

Los monosacáridos tienen la fórmula empírica $(CH_2O)_n$ en la que $n = 3$ o un número mayor. El esqueleto carbonado de los monosacáridos corrientes no está ramificado y todos los átomos de carbono, excepto uno, poseen un grupo hidroxilo; en el átomo de carbono restante existe un oxígeno carbonílico, que, como veremos, se halla frecuentemente combinado formando un enlace acetal o cetal. Si el grupo carbonilo se halla al final de la cadena, el mono sacárido es un derivado aldehídico y recibe el nombre de aldosa; si se encuentra en cualquier otra posición, el monosacárido es un derivado cetónico y recibe el nombre de cetosa. Los monosacáridos más sencillos son las triosas, de tres átomos de carbono, el gliceraldehído y la dihidroxiacetona. El gliceraldehído es una aldotriosa la dihidroxiacetona es una cetoriosa.

Entre los monosacáridos se encuentran las tetrasas (cuatro carbonos), las pentosas (cinco carbonos), las hexosas (seis carbonos), las heptosas (siete carbonos) y las octosas (ocho carbonos). Cada una de ellas existe en dos series; o sea, aldotetrasas y cetotetrasas, aldopentosas y cetopentosas, aldohexosas y cetoheptosas, entre otras. Las aldopentosas son, sin embargo, importantes componentes de los ácidos nucleicos y de varios polisacáridos; los derivados de las triosas y de las heptosas son intermediarios en el metabolismo de los glúcidos. Todos los monosacáridos sencillos son sólidos, blancos, cristalinos, muy solubles en agua, pero insolubles en los disolventes no polares. La mayor parte de ellos tienen sabor dulce.

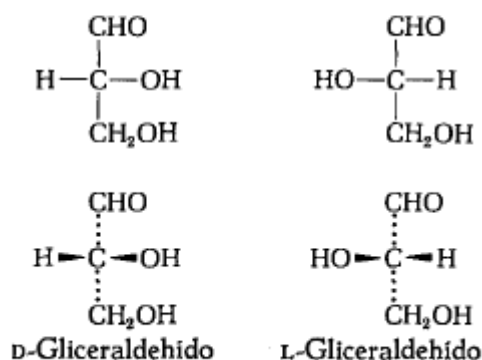
► Estereoisometría de los monosacáridos

Todos los monosacáridos, a excepción de la dihidroxiacetona, poseen uno o más átomos de carbono asimétricos y son, por tanto, moléculas quirales. El gliceraldehído contiene solamente un átomo de carbono asimétrico y puede existir, por tanto, en las formas de dos estereoisómeros diferentes (fig. 10-4). Debe recordarse que el D- y L-gliceraldehído son los compuestos de

referencia o progenitores para designar la configuración absoluta de todos los estereoisómeros. Las aldotetrosas poseen dos átomos de carbono asimétricos y las Aldopentosas, tres. Las aldohexosas poseen cuatro átomos de carbono asimétrico y pueden existir en las formas de $2^n = 2^4 = 16$ estereoisómeros diferentes.

FIGURA 10-4

Estereoisómeros del gliceraldehído mostrando las fórmulas de proyección (parte superior) y en perspectiva (parte inferior). Véase figura 4-12, pág. 84).



Como era de esperar, los monosacáridos que contienen átomos de carbono asimétrico muestran actividad óptica. Por ejemplo, la forma habitual de la glucosa hallada en la naturaleza es dextrorrotatoria ($[\alpha]_D^{20} = +52,7^\circ$), mientras que la forma corriente de la fructosa es levorrotatoria ($[\alpha]_D^{20} = -92,4^\circ$). En realidad, ambas son miembros de la serie D, ya que sus configuraciones absolutas están emparentadas con la del D-gliceraldehído.

Para aquellos azúcares que poseen dos o más átomos de carbono asimétricos, se ha adoptado la convención de que los prefijos D- y L-se refieren al átomo de carbono asimétrico más alejado del átomo de carbono carbonílico.

Las fórmulas de proyección de las D-aldosas, poseen todas la misma configuración del átomo de carbono asimétrico más alejado del carbono carbonílico, pero dado que la mayoría de ellas poseen dos, o más átomos de carbono asimétricos, existe cierto número de D-aldosas isómeras. Las de máxima importancia biológica son el D-gliceraldehído, la D-ribosa, la D-glucosa, la D-manosa y la D-galactosa.

Las cetosas se designan, a veces, introduciendo la sílaba ul, en el nombre de la correspondiente aldosa; por ejemplo, la D-ribulosa es la cetopentosa correspondiente a la aldopentosa D-ribosa. Biológicamente, las cetosas más importantes son la dihidroxiacetona, la D-ribulosa y la D-fructosa. Las aldosas y las cetosas de la serie I son imágenes especulares de sus correspondientes formas D. En la naturaleza se encuentran L-azúcares, pero no son tan abundantes como los D-azúcares. Entre los más importantes se hallan la L-fucosa, la L-ramnosa y la L-sorbosa.

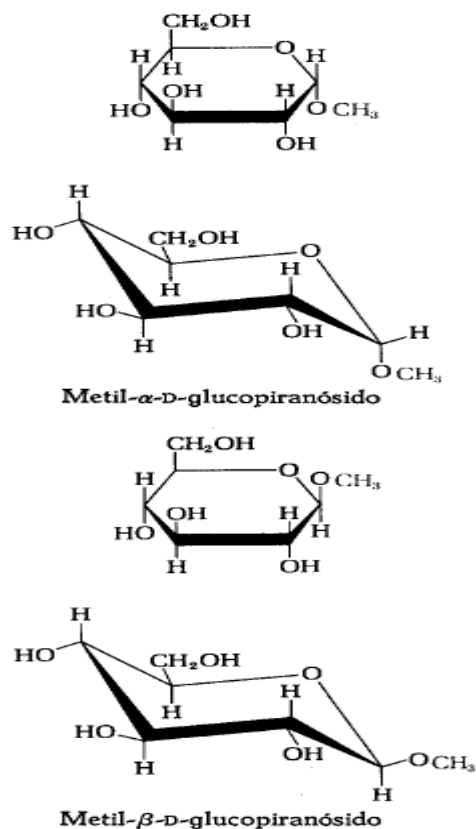
Dos azúcares que difieren únicamente en la configuración de un átomo de carbono específico son epímeros uno del otro. La D-glucosa y la D-manosa son epímeros respecto al átomo de carbono 2, y la D-glucosa y la D-galactosa son epímeros con respecto al átomo de carbono 4

► Derivados importantes de los monosacáridos

► Glucósidos

Las aldopiranosas reaccionan fácilmente con los alcoholes en presencia de un ácido mineral, formando α y β -glucósidos. Los glucósidos son acetales mixtos asimétricos formados por la reacción del átomo de carbono anomérico del hemiacetal intramolecular o forma piranósica de la aldohexosa, con un grupo hidroxilo aportado por un alcohol. Este enlace se llama enlace glucosídico. El átomo de carbono anomérico de los glucósidos es asimétrico. La D-glucosa forma, con el metanol, el metil- α -D-glucopiranosido ($[\alpha]_D^{20} = +158,9^\circ$) y el metil- β -D-glucopiranosido ($[\alpha]_D^{20} = -34,2^\circ$), que podemos ver en la figura.

*Proyecciones de Haworth (parte superior)
 y fórmulas de conformación (parte
 inferior) de los metil-D-glucósidos
 anoméricos.*



El enlace glucósidicos se forma también por reacción del carbono anomérico de un monosacárido con un grupo hidroxilo de otro monosacárido para rendir un disacárido. Los oligosacáridos y los polisacáridos están constituidos por cadenas de monosacáridos unidos mediante dichos enlaces glucósidicos. El enlace glucósidicos es estable frente a las bases, pero se hidroliza por ebullición con ácido, rindiendo el monosacárido y el alcohol libres. Los glucósidos son también hidrolizados por los enzimas llamados glucosidasas, los cuales difieren en su especificidad, según el tipo de enlace glucósidicos (α o β) y la estructura del monosacárido y del alcohol componentes.

Puede establecerse si un glucósido determinado existe en forma de furanosa o de piranosa, mediante degradación oxidante con ácido periódico, que provoca la escisión de los compuestos 1,2-hidroxílicos. El tratamiento del metil- α -D-glucopiranosido con periodato produce la ruptura del anillo de piranosa, y se forma un dialdehído y ácido fórmico. La escisión mediante periodato del metil- α -D-arabinofuranósido produce el mismo dialdehído, pero no se forma ácido fórmico.

N-glucositaminas (N-glucosidos)

Las aldosas y las cetosas reaccionan con las aminas en un disolvente apropiado formando N-glucosilaminas, llamadas también N-glucosidos. Estos compuestos son biológicamente muy importantes. En los nucleótidos y en los ácidos nucleicos, los átomos de nitrógeno de las bases purínicas y pirimidínicas forman enlaces N-glucosilamina con el átomo de carbono 1 de la D-ribosa o de la 2-desoxi-D-ribosa.

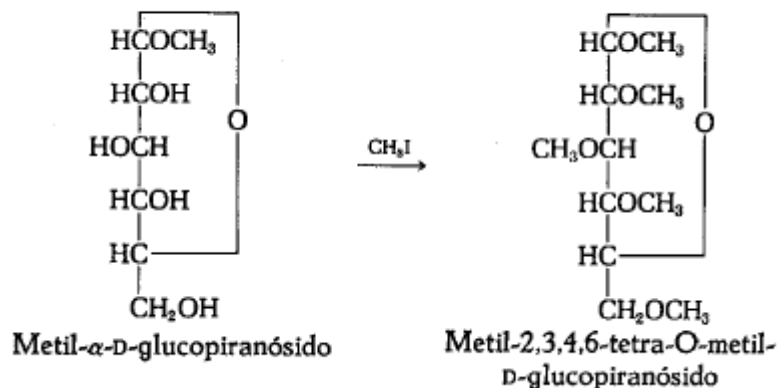
O-acil derivados

Los grupos hidroxilo libres de los monosacáridos y de los disacáridos pueden acilarse originando O-acil derivados, los cuales son útiles en la determinación de estructuras. El tratamiento de la α -D-glucosa, por ejemplo, con exceso de anhídrido acético rinde la penta-O-acetil- α -D-glucosa. Todos los grupos hidroxilo de un monosacárido pueden acilarse, aunque difieren algo en su reactividad. Los ésteres resultantes pueden hidrolizarse de nuevo.

► Metil-derivados

Los grupos hidroxilo de los monosacáridos pueden también metilarse. El grupo hidroxilo del átomo de carbono anomérico reacciona fácilmente con metanol en presencia de ácido para formar metilglucosidos, que son acetales, como ya hemos visto. Los restantes grupos hidroxilo de los monosacáridos necesitan condiciones mucho más drásticas para la metilación, como por ejemplo el tratamiento con sulfato de dimetilo o con yoduro de metilo más óxido de plata. En este caso se forman éteres metílicos y no metilacetales. Estos últimos se hidrolizan fácilmente mediante ebullición con ácido, mientras que los éteres metílicos no lo hacen. La metilación de todos los grupos hidroxilo libres de un hidrato de carbono se llama metilación exhaustiva: se emplea corrientemente para establecer las posiciones de los sustituyentes, por ejemplo, los grupos amino, los grupos fosfato o los enlaces glucosídicos en los derivados cuyo grupo hidroxilo ya no se halla libre y no puede formar un éter; esta técnica sirve también para determinar si un monosacárido dado es una furanosa o una piranosa. La metilación del metil- α -D-glucopiranosido, por ejemplo, produce el metil-2.3.4.6-tetra-O-metil- D-glucopiranosido.

Metilación exhaustiva.



► Osazonas

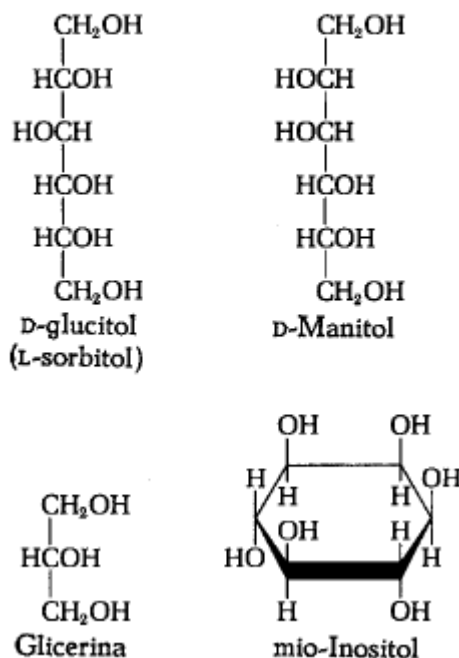
Los monosacáridos en disolución ligeramente ácida a 100 °C reaccionan con un exceso de fenilhidracina y forman fenilosa-zonas. Que son insolubles en agua y cristalizan con facilidad. La glucosa, la fructosa y la manosa forman una misma osazona, ya que las diferencias de estructura y configuración en torno a los átomos de carbono 1 y 2 desaparecen. Las osazonas se emplean para identificar a los azúcares.

► Azúcares-alcoholes

El grupo carbonilo de los monosacáridos puede reducirse mediante hidrógeno gaseoso en presencia de catalizadores metálicos, o con una amalgama de sodio en agua para formar los correspondientes azúcares-alcoholes. La D-glucosa, por ejemplo, rinde el azúcar-alcohol D-glucitol. Formado también en la reducción de la L-sorbose y a menudo conocido como L-sorbitol. La D-manosa produce el D-manitol. Estas reducciones pueden ser también efectuadas mediante enzimas.

En la naturaleza se encuentran otros dos azúcares alcoholes con cierta abundancia; uno de ellos es la glicerina, importante componente de algunos lípidos, el otro es el inositol, derivado del ciclo hexano completamente hidroxilados, que existe en varias formas estereoisómeros. Uno de los estereoisómeros del inositol, el mio-inositol, se encuentra no solamente en el lípido fosfatidilinositol, sino también en el ácido fitico, que es el éster hexafosfórico del inositol. La sal de calcio y de magnesio del ácido fitico que recibe el nombre de fitina, abunda en el material extracelular de sostén en los tejidos de las plantas superiores.

Algunos azúcares-alcoholes. El mio-inosito es el estereoisómero del inositol más abundante.



► Azúcares-ácidos

Existen tres tipos importantes de azúcares-ácidos: los ácidos adónicos, aldáricos y urónicos. Las aldosas se oxidan en su átomo de carbono aldehídico por acción de oxidantes suaves, por ejemplo el hipoyodito sódico, o por enzimas específicas, para formar los correspondientes ácidos carboxílicos, cuyo nombre genérico es el de ácidos adónicos. La D-glucosa, por ejemplo, forma el ácido D-gluconico, que en su forma fosforilada es un importante intermediario en el metabolismo de los glúcidos.

Si se emplea un oxidante más fuerte, como el ácido nítrico, tanto el átomo de carbono aldehídico como el portador del grupo hidroxilo primario se oxidan a grupos carboxilo y forman los ácidos aldáricos (llamados también ácidos sacáricos). En el caso de la D-glucosa, el producto se denomina ácido D-glucarico. Los ácidos aldáricos son útiles, a veces, para la identificación de los azúcares, pero tienen escaso significado biológico.

Sin embargo, la tercera clase de azúcares-ácidos, los ácidos urónicos, son biológicamente muy importantes. En los ácidos urónicos solo el átomo de carbono portador del grupo hidroxilo primario, es oxidado a grupo carboxilo. El ácido urónico derivado de la D-glucosa es el D-glucurónico. Otros ácidos urónicos importantes son el D-qalacturónico y el D-manurónico. Los

ácidos urónicos son componentes de muchos polisacáridos. Los ácidos adónicos y urónicos aparecen generalmente en forma de lactonas si puede formarse un anillo de cinco o de seis términos. Ejemplos de ello son la D-&-gluconolactona y la D-&-glucuronolactona.

Uno de los azúcares-ácidos más importantes es el ácido ascórbico, o vitamina C, que es la γ -lactona de un ácido he-xónico con una estructura de enodiol en los átomos de carbono 2 y 3. Es un compuesto muy inestable y se oxida fácilmente a ácido deshidroascorbico. La ausencia prolongada de ácido ascórbico en la dieta de la especie humana ocasiona la enfermedad carencial denominada escorbuto; una deficiencia menor produce alteraciones en la estructura del tejido conjuntivo y disminuye la resistencia frente a algunas infecciones. El ácido ascórbico se halla presente en grandes cantidades en los frutos cítricos y en el tomate.

La determinación cuantitativa de los monosacáridos se realiza, frecuentemente, basándose en su oxidación en disolución alcalina mediante Cu^{2+} , Ag^+ o ferricianuro; se origina una mezcla de azúcares-ácidos. Los azúcares capaces de reducir a tales oxidantes se denominan azúcares reductores.

► Fosfatos de azúcares

Los fosfatos de los monosacáridos se encuentran en todas las células vivas, en las que actúan como importantes intermediarios en el metabolismo de los glúcidos.

► Desoxiazúcares

En la naturaleza se encuentran varios desoxiazúcares. El más abundante es la 2-desoxi D~ribosa, azúcar componente del ácido desoxirribonucleico. La L-ramnosa (6-desoxi-L-manosa) y la L-fucosa (6-desoxi-L-galactosa) son componentes importantes de algunas paredes celulares bacterianas.

► Aminoazúcares

La D~gtucosamina (2-amino-2-desoxi-D-glucosa) y la D-gatactosamina (2-amino-2-desoxi-D-galactosa) son dos amino azúcares ampliamente difundidos; en ellos, el grupo hidroxilo del átomo de carbono 2 se halla sustituido por un grupo amino. La D-glucosamina se encuentra en muchos polisacáridos de los tejidos de los vertebrados y es también componente principal de la quitina, polisacárido estructural presente en el exoesqueleto de los insectos y de los crustáceos. La D-galactosamina es un componente de los glucolípidos y del polisacárido principal de los cartílagos, el sulfato de condroitina.

► Ácido murámico y ácido neuramínico

Estos dos derivados de los azúcares son importantes sillares de la construcción de los polisacáridos estructurales; se encuentran en las paredes celulares de las bacterias y en las cubiertas celulares de las células de los animales superiores, respectivamente. Ambos son derivados de los Aminoazúcares que poseen nueve átomos de carbono; pueden concebirse como constituidos por un aminoazúcar de seis átomos de carbono, unido a un azúcar-ácido de tres átomos de carbono. El grupo amino se halla, generalmente acetilado. El ácido N-acetilmurámico es la unidad estructural principal del esqueleto polisacarídico de las paredes celulares bacterianas, y está constituido por el aminoazúcar N-acetil-D-glucosamina unido mediante enlace éter al ácido D-láctico, de tres átomos de carbono.

El ácido N-acetil-neuramínico deriva de la N-acetil-D-manosamina y el ácido pirúvico; es un sillar importante de las cadenas de polisacárido halladas en las glucoproteínas y en los glucolípidos de las cubiertas celulares de los tejidos animales. Los N-acil-derivados del ácido neuramínico reciben el nombre genérico de ácidos siálicos; los encontrados en los tejidos humanos contienen un grupo N-acetilo; en algunas otras especies contienen un grupo N-glicolilo.

► Disacáridos

Están constituidos por dos monosacáridos unidos por un enlace glucosídico. Los disacáridos más corrientes son la maltosa, la lactosa y la sacarosa. La maltosa, que se forma como producto intermedio en la acción de las amilasas sobre el almidón, contiene dos restos de D-glucosa. Es un acetal mixto del carbono anomérico 1 de la D-glucosa; uno de los grupos hidroxilo es aportado intermolecularmente por el átomo de carbono 5 y el otro por el átomo de carbono 4 de una segunda molécula de D-glucosa. Ambas porciones de glucosa se hallan en forma de piranosa y la configuración del átomo de carbono anomérico del enlace glucosídico es α . La maltosa, por consiguiente, puede denominarse O- α -D-glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 4)-(β -D-glucopiranosido. El segundo resto de glucosa de la maltosa posee un átomo de carbono anomérico libre, que es capaz de existir en forma α o β , siendo esta última la predominante en la naturaleza. El primer resto de glucosa no puede oxidarse, pero el segundo sí; se le denomina extremo reductor. La posición del enlace glucosídico entre los dos restos de glucosa se representa por (1 $\rightarrow$ 4).

La metilación exhaustiva de todos los grupos hidroxilo libres, seguida de hidrólisis del enlace glucosídico, demuestra que en el enlace glucosídico de la maltosa intervienen el átomo de carbono 1 del primer resto, y el átomo de carbono 4 de la segunda unidad de glucosa.

Los fragmentos- metilados resultantes fueron 2, 3, 4,6-tetra-O-metil-D-glucosa y 2, 3,6-tri-O-metil-D-glucosa.

Otros dos disacáridos corrientes que contienen dos unidades de D-glucosa, son la celobiosa y la gentiobiosa. La celobiosa, que es la unidad disacárida que se repite en la celulosa, posee un enlace glucosídico β (1 $\rightarrow$ 4); su nombre completo es, por tanto, O- β -D- glucopiranosil- (1 $\rightarrow$ 4)- β -D- piranósido.

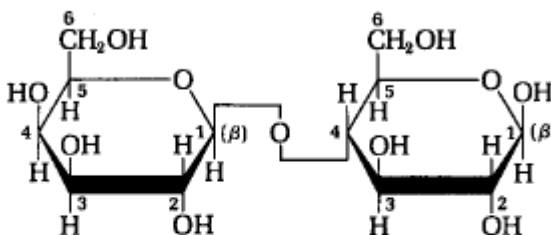
En la gentiobiosa el enlace glucosídico es β (1 $\rightarrow$ 6). Dado que ambos disacáridos poseen un carbono anomérico libre, son azúcares reductores.

El disacárido lactosa [O- β -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-piranosido] se encuentra en la leche, pero no existe en ninguna otra fuente natural. Produce D-galactosa y D-glucosa por hidrólisis. Puesto que posee un carbono anomérico libre en el resto de glucosa, la lactosa es un disacárido reductor.

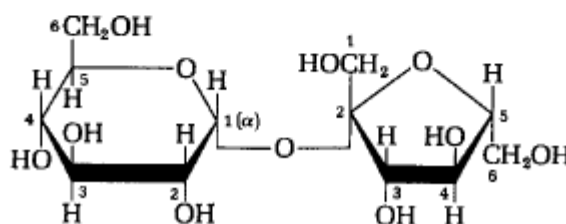
La sacarosa, o azúcar de caña, es un disacárido de la glucosa y de la fructosa [O- β -D-fructofuranosil-(2 $\rightarrow$ 1)- α -D-glucopiranosido]. Abunda sobremanera en el reino vegetal y es familiar como azúcar de mesa. Al revés de muchos disacáridos y oligosacáridos, la sacarosa no contiene átomo de carbono anomérico libre; los de ambas hexosas se hallan unidos entre sí.

La sacarosa, por tanto, no experimenta mutarrotación ni reacciona con la fenilhidracina para formar osazonas, ni siquiera es un azúcar reductor. Se hidroliza con más facilidad que los otros disacáridos. La hidrólisis de la sacarosa ($[\alpha]^{20D} = + 66,5^\circ$) a D-glucosa ($[\alpha]^{20D} = + 52,5^\circ$) y D-fructosa ($[\alpha]^{20D} = - 92^\circ$) se denomina frecuentemente inversion, ya que va acompañada de un cambio neto de rotación óptica, de dextro a levo, en cuanto se ha producido la mezcla equimolecular de glucosa y de fructosa; esta mezcla se denomina frecuentemente azúcar invertido. La hidrólisis de la sacarosa, que también es catalizada por el enzima invertasa, puede seguirse mediante un polarímetro.

Lactosa (forma β)
(O- β -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 4)- β -D-glucopiranosido)



Sacarosa
(O- β -D-fructofuranosil-(2 $\rightarrow$ 1)- α -D-glucopiranosido)



► **Trisacáridos**

En la naturaleza se encuentra cierto número de trisacáridos en estado libre. La rafinosa [O- α -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)-O- α -D-glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 2)- β -D-fructofuranosido] se encuentra en abundancia en la remolacha azucarera y en otras muchas plantas superiores. La melicitosa, [O- α -D-glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 3)-O- β -D-fructofuranosil-(2 $\rightarrow$ 1)- α -D-glucopiranosido] se encuentra en la savia de algunas coníferas.

► **Identificación y análisis de monosacáridos y oligosacáridos**

Los procedimientos cromatográficos han revolucionado el arte de aislar, separar e identificar los azúcares y sus derivados. La cromatografía, en papel o en capa fina, es utilizada corrientemente. Para una separación más eficaz y su análisis, las mezclas de azúcares se cromatografían mediante columnas de materiales de intercambio iónico, en presencia de exceso de ácido bórico, el cual convierte a los azúcares neutros en sus complejos bóricos débilmente ácidos y permite su separación más eficaz basándose en diferencias de las propiedades ácido-básicas. La estructura de tales complejos bóricos no se conoce con certidumbre; se disocian con facilidad produciendo azúcar libre y ácido bórico. Se han ideado sistemas automáticos, análogos a los analizadores de aminoácidos, para practicar el análisis de las mezclas de azúcares resultantes de la hidrólisis de los polisacáridos y los oligosacáridos.

► Polisacáridos (glucanos)

La mayor parte de los glúcidos encontrados en la naturaleza se presentan como polisacáridos de elevado peso molecular. Por hidrólisis completa, con ácidos o con enzimas específicos, estos polisacáridos producen monosacáridos y/o derivados sencillos de monosacáridos. La D-glucosa es la unidad monosacáridica predominante en los polisacáridos, pero son también corrientes polisacáridos de la D-manosa, la D-fructosa, la D- y L-galactosa, la D-xilosa y la D-arabinosa. También se encuentran, generalmente, derivados de los monosacáridos como productos de hidrólisis de los polisacáridos naturales, entre ellos la D-glucosamina, la D-galactosamina, el ácido D-glucurónico, el ácido N-acetilneuramínico y el ácido N-acetilmurámico.

Los polisacáridos, llamados también glucanos, difieren en la naturaleza de sus unidades monosacáridas repetidas, en la longitud de sus cadenas y en el grado de ramificación. Se dividen en homopolisacáridos, constituidos por un solo tipo de unidad monomérica, y heteropolisacáridos, con dos o más unidades monómeras diferentes. El almidón, que contiene solamente unidades de D-glucosa, es un homopolisacárido. El ácido hialurónico está constituido por restos alternantes de ácido D-glucurónico y de N-acetil-D-glucosamina, y es, por tanto, un heteropolisacárido. Los homopolisacáridos reciben frecuentemente nombres de clase que indican la naturaleza de sus unidades estructurales. Por ejemplo, los que contienen unidades de D-glucosa, tales como el almidón y el glucógeno, se denominan glucanos, y los constituidos por unidades de manosa, mananos. Los polisacáridos importantes se describen mejor en relación con sus funciones biológicas.

► Polisacáridos de reserva

Estos polisacáridos, entre los cuales el almidón es el que más abunda en las plantas, y el glucógeno en los animales, se depositan habitualmente, en forma de grandes gránulos en el citoplasma celular. Los gránulos de glucógeno o de almidón pueden aislarse de los extractos celulares por centrifugación diferencial. En ocasiones en que hay exceso de glucosa, unidades de esta se unen enzimáticamente a los extremos de las cadenas de glucógeno o de almidón; si existe necesidad metabólica, entonces se liberan de nuevo, también por acción enzimática y son empleadas como combustible.

► Almidón

El almidón se encuentra en dos formas, la α -amilosa y la amilopectina. La α -amilosa está constituida por cadenas largas no ramificadas, en las que todas las unidades de D-glucosa se hallan unidas mediante enlaces $\alpha(1 \rightarrow 4)$. Las cadenas son polidispersas y varían en peso molecular desde unos millares hasta 500.000. La amilosa no es verdaderamente soluble en el agua, pero forma micelas hidratadas que dan un color azul con el yodo. En tales micelas la cadena

polisacárido está retorcida, constituyendo un arrollamiento helicoidal. La amilopectina está muy ramificada, la longitud media de las ramificaciones es de 24 a 30 residuos de glucosa, según las especies.

Los componentes principales del almidón pueden ser hidrolizados enzimáticamente por dos métodos diferentes. La amilosa puede hidrolizarse por la α -amilasa, [α (1 $\rightarrow$ 4)-glucan 4-glucanohidrolasa]. Este enzima, que está presente en el jugo pancreático y en la saliva, participa en la digestión del almidón en el tracto gastrointestinal; hidroliza indistintamente al azar los enlaces α (1 $\rightarrow$ 4) a lo largo de la cadena de la amilosa, de tal modo que rinde finalmente una mezcla de glucosa y de maltosa libres; esta última no es atacada.

La amilosa puede ser hidrolizada también por la β -amilasa [α (1 $\rightarrow$ 4) glucanmaltotransferasa]. Este enzima, presente en la malta, libera unidades sucesivas de maltosa comenzando por el extremo no reductor para rendir maltosa cuantitativamente. La amilopectina es atacada también por la α - y el β -amilasas. Los polisacáridos de longitud de cadena intermedia que se forman durante la acción de la amilasa reciben el nombre de dextrinas. Puesto que las α - y β -amilasas no pueden hidrolizar los enlaces α (1 $\rightarrow$ 6) de los puntos de ramificación de la amilopectina, el producto final de la acción exhaustiva de la amilasa sobre la amilopectina es un núcleo, grande y muy ramificado, llamado dextrina límite, cuya designación indica que representa el límite del ataque de las amilasas.

► Glucógeno

El glucógeno es el principal polisacárido de reserva de las células animales, y constituye el equivalente del almidón de las células vegetales. El glucógeno abunda especialmente en el hígado, donde puede llegar a constituir el 10 % de su peso húmedo. Se halla también presente en una proporción del 1 al 2 % en el músculo esquelético. En las células hepáticas, el glucógeno aparece en forma de grandes gránulos, constituidos por agrupaciones de simples moléculas, muy ramificadas, cuyo peso molecular es de varios millones.

A semejanza de la amilopectina, el glucógeno es un polisacárido de la D-glucosa con enlaces α (1 $\rightarrow$ 4). Sin embargo, está más ramificado, y su molécula es más compacta, que la de amilopectina; las ramificaciones aparecen cada 8 a 12 restos de glucosa. Los enlaces de las ramificaciones son α (1 $\rightarrow$ 6). El glucógeno puede aislarse de los tejidos animales digiriéndolos con disoluciones calientes de KOH en las que los enlaces no reductores «(1 $\rightarrow$ 4) y α (1 $\rightarrow$ 6) son estables. El glucógeno se hidroliza con facilidad por la α y el β -amilasas para rendir glucosa y maltosa respectivamente; la acción de la β -amilasa, produce también una dextrina límite. El glucógeno da una coloración rojo-violácea con el yodo.

Las paredes de las células bacterianas contienen peptidoglucanos (mureinas), heteropolisacárido del ácido N-acetilmurámico y N-acetilgluco-samina, con péptidos cortos que enlazan

transversalmente y que contienen D-aminoácidos. Las paredes celulares de las plantas superiores contienen celulosa, otros polisacáridos y proteína. Las células animales poseen cubiertas flexibles que contienen mucopolisacáridos-ácidos acoplados a las proteínas.⁷

Ejercicio

Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)

Los polisacáridos desempeñan dos funciones biológicas principales como almacenadores de combustible y otra como elementos estructurales

El glucógeno es el principal glúcido de reserva en los animales

Las heptosas son monosacáridos con 18 carbonos

Todos los monosacáridos son solubles en solventes no polares

La metilación con todos los grupos hidroxilo libres de un hidrato de carbono se llama metilación exhaustiva

4.6. Lípidos

OBJETIVO ESPECÍFICO

Conocer la composición, clasificación, reacciones, propiedades y otros elementos necesarios en el estudio de los lípidos.

Los lípidos son biomoléculas orgánicas insolubles en el agua, que pueden extraerse de las células y de los tejidos mediante disolventes no polares, por ejemplo, el cloroformo, el éter o el benceno.

Existen diferentes familias o clases de lípidos, pero las propiedades distintivas de todos ellos derivan de la naturaleza hidrocarbonada de la porción principal de su estructura. Los lípidos desempeñan diversas funciones biológicas importantes, actuando 1). como componentes estructurales de las membranas, 2) como formas de transporte y almacenamiento del combustible catabólico, 3) como cubierta protectora sobre la superficie de muchos organismos, y 4) como

⁷ LEHNINGER, Michael M y COX , Nelson David L. Principios de Bioquímica . Ediciones Omega . ED #3. España 2001 Cap 10 p. 225-283

componentes de la superficie celular relacionados con el reconocimiento de las células, la especificidad de especie y la inmunidad de los tejidos. Algunas sustancias clasificadas entre los lípidos poseen una intensa actividad biológica: se encuentran entre ellas algunas de las vitaminas y hormonas.

Aunque los lípidos constituyen una clase bien definida de biomoléculas, veremos que, con frecuencia se presentan combinados covalentemente o mediante enlaces débiles, con miembros de otras clases de biomoléculas, constituyendo moléculas híbridas tales como los glucolípidos, que contienen lípidos y glúcidos, y las lipoproteínas, que contienen lípidos y proteínas. En estas biomoléculas las propiedades químicas y físicas características de sus componentes están fusionadas para cumplir funciones biológicas especializadas.

4.6.1. Clasificación de los lípidos

Se ha clasificado a los lípidos de diferentes maneras. La clasificación más satisfactoria es la que se basa en las estructuras de sus esqueletos. Los lípidos complejos, que se caracterizan porque contienen ácidos grasos como componentes, comprenden a los acilglicéridos, los fosfoglicéridos, los esfingolípidos y las ceras, que difieren en la estructura de los esqueletos a los que se hallan unidos, por covalencia, los ácidos grasos. Reciben, también, el nombre de lípidos saponificables porque producen jabones (sales de los ácidos grasos) por hidrólisis alcalina. El otro gran grupo de lípidos está constituido por los lípidos sencillos, que no contienen ácidos grasos y no son, por tanto, saponificables.

Vamos a considerar, en primer lugar, la estructura y las propiedades de los ácidos grasos, componentes característicos de todos los lípidos complejos.

TABLA 11-1. Clasificación de los lípidos.

<i>Tipo de lípido</i>	<i>Esqueleto</i>
Complejos (saponificables)	
Acilglicéridos	Glicerina
Fosfoglicéridos	3-Fosfato de glicerilo
Esfingolípidos	Esfingosina
Ceras	Alcoholes no polares de peso molecular elevado
Simples (insaponificables)	
Terpenos	
Esteroides	
Prostaglandinas	

4.7. Ácidos grasos

Aunque los ácidos grasos se encuentran en cantidades muy grandes como componentes fundamentales de los lípidos saponificables, en las células y en los tejidos, en estado libre (no esterificados) aparecen solamente en trazas. Se han aislado unas 100 clases diferentes de ácidos grasos procedentes de diversos lípidos de animales, vegetales y microorganismos. Todos ellos poseen una cadena hidrocarbonada larga con un grupo carboxilo terminal. La cadena hidrocarbonada puede ser saturada, como en el ácido palmítico, o puede tener uno o más dobles enlaces, como ocurre en el ácido oleico; existen unos cuantos ácidos grasos con enlaces triples. Los ácidos grasos difieren entre sí, en primer lugar, por la longitud de su cadena, y también por el número y la posición de sus enlaces dobles. A menudo se simbolizan con una notación «taquigráfica» que indica la longitud de la cadena carbonada y el número, posición y configuración de los dobles enlaces. Así el ácido palmítico (saturado, de 16 carbonos) se representa por 16:0 y el ácido oleico [de 18 carbonos y un doble enlace (cis) en los carbonos 9 y 10] se representa simbólicamente por 18:1 Δ^9 . Se entenderá que los dobles enlaces son cis a menos que se indique otra cosa.

Pueden hacerse algunas generalizaciones sobre los diferentes ácidos grasos presentes en las plantas superiores y en los animales. Los más abundantes poseen un número par de átomos de carbono, con cadenas de longitudes comprendidas entre los 14 y los 22 átomos de carbono, aunque predominan los de 16 a 18 átomos de carbono. Entre los ácidos grasos saturados los más corrientes son el ácido palmítico (C₁₆) y el ácido esteárico (C₁₈), y entre los ácidos grasos insaturados el ácido oleico (C₁₈). Los ácidos grasos insaturados predominan sobre los saturados, especialmente en las plantas superiores y en los animales que viven a temperaturas bajas. Poseen puntos de fusión más bajos que los ácidos grasos saturados de una misma longitud de cadena.

En la mayor parte de los ácidos grasos mono insaturados (monoenoicos) de los organismos superiores existe un doble enlace entre los átomos de carbono 9 y 10. En la mayoría de los ácidos grasos poliinsaturados (polienoicos), uno de los enlaces dobles se halla entre los átomos de carbono 9 y 10; los dobles enlaces adicionales están situados, generalmente, entre el doble enlace 9, 10 y el extremo metilo-terminal de la cadena. En la mayor parte de tipos de ácidos grasos poliinsaturados, los dobles enlaces se hallan separados por un grupo metileno, por ejemplo —CH = CH —CH₂ —CH = CH —; solamente en unos pocos tipos de ácidos grasos vegetales se encuentran dobles enlaces conjugados; es decir, —CH = CH —CH = CH —. Los dobles enlaces de casi todas las clases de ácidos grasos insaturados que se encuentran en la naturaleza aparecen en configuración geométrica cis, y hay muy pocos que posean la configuración trans.

Las bacterias contienen menos y más simples tipos de ácidos grasos que los organismos superiores, a saber, ácidos saturados C_{12} a C_{18} , algunos de los cuales poseen un grupo metilo ramificado, así como ácidos mono-insaturados C_{16} y C_{18} . En las bacterias no se han encontrado ácidos grasos con más de un doble enlace.

Los ácidos grasos con un número impar de átomos de carbono aparecen solo en cantidades mínimas en los animales terrestres, pero en muchos organismos marinos se presentan en cantidades importantes.

4.7.1. Ácidos grasos esenciales

Si sometemos ratas inmaduras o recién destetadas a una dieta carente de grasas, se desarrollan deficientemente, les aparecen escamosidades en la piel, pierden el pelo y finalmente mueren con muchos síntomas patológicos. Si incluimos ácido linoléico en la dieta, estas circunstancias no se producen. El ácido linoleico y el ácido araquidónico impiden, también, estos síntomas. Los ácidos grasos, tanto saturados como monoinsaturados son inactivos en este aspecto.

Se ha llegado a la conclusión de que los mamíferos pueden sintetizar ácidos grasos saturados y mono insaturados a partir de otros precursores, pero son incapaces de fabricar ácido linoleico y ácido γ -linoleico. Los ácidos grasos que se precisan en la dieta; de los mamíferos se llaman ácidos grasos esenciales. El ácido graso esencial más abundante en los mamíferos es el ácido linoleico, que integra del 10 al 20 % de los ácidos grasos totales de sus triacilglicéridos y fosfogliceridos. Los ácidos linoleico y γ -linoleico no pueden ser sintetizados por los mamíferos, sino que tienen que obtenerlos de fuentes vegetales, donde son muy abundantes. El ácido linoleico es un precursor necesario en los mamíferos para la biosíntesis del ácido araquidónico, que no se encuentra en las plantas.

Aunque las funciones específicas de los ácidos grasos esenciales en los mamíferos constituyeron un misterio durante muchos años, se ha descubierto ya una de sus funciones. Los ácidos grasos esenciales son precursores necesarios en la biosíntesis de un grupo de derivados de los ácidos grasos llamados prostaglandinas, compuestos de función análoga a la de las hormonas que, en cantidades mínimas, o trazas, ejercen profundos efectos sobre cierto número de actividades fisiológicas importantes.

4.7.1.1 Propiedades físicas y químicas de los ácidos grasos

Los ácidos grasos saturados e insaturados difieren significativamente en sus configuraciones estructurales. En los ácidos grasos saturados las cadenas hidrocarbonadas pueden existir en un

número infinito de conformaciones, porque cada uno de los enlaces sencillos del esqueleto carbonado posee una completa libertad de rotación.

Los ácidos grasos insaturados, por otra parte, presentan uno o más quiebras rígidos en sus cadenas hidrocarbonadas, originados por la incapacidad de rotación del enlace (o enlaces) doble(s).

Las formas cis de los ácidos grasos no saturados pueden convertirse en las formas trans por calefacción con algunos catalizadores. De este modo, el ácido oleico puede convertirse fácilmente en su isómero trans, el ácido elaidico, que posee un punto de fusión mucho más elevado. Aunque el ácido elaidico no es un ácido graso existente en la naturaleza, se forma en cantidades apreciables en la hidrogenación de los aceites vegetales, que constituye una etapa en la manufactura de las grasas semisólidas empleadas en la condimentación y de la margarina. Se ha encontrado ácido elaidico en los lípidos de los tejidos humanos, probablemente como consecuencia del consumo de dichos productos hidrogenados.

Los ácidos grasos insaturados experimentan reacciones de adición a sus enlaces dobles. La valoración cuantitativa con halógenos, por ejemplo con yodo o con bromo, puede proporcionar información sobre el número de enlaces dobles de una muestra determinada de ácidos grasos o de lípidos.

4.8. Triacilglicéridos (Triglicéridos)

Los ésteres de los ácidos grasos y del alcohol glicerina se llaman acilglicéridos o glicéridos: se les designa, a veces, como «grasas neutras», término que ya es arcaico. Cuando los tres grupos hidroxilo de la glicerina se hallan esterificados con ácidos grasos, la estructura se llama triacilglicéridos. (Aunque tradicionalmente se ha empleado el nombre de «triglicérido» para designar a estos compuestos, una comisión internacional de nomenclatura ha recomendado que este término químico inexacto no se utilice en lo sucesivo.) Los triacilglicéridos constituyen la familia más abundante de lípidos y los principales componentes de los lípidos de depósito o de reserva de las células animales y vegetales. Los triacilglicéridos que son sólidos a temperatura ambiente, se les conoce generalmente por «grasas», y los que son líquidos por «aceites». Los diacilglicéridos (también llamados diglicéridos) y los monoacilglicéridos (o monoglicéridos) se encuentran también en la naturaleza, pero en cantidades mucho menores.

Hay muchos tipos diferentes de triacilglicéridos, según la identidad y la posición de los ácidos grasos componentes que esterifican a la glicerina. Los que contienen una sola clase de ácido graso en las tres posiciones, llamados triacilglicéridos simples, reciben el nombre según los ácidos grasos que contienen. Son ejemplos característicos el triestearitglicérido, el tripalmitilglicérido y el

trioleilglicérido; sus nombres vulgares, y más corrientemente utilizados, son de triestearina. Tripalmitina y trioleina respectivamente. Si contienen dos o más ácidos grasos diferentes reciben el nombre de triacilglicéridos mixtos; cuando contienen dos ácidos grasos diferentes, A y B, pueden existir en seis formas isómeras diferentes.

4.8.1. Propiedades de los triacilglicéridos

Su punto de fusión viene determinado por sus ácidos grasos componentes. Este punto de fusión aumenta, en general, con el número y la longitud de los ácidos grasos saturados componentes. Por ejemplo, la triestearina y la tripalmitina son sólidos a la temperatura del cuerpo, mientras que la trioleina y la trilinoleina son líquidos. Todos los triacilglicéridos son relativamente insolubles en el agua, y no tienden, por sí mismos, a formar micelas muy dispersas. Los diacilglicéridos y los monoglicéridos poseen, sin embargo, una polaridad apreciable a causa de sus grupos hidroxilo libres, y por ello forman micelas. Los diacil- y monoacilglicéridos encuentran un amplio uso en la industria alimenticia para la producción de alimentos más homogéneos y de mayor facilidad de tratamiento. Los acilglicéridos son solubles en éter, cloroformo y benceno, así como en etanol caliente. Su gravedad específica es menor que la del agua.

Aunque la glicerina es ópticamente inactiva, su átomo de carbono 2 se convierte en asimétrico cuando los ácidos grasos sustituyentes situados en los átomos de carbono 1 y 3 son diferentes. Los triacilglicéridos existentes en la naturaleza que poseen un átomo de carbono asimétrico se designan convencionalmente como si derivasen del L-gliceraldehído.

Los acilglicéridos experimentan hidrólisis cuando se hierven con ácidos o con bases, o por la acción de las lipasas; por ejemplo, las que se hallan presentes en el jugo pancreático. La hidrólisis con los álcalis, llamada saponificación, proporciona una mezcla de jabones y glicerina.

4.8.1.1 Las Ceras

Las ceras son ésteres sólidos de los ácidos grasos de cadena larga con alcoholes grasos monohidroxílicos o con esteroides y son insolubles en el agua. Cuando se calientan son blandas y moldeables, pero en frío son duras. Las ceras forman cubiertas protectoras de la piel, pelo y plumas, de las hojas y frutos de las plantas superiores, así como del exoesqueleto de muchos insectos. Los componentes principal de la cera de las abejas son ésteres del ácido palmítico con alcoholes grasos de 26 a 34 átomos de carbono. La lanolina o grasa de la lana es una mezcla de ésteres de los ácidos grasos de los esteroides lanosterol y agnosterol.

4.8.1.2 Lípidos simples (no saponificables)

Los lípidos descritos hasta aquí contienen ácidos grasos como componentes estructurales fundamentales, los cuales pueden liberarse por hidrólisis alcalina. Los lípidos sencillos no contienen ácidos grasos. Aparecen en las células y en los tejidos en cantidades menores que los lípidos complejos, pero se hallan entre ellos muchas sustancias con intensa actividad biológica, como las vitaminas, hormonas y otras biomoléculas solubles en las grasas, muy especializadas.

Existen dos clases principales de lípidos insaponificables, los terpenos y los esteroides

Aunque sería conveniente considerarlos como dos clases distintas, se hallan muy estrechamente relacionados desde el punto de vista estructural, ya que ambas, en último término, derivan de sillares de cinco átomos de carbono.

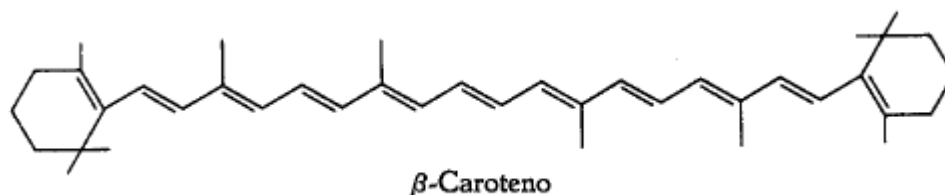
4.9. Terpenos

Están contruidos por unidades múltiples del hidrocarburo de cinco átomos de carbono isopreno (2-metil-1,3-butadieno). Los terpenos que contienen dos unidades de isopreno se llaman monoterpenos, los que contienen tres unidades de isopreno se denominan sesquiterpenos y los que contienen cuatro, seis, y ocho unidades, reciben el nombre de diterpenos, triterpenos y tetraterpenos, respectivamente. Los terpenos pueden ser moléculas lineales o cíclicas, y algunos de ellos contienen estructuras de ambos tipos. Las sucesivas unidades de isopreno de los terpenos se hallan enlazadas por lo común según una ordenación de «cabeza con cola», especialmente en los segmentos lineales, si bien a veces las unidades de isopreno aparecen dispuestas «cola con cola». Los enlaces dobles en los segmentos lineales de muchos terpenos se hallan en la configuración estable trans, pero en algunos, particularmente en la vitamina A y en su precursor el β -caroteno, uno o más de los dobles enlaces son cis.

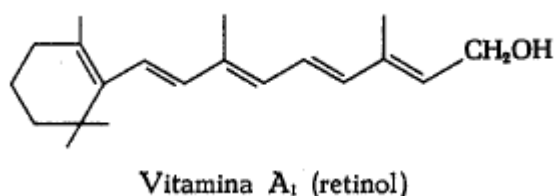
En los vegetales se ha identificado un número muy grande de terpenos, muchos de los cuales poseen olores o sabores característicos, y son componentes principales de los aceites esenciales obtenidos de tales plantas. Así, los monoterpenos geraniol, limoneno, mentil, pineno, alcanfor y carvona, son componentes principales del aceite de geranio, de limón, de menta, de trementina, de alcanfor y de alcaravea, respectivamente.

El farnesol constituye un ejemplo de sesquiterpeno. Entre los diterpenos se halla el fitol, que es un alcohol terpenoide lineal componente de la clorofila, un pigmento fotosintético. Entre los triterpenos figura el escualeno, precursor importante en la biosíntesis del colesterol. Entre otros

terpenos superiores se incluyen los carotenoides, que son una clase de hidrocarburos tetraterpénicos, y sus derivados oxigenados en los que la ordenación «cabeza con cola» de las unidades de isopreno se halla característicamente invertida en el centro de la molécula. Un carotenoide importante es el β -caroteno, hidrocarburo precursor de la vitamina A. El caucho natural y la gutapercha son politerpenos; están constituidos por largas cadenas hidrocarbonadas que contienen centenares de unidades de isopreno en orden lineal regular.



Entre los terpenos más importantes hay tres miembros del grupo de las vitaminas *liposolubles*; son estas las vitaminas A, E y K. Aunque de estas sustancias solamente se precisan cantidades mínimas, o trazas, en la dieta de los mamíferos, pueden clasificarse entre los lípidos.



Otra clase importante de terpenos es la representada por los poliprenoles, compuestos poliisoprenoides lineales de cadena larga con un grupo alcohol primario terminal. El más importante de ellos es el alcohol undecaprenílico, también llamado bactoprenol, que contiene 11 unidades de isopreno y tiene, por tanto, 55 átomos. El dolicol es el análogo correspondiente en los tejidos animales y contiene 79 unidades de isopreno (95 átomos de carbono). Estos poliprenoles, en forma de sus ésteres fosfóricos, el fosfato de undecaprenilo y el fosfato de dolicilo, respectivamente, poseen una función pseudo coenzimática en la transferencia de grupos de azúcar desde el citoplasma a la superficie exterior de la célula durante la síntesis de los lipopolisacáridos de la superficie celular y de la pared celular de los peptidoglucanos, de los ácidos teicoicos y de las glucoproteínas. En este proceso se cree que la prolongada cadena hidrocarbonada no polar de los poliprenoles está anclada en el interior del anima no polar de la membrana, mientras que el extremo polar de la molécula desempeña el papel de un brazo para la transferencia de los grupos azúcar unidos covalentemente a través de esta membrana.

Otra clase de compuestos terpenoides que actúan como coenzimas, es el de la familia de compuestos de la ubiquinona o coenzima Q, que funcionan como transportadores de hidrogeno

en las oxidaciones biológicas de las mitocondrias. Contienen un anillo de quinona sustituido que puede reducirse y reoxidarse después, y una larga cadena lateral isoprenoide cuya longitud difiere según el organismo. Unos compuestos análogos llamados plastoquinonas, se encuentran en los cloroplastos, donde actúan en la fotosíntesis.

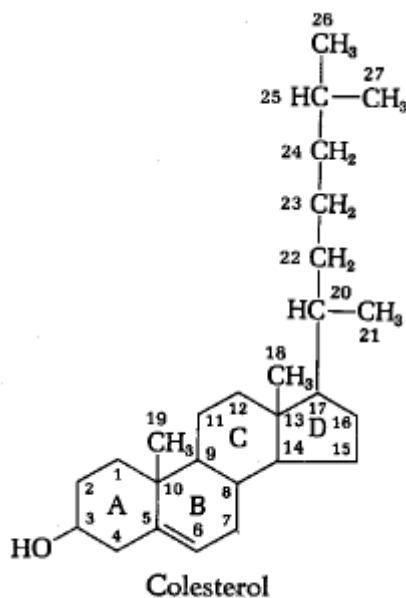
4.10.Esteroides

Son derivados del hidrocarburo tetracíclico saturado perhidro-ciclopentanofenantreno. De fuentes naturales se han aislado muchos esteroides diferentes, cada uno de los cuales posee una función o actividad características. Los esteroides difieren en el número y en la posición de sus dobles enlaces, en el tipo, localización y numero de sus grupos funcionales sustituyentes, en la configuración (α ó β) de los enlaces entre sus grupos sustituyentes y el núcleo, y en la configuración que adoptan los anillos entre sí, ya que el hidrocarburo originario posee seis centros de asimetría. Los principales puntos de sustitución son el carbono 3 del anillo A, el carbono 11 del anillo C y el carbono 17 del anillo D.

Todos los esteroides se originan a partir del escualeno, triterpenos lineal que se cicla con facilidad. El primer producto esteroide importante de esta ciclación es el lanoste-rol, que es el precursor del colesterol en los tejidos animales.

El colesterol y el lanosterol son miembros de un gran subgrupo de esteroides llamados esteroles. Son alcoholes esteroides que contienen un grupo hidroxilo en el carbono 3 del anillo A y una cadena ramificada de ocho o más átomos de carbono en el carbono 17. Se encuentran en forma de alcoholes libres, o de esteres de ácidos grasos de cadena larga del grupo hidroxilo situado en el carbono 3; todos ellos son sólidos a la temperatura ambiente. El colesterol funde a 150 °C y es insoluble en el agua, pero se extrae fácilmente de los tejidos con cloroformo, éter, benceno o alcohol caliente.

Se encuentra el colesterol en las membranas plasmáticas de muchas células animales y en las lipoproteínas del plasma sanguíneo. El lanosterol fue encontrado por primera vez en la cubierta cérica de la lana, en forma esterificada, antes de ser definido como un intermediario importante en la biosíntesis del colesterol en los tejidos animales.



El colesterol aparece solo muy raramente en las plantas superiores las cuales contienen otros tipos de esteroides conocidos colectivamente como Fitosteroides. Entre estos se halla el estigmasterol y el sitosterol. Los hongos y las levaduras contienen además otros tipos de esteroides, los micosteroides; figura entre ellos el ergosterol, que se convierte en vitamina D por irradiación de la luz solar. Los esteroides no se encuentran en las bacterias.

En los tejidos animales el colesterol es el precursor de otros muchos esteroides; se incluyen entre ellos los ácidos biliares, compuestos con carácter detergente que ayudan a la emulsión de los lípidos y a su absorción intestinal; los andrógenos u hormonas sexuales masculinas; los estrógenos, que son las hormonas sexuales femeninas; la progesterona, que es una hormona progestágena, y las hormonas adrenocorticales.

4.11. Prostaglandinas

Constituyen una familia de derivados de los ácidos grasos que poseen una gran variedad de potentes actividades biológicas de naturaleza hormonal o reguladora. El primero en utilizar el nombre de prostaglandina fue el fisiólogo sueco U. S. von Euler en los años 1930, y lo aplicó a una sustancia de carácter ácido y liposoluble encontrada en el plasma seminal, en la próstata y en las vesículas seminales. Se observó que este material actuando en muy pequeña cantidad, provocaba el descenso de la presión sanguínea y estimulaba la contracción de ciertos músculos lisos.

Al principio se creyó que la prostaglandina era una sustancia simple, secretada de modo característico por el tracto genital masculino, pero investigaciones más recientes han demostrado que hay muchas clases diferentes de prostaglandinas que actúan como reguladores del metabolismo en cierto número de tejidos y por diversos caminos.

En el plasma seminal humano existen, al menos, 14 prostaglandinas, se han encontrado otras en otros tejidos, y se han preparado sintéticamente otras más en el laboratorio. La estructura de las prostaglandinas fue establecida por S. Bergstrom y sus colaboradores en Suecia. Todas las prostaglandinas naturales derivan biológicamente, de la ciclación de ácidos grasos insaturados de 20 carbonos, como el ácido araquidónico, que procede del ácido graso esencial ácido linoleico. Cinco de los átomos de carbono del esqueleto carbonado del ácido graso (carbonos 8 a 12) forman un bucle para constituir un anillo de cinco miembros. Las prostaglandinas se designan de acuerdo con los sustituyentes presentes en el número de dobles enlaces adicionales en la cadena lateral, que poseen la configuración cis.

Las prostaglandinas difieren entre sí respecto a su actividad biológica, aunque todas muestran por lo menos alguna actividad depresora de la presión sanguínea, e inductora de la contracción de los músculos lisos.

4.12.Sistemas lipoproteicos

Algunos lípidos se asocian con proteínas específicas para formar sistemas de Lipoproteína donde las propiedades físicas específicas de estas dos clases de biomoléculas están fusionadas. Existen dos tipos principales, las Lipoproteínas de transporte y los sistemas de membrana. En estos sistemas, los lípidos y las proteínas no están unidos covalentemente, pero se mantienen juntos debido, en gran parte, a las acciones hidrofóbicas entre las porciones no polares de los componentes lipídico y proteico.

La mayor parte de las membranas contienen entre un 50 y un 60 % de proteína, y un 40-50% de lípido. Los lípidos están presentes en relaciones molares fijas, que con toda probabilidad vienen, determinadas genéticamente. Se han propuesto varios modelos de estructura de membrana. La evidencia dada por los experimentos apoya el modelo del mosaico fluido, el cual está constituido por una bicapa de fosfoglicéridos de cristales líquidos, en la que penetran las proteínas globulares parcial o completamente. Algunas proteínas de la membrana plasmática contienen cadenas laterales oligosacarídicas que forman protuberancias en la superficie celular”⁸

⁸ LEHNINGER, Michael .M y COX. Nelson, David. Principios de Bioquímica , Ediciones Omega Ed. # 3 España 2001 Cap 11 P. 285-311

Ejercicio

Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)

Los lípidos cumplen la función de ser componente estructural de las membranas

Los ácidos grasos difieren entre sí por la longitud de su cadena y por el número y la posición de los enlaces dobles

Los ácidos grasos insaturados poseen puntos de fusión más altos que los ácidos grasos saturados de una misma longitud de cadena

En las bacterias no se han encontrado ácidos grasos con más de un enlace doble

Prueba Final

1. Seleccione una única respuesta.

La separación de proteínas basadas en la carga eléctrica depende de sus propiedades:

- ▶ Físicas
- ▶ Ácido-básicas
- ▶ Electroquímicas

2. Para determinar el peso molecular de una proteína no se usa:

- ▶ La composición química
- ▶ Velocidad de sedimentación
- ▶ Densidad

3. Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)

- ▶ Las osazonas se emplean para identificar lípidos.
- ▶ Los monosacáridos pueden reducirse mediante una amalgama de sodio en agua y mediante enzimas.
- ▶ Son azúcares alcoholes: sorbitol, manitol, glicerina e inositol.

- ▶ La vitamina C es un azúcar ácido.
- ▶ La fructosa es un disacárido.
- ▶ El glucógeno es el almidón que más abunda en las plantas.
- ▶ Los triglicéridos son los ésteres de los ácidos grasos y del alcohol glicerina.
- ▶ El solvente usado para obtener los acilgliceridos es el agua.
- ▶ Son lípidos insaponificables los terpenos y los esteroides.
- ▶ El β -caroteno es un hidrocarburo precursor de la vitamina C

Actividad

Resuelva los siguientes cuestionamientos.

- ▶ ¿Cuáles son las características de los lípidos? ¿Cómo se los clasifican?
- ▶ ¿Qué importancia biológica tiene los esteroides? Nombre un ejemplo de importancia fisiológica.
- ▶ ¿Cuáles son las enzimas más importantes en la síntesis de los derivados del ácido araquidónico?
- ▶ Citar ejemplos de prostaglandinas de importancia fisiológica. Indicando la función en cada caso.
- ▶ ¿Qué particularidades presenta la digestión y absorción de lípidos?
- ▶ Explicar por qué los lípidos tienen un rol fundamental de almacenamiento energético en el organismo.
- ▶ ¿Cuáles son los tejidos que utilizan lípidos como combustible preferencial?
- ▶ ¿Qué función tienen los antioxidantes? Especifique dando ejemplos
- ▶ ¿Cuáles son las propiedades físicas y fisiológicas que poseen los ácidos grasos?
- ▶ ¿A qué grupo de ácidos grasos se denominan esenciales? ¿Cómo se pueden obtener y en qué cantidad?
- ▶ Nombre un disacárido diferente a sacarosa que no sea reductor.

- a) Trehalosa
- c) Celobiosa

- b) Maltosa
- d) Gentobiosa

¿Cuál es el principal carbohidrato de la leche de mamíferos?

- a) Glucosa
- c) Lactosa

- b) Manosa
- d) Sacarosa

¿Cuál es el principal carbohidrato constituyente de la madera?

- a) Lignina
- c) Celulosa

- b) Xilosa
- d) Ribulosa

5. ENZIMAS METABOLISMO Y FOTOSÍNTESIS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la relación de los componentes bioquímicos en especial en esta unidad las enzimas y vitaminas, con los procesos de metabolismo del ser humano, los animales y en las plantas por medio del estudio de la fotosíntesis.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ▶ Conocer la composición, clasificación, reacciones, propiedades y otros elementos necesarios en el estudio de las enzimas y vitaminas.
- ▶ Analizar los procesos inmersos en el metabolismo de los mamíferos y de la fotosíntesis.

Prueba Inicial

- ▶ Consulte las propiedades de las enzimas y sus clasificaciones
- ▶ Consulte los tipos de vitaminas y la carencia de ellas que enfermedades genera
- ▶ Consultar las rutas metabólicas en los mamíferos
- ▶ Consultar sobre la fotosíntesis y en especial el fenómeno de la fotorespiración
- ▶ Consulte el ciclo de Krebs

5.1. Enzimas y vitaminas

OBJETIVO ESPECÍFICO:

Conocer la composición, clasificación, reacciones, propiedades y otros elementos necesarios en el estudio de las enzimas y vitaminas.

5.1.1. Propiedades de las enzimas

Se ha tenido la ocasión de comprobar de qué manera las formas tridimensionales de las proteínas les permiten desempeñar papeles estructurales y de transporte. Ahora se describirán sus funciones como enzimas. Las enzimas son catalizadores biológicos selectivos de una eficiencia extraordinaria. Toda célula simple contienen múltiples copias de cientos de enzimas distintas que catalizan las reacciones esenciales para la vida. Aun los organismos vivos más simples, contiene múltiples copias de cientos de enzimas diferentes.

En los organismos multicelulares, el complemento de las enzimas varía de un tipo celular a otro. La mayor parte de las enzimas que se describen a continuación, pertenecen a las más comunes que son virtualmente encontradas en todas las células. Estas enzimas catalizan las reacciones de las rutas metabólicas centrales, necesarias para mantener la vida.

La mayor parte de las reacciones catalizadas por enzimas no procederían a velocidades apreciables bajo condiciones fisiológicas en ausencia de las enzimas. El papel de las enzimas es aumentar las velocidades de tales reacciones. En forma típica las reacciones catalizadas por las enzimas son de 10^3 a 10^{20} veces más rápidas que las mismas sin catalizar.

Un catalizador es una sustancia que acelera la llegada a un equilibrio. Un catalizador puede cambiar en forma temporal durante la reacción, pero no cambia en el proceso general, porque se recicla para participar en varias reacciones. Los reactivos se unen a un catalizador y los productos se disocian de él. Un catalizador no cambia la posición.

Del equilibrio de la reacción (es decir, no hace que una reacción no favorable sea favorable) Más bien reduce la cantidad de energía necesaria para que se efectúe la reacción. Los catalizadores aceleran las reacciones tanto hacia adelante como hacia atrás al convertir un proceso de uno o dos pasos en varios pasos menores, cada uno con menor necesidad de energía que la reacción no catalizada. En este temase estudiara la forma en que las enzimas actúan como catalizadores.

Las enzimas son muy específicas para los reactivos o sustratos sobre los que actúan, y varía el grado de especificidad hacia el sustrato. Algunas enzimas actúan sobre un grupo de sustratos relacionados y otras sólo sobre un simple compuesto. Muchas enzimas se ven **estereoespecificidad** ya que sólo actúan sobre un estereoisómero del sustrato quizá el aspecto más importante de la especificidad de una enzima es la especificidad de reacción, esto es, la falta de formación de subproductos como desperdicios. La especificidad de reacción se refleja en la pureza excepcional del producto (100% en esencia) mucho mayor que la pureza de productos de reacciones típicas catalizadas en química orgánica.

La especificidad de las enzimas no sólo ahorra energía a las células sino que también evita la formación de productos metabólicos potencialmente tóxicos.

Las enzimas pueden hacer más que sólo aumentar la velocidad de una sola reacción muy específica. Algunas también pueden combinar, o acoplar, dos reacciones que normalmente serían separadas. Esta propiedad permite que la energía ganada en una reacción se use en una segunda reacción. Las **reacciones acopladas** son una propiedad común de muchas enzimas; por ejemplo, la hidrólisis del ATP se acopla con frecuencia a reacciones metabólicas menos favorables.

Algunas reacciones enzimáticas funcionan como puntos de control en el metabolismo. Como se podrá apreciar, el metabolismo se regula en una variedad de formas que incluyen alteraciones en las concentraciones de enzimas, sustratos e inhibidores de ciertas enzimas. Las enzimas cuya actividad es regulada, tienen en general, una estructura más compleja que las enzimas no reguladas. Con pocas excepciones, las enzimas reguladas son moléculas oligoméricas que tienen sitios de enlace separados para sustratos y moduladores compuestos que actúan como señales de regulación. El hecho de que la actividad enzimática pueda ser regulada es una propiedad importante que distingue a los catalizadores biológicos de los que se encuentran en un laboratorio de química.

El nombre enzima deriva de una palabra griega que significa "en la levadura". Indica que dichos catalizadores están presentes en el interior de las células. A final del siglo XIX se estudió la fermentación de los azúcares por acción de células de levadura.

Los vitalistas (que sostenían que los compuestos orgánicos sólo podían ser formados por células vivas) afirmaban que se necesitaban células intactas para la fermentación. Los mecanicistas decían que las enzimas en las células de levadura eran las que catalizaban las reacciones de fermentación. Esta última conclusión fue respaldada por observación de que los extractos de levadura, sin contenido de células, pueden catalizar la fermentación. A este hallazgo pronto siguió la identificación de las reacciones, individuales y de las enzimas que las catalizan.

Una generación después, James B. Summer cristalizó, en 1926, la primera (ureasa) y demostró que era una proteína. En la siguiente década se purificaron cinco enzimas más y se encontró que también eran proteínas: pepsina, tripsina, quimotripsina, carboxipeptidasa y la enzima Old Yellow (una flavoproteína NADPH oxidasa). Desde entonces se ha demostrado que casi todas las enzimas son proteínas, o proteínas cofactores. Algunas moléculas de ARN también presentan actividad catalítica pero usualmente no se les llama enzimas.

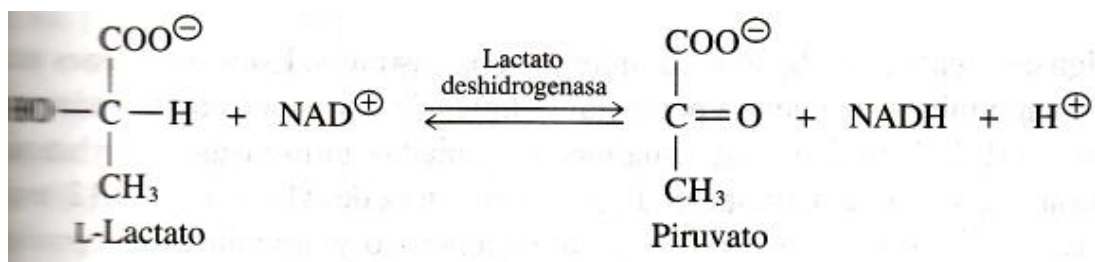
5.1.2. Las seis clases de enzimas

Los nombres en la mayor parte de las enzimas metabólicas se forman agregando el sufijo *—asa* al nombre de sus sustratos, o a un término descriptivo de la reacción talizan. Por ejemplo, la ureasa tiene a la urea como sustrato. La alcohol deshidrogenasa cataliza la remoción de hidrógeno de los alcoholes (es decir, la oxidación de alcoholes).

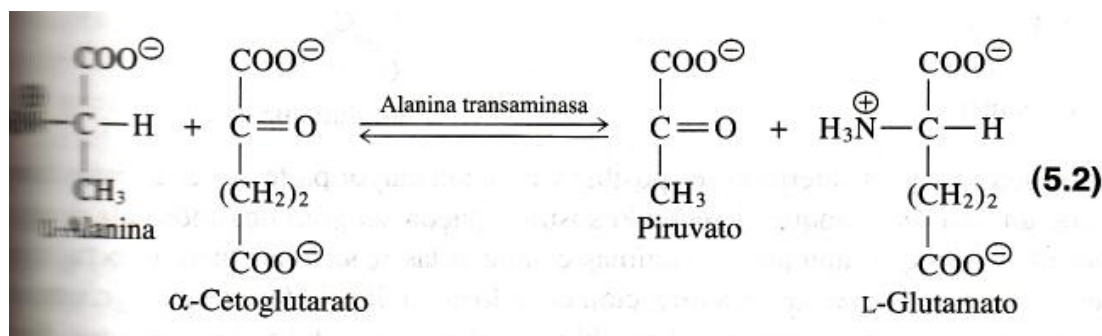
Unas pocas enzimas, como la tripsina y la amilasa, se conocen por sus nombres históricos. Muchas enzimas recién descubiertas reciben su nombre de acuerdo con sus genes o de alguna característica no descriptiva. Por ejemplo, el nombre de Rec A se debe al gen *recA* y el de HSP70 es de una proteína de choque producida por calor; ambas enzimas catalizan la hidrólisis del ATP.

Un comité de la Unión Internacional de Bioquímica y Biología Molecular (IUBMB, International Union of Biochemistry and Molecular Biology) mantiene un esquema de clasificación que asigna categorías a las enzimas de acuerdo con la clase general de reacción química orgánica que es catalizada. Las seis categorías son: oxidorreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas; se definirán más adelante con un ejemplo

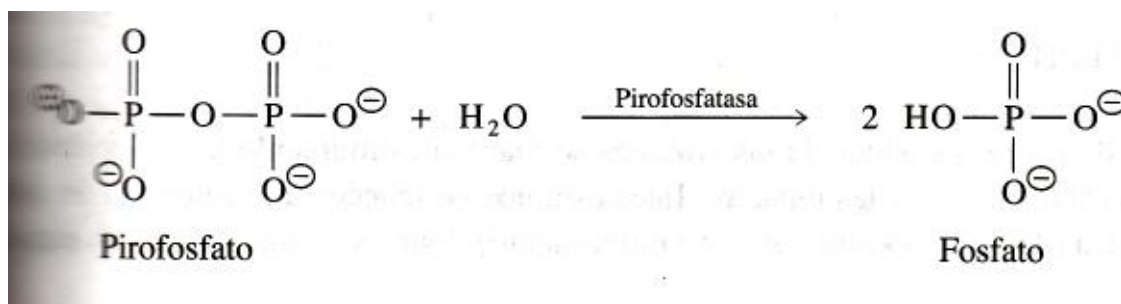
Oxidorreductasas catalizan las reacciones de oxidación-reducción. La mayor parte de esas enzimas se llaman, en general, **deshidrogenasas**. También hay otras enzimas en esta clase que se llaman oxidasas, peroxidasas, oxigenasas o reductasas. En bioquímica hay cada vez más la tendencia a citar esas enzimas por su nombre formal, oxidorreductasas, y no por los nombres más comunes en las publicaciones, no muy recientes de bioquímica. Un ejemplo de una oxidorreductasa es la lactato deshidrogenasa (EC 1.1.1.27), llamada también lactato: NAD orreductasa. Esta enzima cataliza la conversión reversible de L-lactato en pirubato. La oxidación de L-lactato se acopla a la reducción de la coenzima nicotinamida adenina dinucleótido (NAD^+).



Transferasas catalizan las reacciones de transferencia de un grupo y pueden necesitar la presencia de coenzimas. En las reacciones de transferencia de grupo, una parte de la molécula del sustrato se suele enlazar en forma covalente con la enzima o con su coenzima. Este grupo incluye las cinasas, enzimas que catalizan la transferencia de un grupo fosforilo del ATP. La alanina transaminasa, cuyo nombre sistemático es L-alanina:2-oxiglutarato aminotransferasa (EC 2.6.1.2), es un ejemplo típico de esta clase.

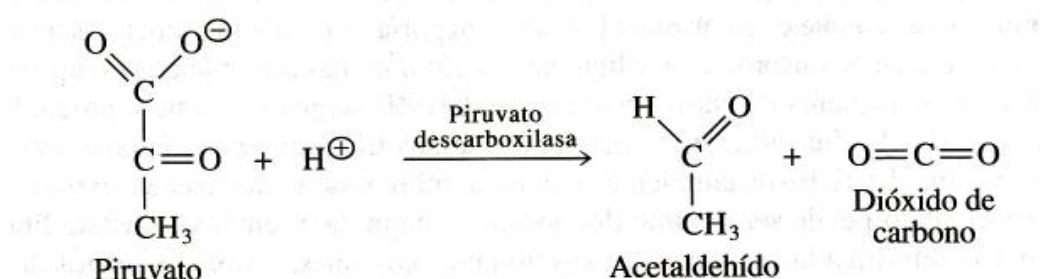


Hidrolasas catalizan hidrólisis. Son una clase especial de transferasas donde el agua sirve como aceptor del grupo transferido. La pirofosfatasa es un ejemplo sencillo de una hidrolasa. El nombre sistemático de esta enzima es difosfato fosfohidrolasa (EC 3.6.1.1).

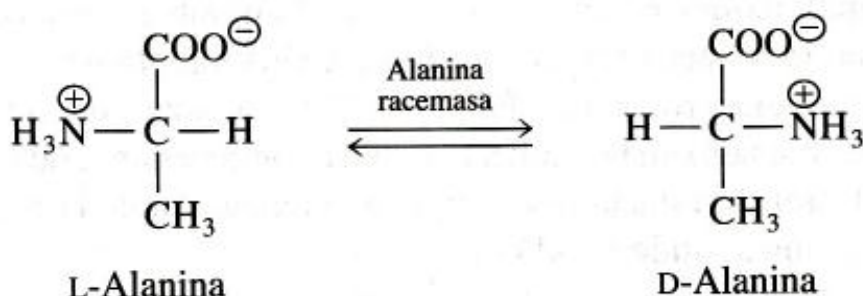


Liasas catalizan la lisis de un sustrato, al generar un enlace doble; son reacciones de eliminación, no hidrolíticas y no oxidantes. En dirección inversa, las liasas catalizan la adición de un sustrato a un doble enlace de un segundo sustrato. Una liasa que cataliza una reacción de adición en las células es frecuentemente llamada sintasa. La piruvato descarboxilasa pertenece a esta clase de

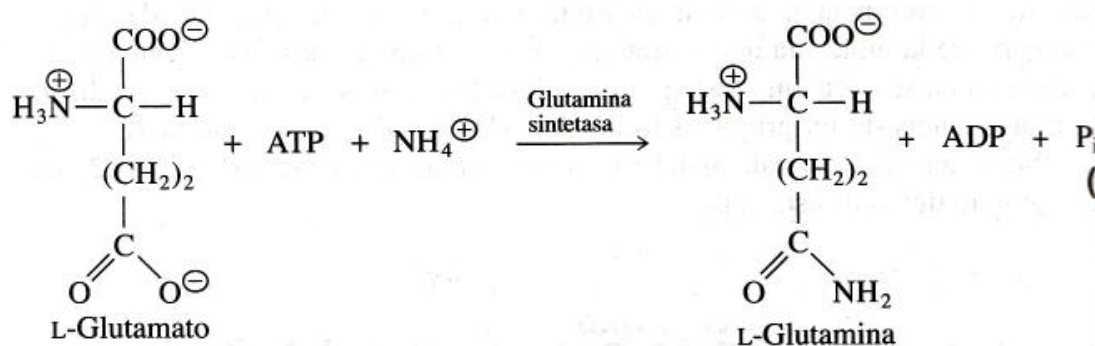
enzimas ya que descompone al piruvato en acetaldehído y dióxido de carbono. El nombre sistemático de la piruvato descarboxilasa, 2-oxo-ácido carboxi-liasa (EC 4.1.1.1 casi nunca se emplea).



Isomerasas catalizan cambios estructurales dentro de una misma molécula (reacciones de isomerización). Como estas reacciones sólo tienen un sustrato y un producto son de las reacciones enzimáticas más simples. La alanina racemasa (EC 5.1.1.1) es una isomerasa que cataliza la interconversión de L-alanina y D-alanina. El nombre común es igual al nombre sistemático.



Ligasas catalizan la ligadura o unión de dos sustratos. Estas reacciones necesitan un suministro de energía potencial química de un nucleósido trifosfato, como el ATP. Las ligasas son usualmente llamadas sintetasas. La glutamina sintetasa, o L-glutamato: amoníaco ligasa (formadora de ADP) (EC 6.3.12) usa la energía de la hidrólisis del ATP para unir Glutamato y amoníaco para producir glutamina.



De los ejemplos anteriores, es posible ver que la mayor parte de las enzimas tienen más de un sustrato, aunque el segundo sustrato pueda ser sólo una molécula de agua. Nótese también que, aunque las enzimas catalizan las reacciones tanto directas *como* inversas, se usan flechas de una dirección cuando el equilibrio favorece un gran exceso de producto frente al sustrato. En el equilibrio, una enzima cataliza las reacciones directa e inversa con la misma velocidad.

5.1.2.1 Regulación de la actividad enzimática

Es claro que la ventaja más importante es acelerar reacciones que de otro modo serían muy lentas para mantener la vida. Otra de las ventajas de las enzimas es que su actividad catalítica que se puede regular de varias maneras. La cantidad de una enzima se puede controlar regulando la velocidad de su síntesis o de su degradación. Este modo de control se presenta en todas especies, pero con frecuencia se tarda de muchos minutos a horas sintetizar nuevas enzimas o degradar las enzimas existentes.

En todos los organismos, el control rápido, a escala de segundos o menos, se puede lograr mediante modulación reversible de la actividad de enzimas reguladoras. En este contexto las enzimas reguladoras se definen como aquellas cuya actividad se modifican en una forma que afecte la velocidad de una reacción catalizada por la enzima (En muchos casos, tales enzimas reguladoras controlan un paso clave en una ruta metabólica).

Cuando se describe la regulación de una ruta, a veces se designarán como enzimas reguladoras a las enzimas que regulan el flujo de metabolitos en una ruta. En general, las enzimas reguladoras se vuelven catalizadores más activos cuando aumenta la concentración de sus sustratos o cuando disminuyen las concentraciones de los productos de sus rutas metabólicas. Se vuelven menos activas cuando disminuyen las concentraciones de sus sustratos o cuando se acumulan los productos de sus rutas metabólicas.

La inhibición de la única enzima inicial en una ruta conserva tanto materiales como energía, evitando la acumulación de compuestos intermedios y del producto final. Las enzimas reguladoras se pueden clasificar por el método de su modulación alostérica no covalente o modificación covalente.

Los fenómenos alostéricos son los responsables del control reversible de numerosas enzimas reguladoras. Muchas enzimas reguladoras también sufren transiciones alostéricas entre los estados activo (R) e inactivo (T). Estas enzimas disponen de un segundo sitio de unión para el ligando, alejado de sus centros catalíticos. Este segundo sitio se llama **sitio regulador** o sitio alostérico.

Un inhibidor o activador alostérico, que también se llama modulador alostérico o efectos alostérico, se une al sitio regulador y causa un cambio de conformación en la enzima reguladora. Este cambio de conformación es transmitido al sitio activo de la enzima, el cual cambia de forma lo suficiente para alterar su actividad. Los sitios regulador y catalítico son regiones físicamente diferentes de la proteína —en general se encuentran en dominios separados y a veces en subunidades separadas.

Las enzimas con regulación alostérica suelen ser más grandes que otras enzimas. (Nótese que también la actividad de una enzima reguladora se puede controlar por modificación covalente).

Primero se ha de examinar una enzima que presenta regulación alostérica (no covalente) y después se mencionarán algunas propiedades generales de tales enzimas.

5.1.2.2 Complejos multienzimáticos y enzimas multifuncionales.

En algunos casos hay distintas enzimas que catalizan reacciones consecutivas en la misma ruta y se hallan unidas entre sí en un complejo multienzimático. En otros casos se pueden encontrar distintas actividades en una sola cadena polipeptídica multifuncional. La presencia de actividades múltiples en una sola cadena de polipéptido suele ser el resultado de un evento de fusión de genes.

Algunos complejos multienzimáticos son bastante estables. Habrá ocasión de estudiar más adelante algunos de ellos al describir la biosíntesis de ácidos grasos y ácidos nucleicos. En otros complejos multienzimáticos, las proteínas pueden estar asociadas más débilmente, principalmente por complementariedad estérica y electrostática. Y por uniones hidrofóbicas. Ya que tales complejos se disocian con facilidad, se ha dificultado demostrar su existencia y su importancia. Otra forma en que se pueden asociar enzimas es por fijación a las membranas o a componentes del citoesqueleto.

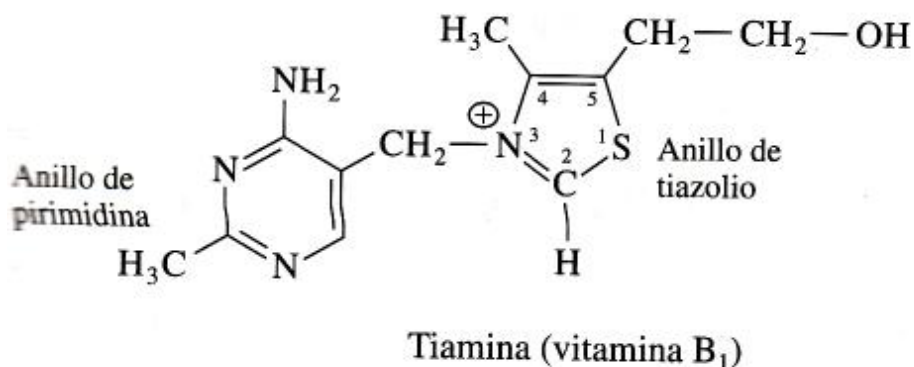
Las ventajas metabólicas de los complejos multienzimáticos y de las enzimas multifuncionales incluyen la posibilidad de **canalización del metabolito**.

5.2. Vitaminas

La palabra vitamina fue acuñada por Casimir Funk en 1912 para describir una “amina vital” de los hollejos del arroz, que curaba el beriberi, una enfermedad por deficiencia nutricional que causa degeneración neural. El beriberi fue descrito primero en los pájaros y después en humanos cuyas dietas consistían principalmente en arroz limpio (pulido). La sustancia anti-beriberi (tiamina) se conoció como vitamina B1. Desde entonces se han identificado dos amplias clases de vitaminas: las hidrosolubles, como las vitaminas B y las liposolubles (llamadas también vitaminas lipídicas. Aunque se demostró que muchas vitaminas son todo menos que aminas, se ha conservado el término vitamina.

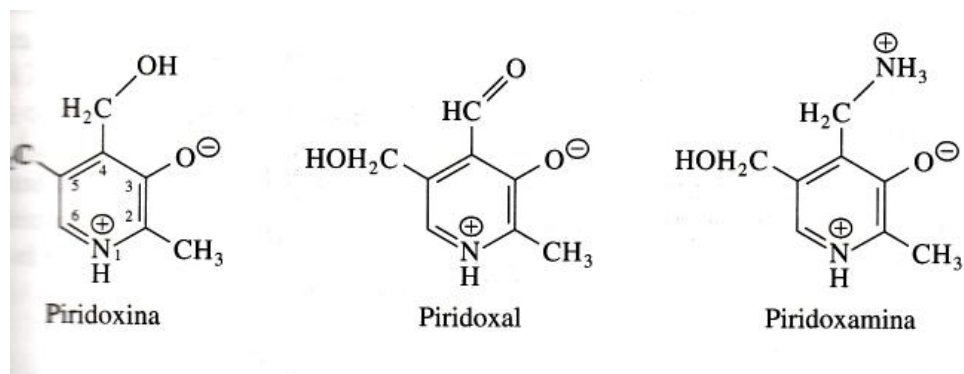
Las vitaminas hidrosolubles (solubles en agua) se requieren diariamente en pequeñas cantidades, porque son excretadas con facilidad en la orina y los almacenamientos celulares de sus coenzimas son inestables. Al revés, las vitaminas lípidos (solubles en grasa y aceites) como las vitaminas A,D,E,K, son almacenadas por los animales y su ingestión exagerada puede causar estados de toxicidad llamados hipervitaminosis.

Tiamina: O vitamina B1 contiene un anillo de pirimidina y un anillo de tiazolio con carga positiva, en los mamíferos la tiamina es una vitamina esencial. Abunda en las cascaras de arroz y en los cereales.



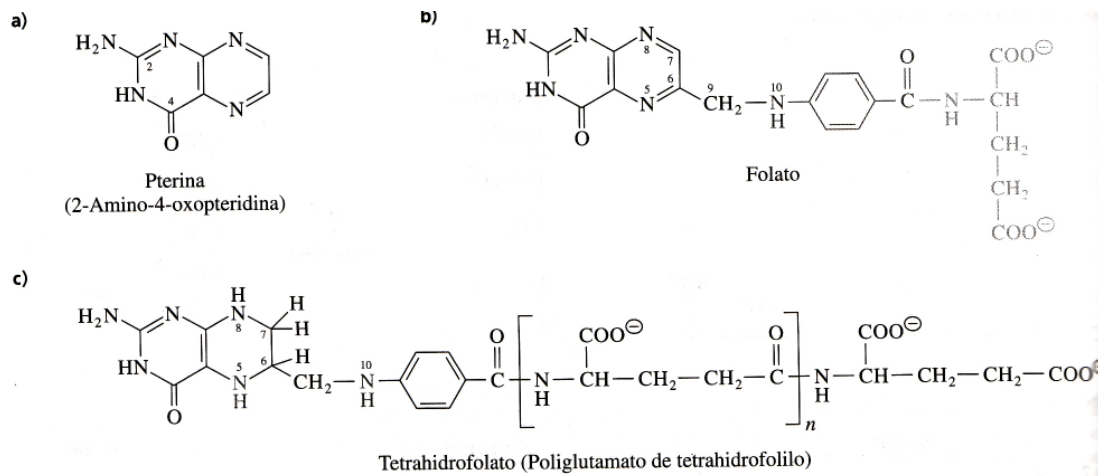
Fosfato de piridoxal: La familia de vitaminas B6 hidrosolubles consiste en tres moléculas estrechamente relacionadas que solo difieren en el estado de oxidación o aminación en el carbono unido a la posición 4 del anillo de piridina. La vitamina B6 se encuentra con facilidad en muchas fuentes vegetales y animales. La deficiencia en ratas produce dermatitis y diversas alteraciones

relacionadas con el metabolismo de las proteínas, pero en realidad son raras las deficiencias de esta en humanos.



Biotina se identificó por primera vez como factor esencial para el crecimiento de las levaduras. Como la biotina es sintetizada por las bacterias intestinales y solo se requiere en muy pequeñas cantidades (microorganismos por día), es rara la deficiencia de Biotina en los humanos o animales alimentados con dietas normales. Sin embargo se puede inducir una deficiencia de biotina ingiriendo claras de huevo crudas que contienen una proteína llamada adivina, esta se une fuertemente a la biotina y la hace no disponible para la absorción en el tracto intestinal, Cuando se cocinan los huevos la adivina se desnaturaliza y pierde su afinidad hacia la biotina.

Tetrahidrofolato las vitaminas folato se aisló por primera vez a principios de la década de 1940, a partir de hojas verdes, hígado y levadura. El folato tiene tres componentes principales: pterina (2-amino-4-oxopterina), una mitad de ácido p-aminobenzoico y un residuo de glutamato. Los humanos requieren folato en su dieta porque no puede sintetizar el compuesto. La estructura de la coenzima folato, que se llama Tetrahidrofolato, en forma colectiva, en forma colectiva, difieren de la vitamina en dos cosas: son compuestos reducidos y están modificados por adición de residuos de Glutamato unidos entre sí mediante enlaces γ -glutamilamida.



Cobalamina o llamada también vitamina B12 es la mayor de las vitaminas B. Todos los animales la requieren como micronutriente y también algunas bacterias y algas, las plantas no requieren cobalamina, por lo que no la sintetizan. La deficiencia de Cobalamina puede causar anemia perniciosa y afecciones neurológicas.

5.2.1. Vitaminas lipídicas

Las estructuras de las cuatro vitaminas lipídicas (A, D, E y K) contienen anillos y largas cadenas laterales alifáticas. Las vitaminas lipídicas son muy hidrofóbicas, aunque una posee cuando menos un grupo polar. Al ingerirse son absorbidas en el intestino proceso parecido a la absorción de otros nutrientes lípidos. Después de digerir toda la proteína que pueda estar unida a ellas, son arrastradas a la interfase celular del intestino en forma de micelas formadas con sales biliares. El estudio de esas moléculas hidrofóbicas ha presentado varias dificultades técnicas, por lo que la investigación de su mecanismo ha sido más lenta que la de sus contrapartes hidrosolubles. Las vitaminas lipídicas difieren mucho en sus funciones, como se verá a continuación.

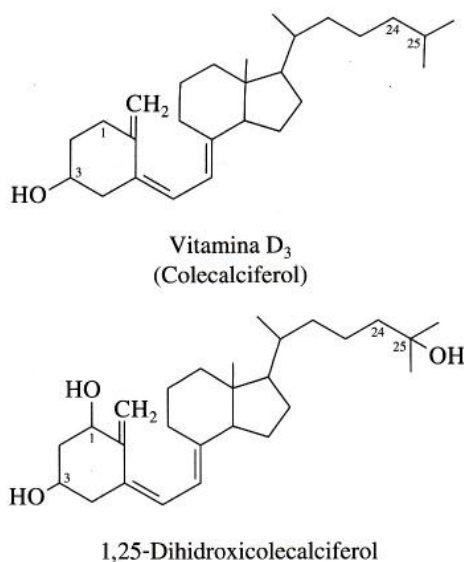
► Vitamina A

La vitamina A, o retinol, es una molécula lipídica con 20 carbonos, que se obtiene en la dieta, ya sea forma directa o indirecta, como β -caroteno. Las zanahorias y otras verduras amarillas son ricas en β -caroteno, un lípido vegetal con 40 carbonos cuya ruptura oxidante enzimática produce la vitamina A. La vitamina A existe en tres formas que difieren en estado de oxidación del grupo funcional terminal: el retinol, un alcohol estable, el retinal un aldehído y el ácido retinoico. Los tres compuestos tienen funciones biológicas importantes. El ácido retinoico es un compuesto señalador que se une a proteínas receptoras dentro de las células; los complejos ligando-receptor se unen

entonces a cromosomas y pueden regular la expresión genética durante la diferencia diferenciación celular. El aldehído retinal es un compuesto sensible a la luz, con importante papel en la visión. El retinal es el grupo prostético de la proteína rodopsina, y la absorción de un fotón de luz en el retinal dispara un impulso nervioso.

► Vitamina D

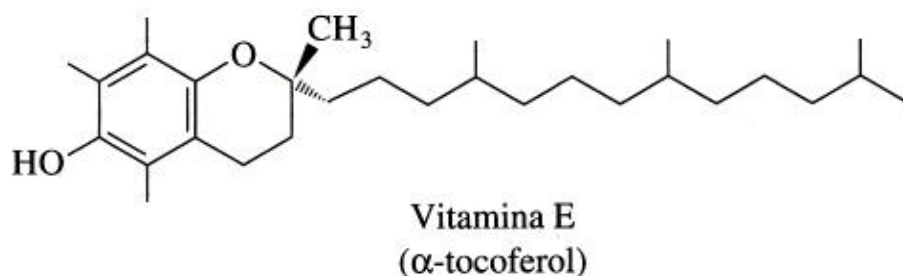
La vitamina D es un nombre colectivo de un grupo de lípidos relacionados. Cuando los humanos se exponen a suficiente luz solar, se forma vitamina D₃ (colecalfiferol) en forma, no enzimática, en la piel, a partir del esteroide 7-dehidrocolesterol. La vitamina D₂ compuesto relacionado con la vitamina D₃ (la D₂ tiene un grupo metilo adicional) es el aditivo en las leches fortificadas. La forma activa de la vitamina D₃, el 1,25-dihidroxi-colecalfiferol se forma a partir de la vitamina D₃ mediante dos reacciones de hidroxilación, la vitamina D₂, se activa en forma parecida. La vitamina D regula tanto la absorción intestinal del calcio, como su depósito en los huesos. En por deficiencia de vitamina D, como raquitismo en niños y osteomalacia en adultos.



Vitamina E

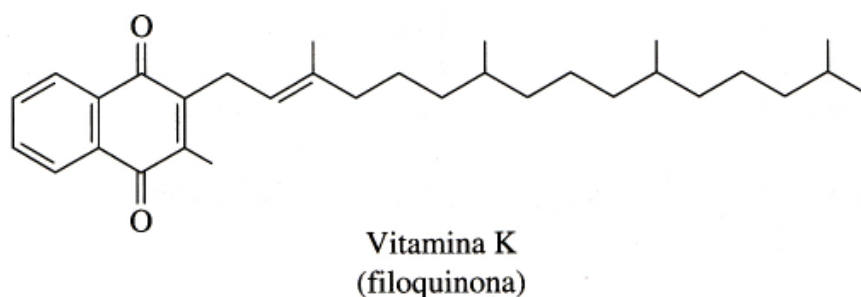
La vitamina E, o α -tocoferol es uno de varios tocoferoles estrechamente relacionados; son compuestos que tienen un sistema anular bicíclico oxigenado, con una cadena lateral hidrofóbica. El grupo fenol de la vitamina E puede oxidarse y formar un radical libre estable. Se cree que la vitamina E funciona como agente reductor que secuestra oxígeno y radicales libres; esta acción

oxidante podría evitar daños a los ácidos en las membranas biológicas. Son raras las deficiencias de vitamina E, pero pueden causar glóbulos rojos frágiles y daño neurológico.



Vitamina K

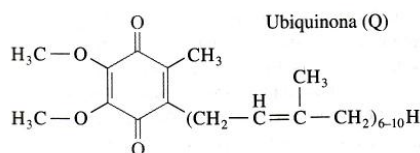
La vitamina K (filoquinona) es una vitamina lipídica procedente de plantas, necesaria en la síntesis de algunas de las proteínas que intervienen en la coagulación sanguínea. Es una coenzima de una carboxilasa de mamíferos que cataliza la conversión de residuos específicos de glutamato para formar residuos de γ -carboxiglutamato.



► Ubiquinona

La ubiquinona, llamada también coenzima Q y en consecuencia se abrevia Q, es una coenzima soluble en lípidos, sintetizada por casi todas las especies. Es una benzoquinona. La coenzima Q tiene un papel principal en el transporte de electrones asociado a la membrana. Es responsable de

mover protones de uno a otro lado de la membrana, por un proceso llamado ciclo Q. El gradiente de protones que resulta impulsa la síntesis de ATP.”⁹



Ejercicio

Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)

El papel de las enzimas es controlar las velocidades de las reacciones

Las especificidades de las enzimas evita la formación de los productos metabólicos potencialmente tóxicos

Los catalizadores que se encuentran en un laboratorio de química poseen una cantidad enzimática que puede ser regulada a diferencia de los catalizadores biológicos que no puede ser regulada

La tripsina es una enzima

Las hidrolasas son una clase potencial de transferasas

5.3. Metabolismo y Fotosíntesis

OBJETIVO ESPECÍFICO:

Analizar los procesos inmersos en el metabolismo de los mamíferos y de la fotosíntesis.

5.3.1. El Metabolismo en los mamíferos

“La sangre es el vehículo de transporte de nutrientes desde el intestino al hígado y a otros tejidos, de los productos orgánicos de desecho a los riñones, y de los gases respiratorios oxígeno y dióxido

⁹ HORTON, H, Robert y otros. Principios de Bioquímica. Cuarta edición. Editorial Pearson. México. 2008
p.129-132,148-149,154,194,202-214

de carbono. El plasma sanguíneo contiene un 7 % de proteínas plasmáticas que desempeñan múltiples funciones, especialmente el transporte de lípidos, de ácidos grasos y de otros componentes sanguíneos. El restante 3 % de sólidos son metabolitos, productos de desecho e iones inorgánicos.

El hígado es el órgano principal de la elaboración y distribución de nutrientes. Es el responsable de la formación de la glucosa sanguínea y de las lipoproteínas plasmáticas, así como de la distribución de los aminoácidos por el torrente circulatorio.

Transforma a otros monosacáridos en glucosa-6-fosfato, a la cual convierte en glucógeno y en acetil-CoA y, por tanto, en ácidos grasos; la glucosa-6-fosfato es también utilizada en la generación de NADPH para la síntesis reductora de ácidos grasos y de colesterol. El hígado también desamina aminoácidos, lleva a cabo la gluconeogénesis y es el único centro donde se realiza la síntesis de la urea. También forma y secreta las sales y los pigmentos biliares al intestino.

El tejido adiposo o graso constituye el otro centro principal de almacenamiento y distribución de combustibles. Puede almacenar enormes cantidades de triacilglicéridos, que recibe del intestino en forma de quilomicrones, o que se forman de la glucosa sanguínea bajo el estímulo de la insulina. Los triacilglicéridos poseen un mayor contenido energético que el glucógeno, peso por peso, y se almacenan en forma anhidra. Del tejido adiposo se liberan ácidos grasos libres cuando es estimulado por adrenalina y por otras hormonas, por la acción de una lipasa ciclo-AMP-dependiente. Los ácidos grasos libres son transportados a otros tejidos, ligados a la albúmina. El cerebro utiliza el 20 % del oxígeno total consumido por el cuerpo, y en condiciones normales solo puede utilizar glucosa como combustible.

El corazón emplea como combustibles preferentes, ácidos grasos y compuestos cetónicos, pero cuando se le impone un trabajo súbito, puede utilizar la conversión glucolítica del glucógeno en lactato como fuente de ATP. Los músculos esqueléticos también utilizan ácidos grasos libres y cuerpos cetónicos, pero para requerimientos energéticos súbitos dependen de la conversión de la glucosa y del glucógeno en lactato. Los riñones emplean la mayor parte de su producción de ATP para el transporte activo de glucosa, Na^+ y K^+ durante la secreción de la orina.

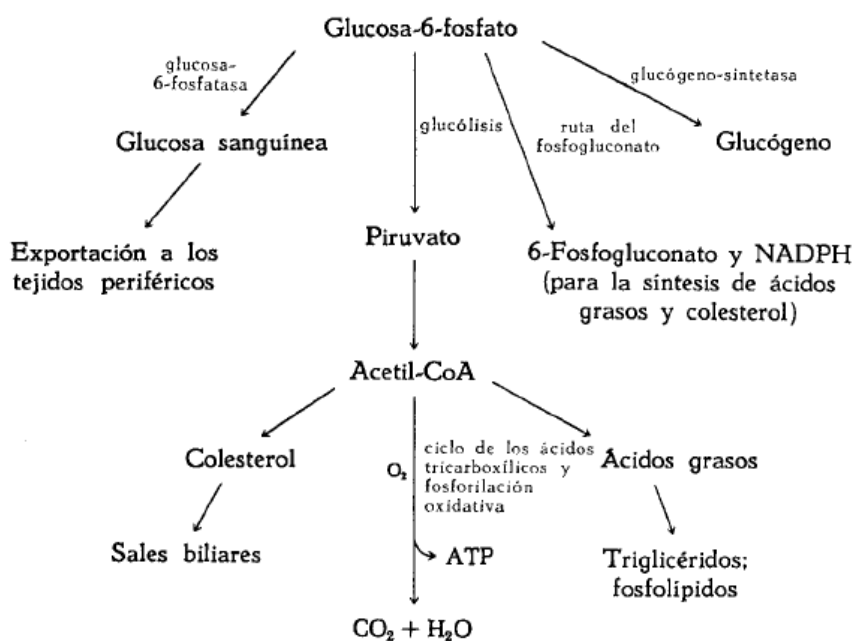
En los estados de inanición, los triacilglicéridos son la fuente energética principal, suplementada por la proteína corporal, la cual, por gluconeogénesis de los aminoácidos, proporciona glucosa para el cerebro. El drenaje de la proteína del cuerpo se reduce a un mínimo gracias a una adaptación metabólica del cerebro, según la cual adquiere la capacidad de utilizar como fuente energética a los cuerpos cetónicos resultantes de la oxidación de los ácidos grasos, en vez de glucosa. Sin embargo, cuando se han agotado los suministros de triglicéridos, se gasta mucha proteína corporal, en especial de los músculos. El kwashiorkor es un estado patológico de semi-inanición padecido por niños sometidos a una dieta deficiente en proteínas.

La diabetes mellitus es una enfermedad compleja, si bien sus manifestaciones principales son hiperglucemia, glucosuria, poliuria, sed y hambre. En la diabetes grave se utilizan los almacenes corporales de proteína para generar glucosa sanguínea, mucha de la cual se pierde por la orina. Por una u otra razón, los diabéticos carecen de la capacidad de liberar insulina a la sangre, como respuesta a una elevación de nivel del azúcar sanguíneo, lo que se descubre mediante la prueba de tolerancia a la glucosa. Exhiben un fuerte incremento de la gluconeogénesis de los aminoácidos, un fallo casi completo en la conversión de la glucosa en ácidos grasos, así como una producción excesiva de cuerpos cetónicos a partir de los ácidos grasos; la síntesis de proteínas a partir de aminoácidos está también disminuida. Aunque el principal defecto de los diabéticos estriba en la imposibilidad del transporte de glucosa a los tejidos muscular y adiposo, el modo de acción preciso de la insulina no ha sido aún aclarado.

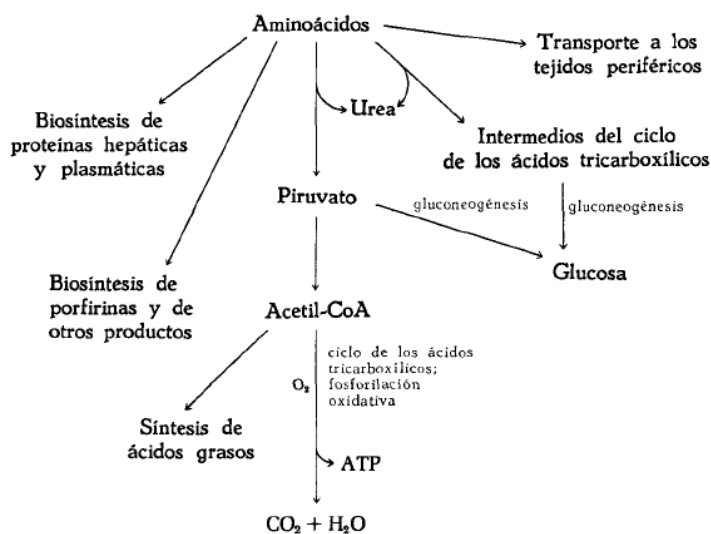
Otro tipo de disfunción metabólica se presenta en los animales aquejados de cáncer. Las células cancerosas utilizan grandes cantidades anormales de glucosa, a la que convierten principalmente en lactato sanguíneo. El lactato es reconvertido en glucosa por el hígado, a un elevado costo neto de ATP. Por ello las células cancerosas se consideran como unos verdaderos parásitos metabólicos.”¹⁰

Rutas metabólicas de la glucosa-6-fosfato en el hígado.

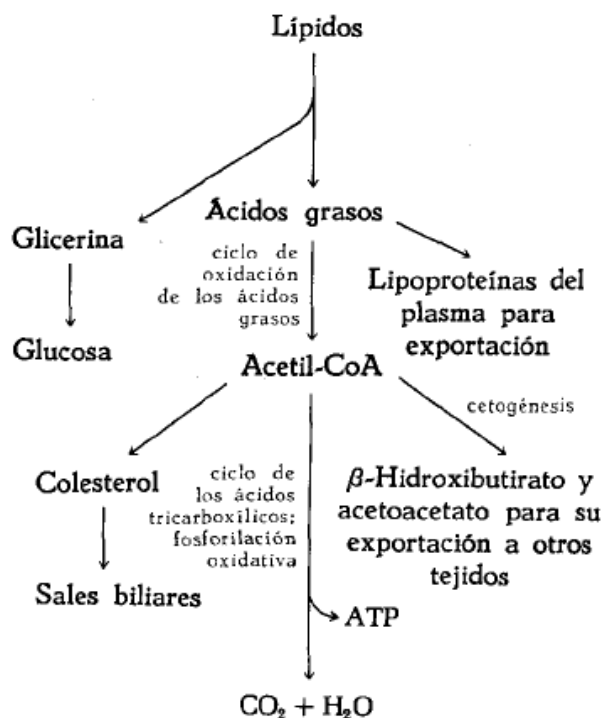
¹⁰ Nelson, David L. Cox, Michael M. Lehninger Principios de Bioquímica .Ediciones Omega. Ed. #3. España 2001. Capítulo 30 pág. 861-862



Metabolismo aminoácido en el hígado.



Destino de los lípidos en el hígado.



5.3.1.1 La Fotosíntesis

“Sin lugar a dudas, la fotosíntesis es el proceso bioquímico más importante de la Tierra. Con unas pocas excepciones menores, la fotosíntesis es el único mecanismo mediante el cual los seres vivos disponen de una fuente externa de energía. Igual que en otros procesos que producen energía, la fotosíntesis implica reacciones de oxidación-reducción. El agua es la fuente de los electrones y los protones que reducen al CO_2 para formar compuestos orgánicos.

Al hacerse abundantes los seres vivos sobre, la primitiva Tierra, el consumo de los nutrientes orgánicos que generaban los procesos geoquímicos se hicieron mayores que la producción. El abundante CO_2 de la primera atmósfera terrestre era la *fuentes* natural de carbono de la síntesis orgánica. (La mayoría de este CO_2 origen volcánico o se generaba durante la degradación anaerobia de los nutrientes orgánicos por los seres vivos.) Sin embargo, el CO_2 era una molécula oxidada con poca energía.

Por esta razón, los procesos por medio de los cuales se incorpora el CO_2 en las moléculas orgánicas requieren energía y poder reductor. (La formación de enlaces carbono-carbono requiere energía libre que actualmente proporciona la hidrólisis del ATP. Se requiere poder reductor debido a que un donador electrónico fuerte debe proporcionar los electrones de energía elevada que se

necesitan para convertir el CO_2 en una unidad CH_2O , una vez incorporado el CO_2 a una molécula orgánica.)

La formación de los mecanismos fotosintéticos (que se denominan fotosistema) proporcionó la energía y el poder reductor para la síntesis orgánica. Los organismos que los poseyeron tuvieron una clara ventaja para sobrevivir, debido a que no dependían más de un aporte precario de nutrientes orgánicos ya formados.

Estos organismos primitivos se supone que debían ser semejantes a las modernas bacterias sulfúreas verdes, que poseen un fotosistema que utiliza la energía luminosa de una molécula de pigmento del fotosistema, se proporciona a energía a un electrón y luego se cede al primero de los diversos aceptores electrónicos.

Finalmente se ceden al NAD^+ dos electrones excitados por la luz, formando así el agente reductor NADH (Las modernas bacterias sulfúreas verdes pueden utilizar también el NADPH como agente reductor en la fotosíntesis).

En especies más avanzadas, se utiliza exclusivamente como agente reductor el NADPH.) El componente de la membrana que interviene en la conversión de la energía luminosa en energía química es un complejo proteína-pigmento que se denomina **centro de reacción**. Los electrones que salen del centro de reacción se sustituyen cuando los componentes oxidados del centro de reacción retiran los electrones del H_2S , generando así S. Al fluir los electrones por el fotosistema, se bombean protones a través de la membrana, creando así un gradiente electroquímico. El ATP se sintetiza al regresar los protones a la célula a través de la ATP sintasa. Este fotosistema, por lo tanto, proporciona a la célula bacteriana el NADH y el ATP que incorporan el CO_2 a las moléculas orgánicas. Sin normalmente no se produce H_2S en grandes cantidades, y la mayoría de las moléculas de H_2S se producen en zonas relativamente aisladas.

El siguiente paso fundamental en la evolución de la vida fue un fotosistema eliminaba y utilizaba los electrones del H_2O . Debido a que el agua es abundante organismos fotosintéticos penetraron y ocuparon nuevas áreas extensas sobre el planeta.

La fotosíntesis que utiliza el agua también tuvo un impacto profundo sobre otros organismos. Al proliferar los organismos fotosintéticos, proporcionaron un aporte nuevo y más rico de moléculas orgánicas para otras formas de vida. Sin embargo su contribución más significativa fue la acumulación de oxígeno gaseoso en la atmosfera.

Como se ha descrito previamente, algunos organismos (es decir, aquellos que sobrevivieron a este período) se adaptaron a estas condiciones cambiantes estableciendo mecanismos que los

protegieran contra los efectos tóxicos del oxígeno. Finalmente los organismos comenzaron a utilizar el oxígeno para generar energía.

Los electrones que se eliminan del H_2O tienen un potencial redox más positivo que los del H_2S . Se requiere, por lo tanto, un aporte de energía mayor para impulsar la transferencia de electrones desde el H_2O a los aceptores electrónicos con potenciales de reducción más negativos. Por consiguiente, para convertir los electrones del agua de baja energía en los electrones de energía elevada que se necesitan para la síntesis de ATP y NADPH se requieren mecanismos, más complejos y sofisticados.

► Clorofila y cloroplastos

La característica esencial de la fotosíntesis es la absorción de energía luminosa mediante moléculas de pigmento especializadas. Las **clorofilas** son moléculas verdes de pigmento que se asemejan al hemo. La clorofila a desempeña un papel principal en la fotosíntesis de los eucariotas, debido a que la absorción de energía impulsa directamente los acontecimientos fotoquímicos. La clorofila b actúa como un pigmento recolector de luz absorbiendo energía luminosa y pasándola a la clorofila a:

► Los carotenoides

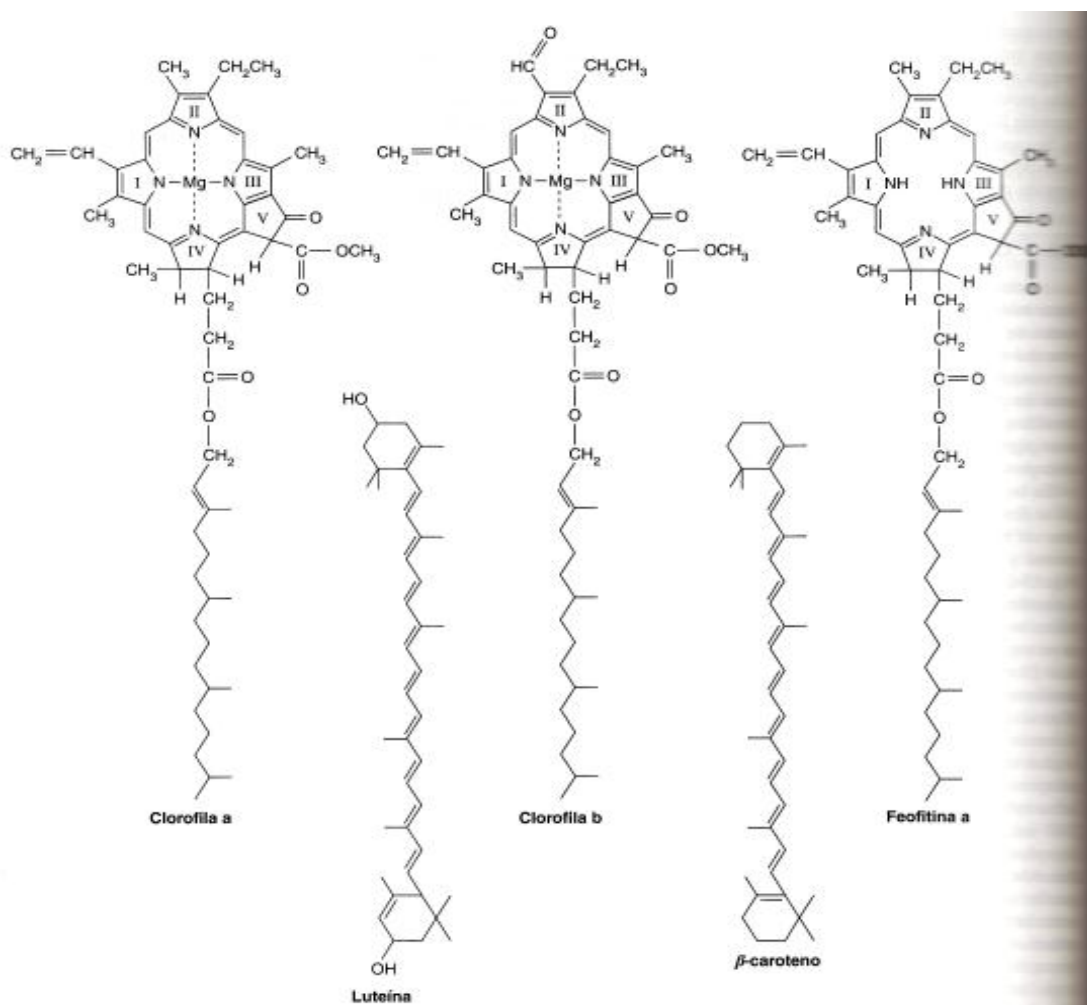
Son moléculas isoprenoides de color naranja que actúan o como pigmentos recolectores de luz (p. ej., la luteína, una xantofila) o como protectores contra las especies de oxígeno reactivas (ROS) (p. ej., el β -caroteno).

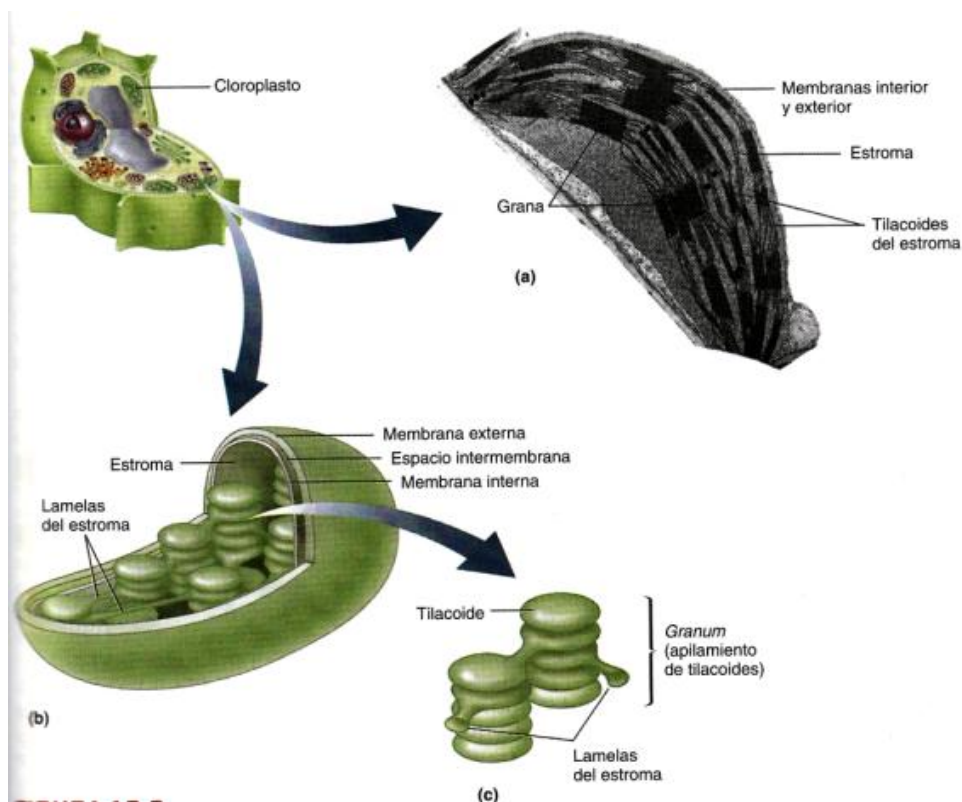
En las plantas y las algas, la fotosíntesis tiene lugar en orgánulos especializados que se denominan cloroplastos. Éstos se parecen a las mitocondrias en varios aspectos.

En primer lugar, ambos orgánulos tienen una membrana externa y una membrana interna con características diferentes de permeabilidad. La membrana externa de cada orgánulo es muy permeable, mientras que la membrana interna posee moléculas transportadoras especializadas que regulan el tráfico molecular. En segundo lugar, la membrana interna de los cloroplastos encierra un espacio interior, que se denomina **estroma** que se parece a la matriz mitocondrial. El estroma posee varias enzimas (p. ej., las que catalizan las reacciones independientes de la luz y la síntesis de almidón), DNA y ribosomas. Existen también diferencias notables entre los orgánulos. Por ejemplo, los cloroplastos son sustancialmente más grandes que las mitocondrias. Aunque sus formas y tamaños varían, muchas mitocondrias vegetales son estructuras con forma de bastón, con una longitud aproximada de 1500 nm y una anchura de 500 nm.

Muchos cloroplastos tienen forma esférica con longitudes entre 4000 y 6000 nm y anchuras aproximadas de 2000 nm. Se desconocen las razones de estos intervalos de tamaño. Además, los cloroplastos poseen una tercera membrana diferente que se denomina **membrana tilacoide** forma un conjunto intrincado de vesículas aplanadas. Como se ha descrito antes, la membrana tilacoide está plegada en un conjunto de estructuras vesiculares semejantes a discos que se llaman **grana**. Cada granum consiste en un apilamiento de varias vesículas aplanadas.

El compartimiento interno que crea la formación de grana se denomina luz (o espacio) del tilacoide. La membrana tilacoide que interconecta la grana se denomina lamela del estroma. Los pigmentos y las proteínas responsables de las reacciones de la fotosíntesis dependiente de la luz se encuentran dentro de la membrana tilacoide. La mayoría de estas moléculas están organizadas en las unidades de funcionamiento de la fotosíntesis.



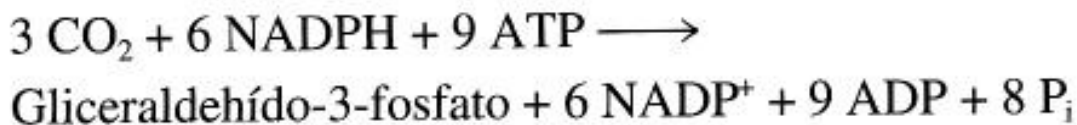


Estructura del cloroplasto.

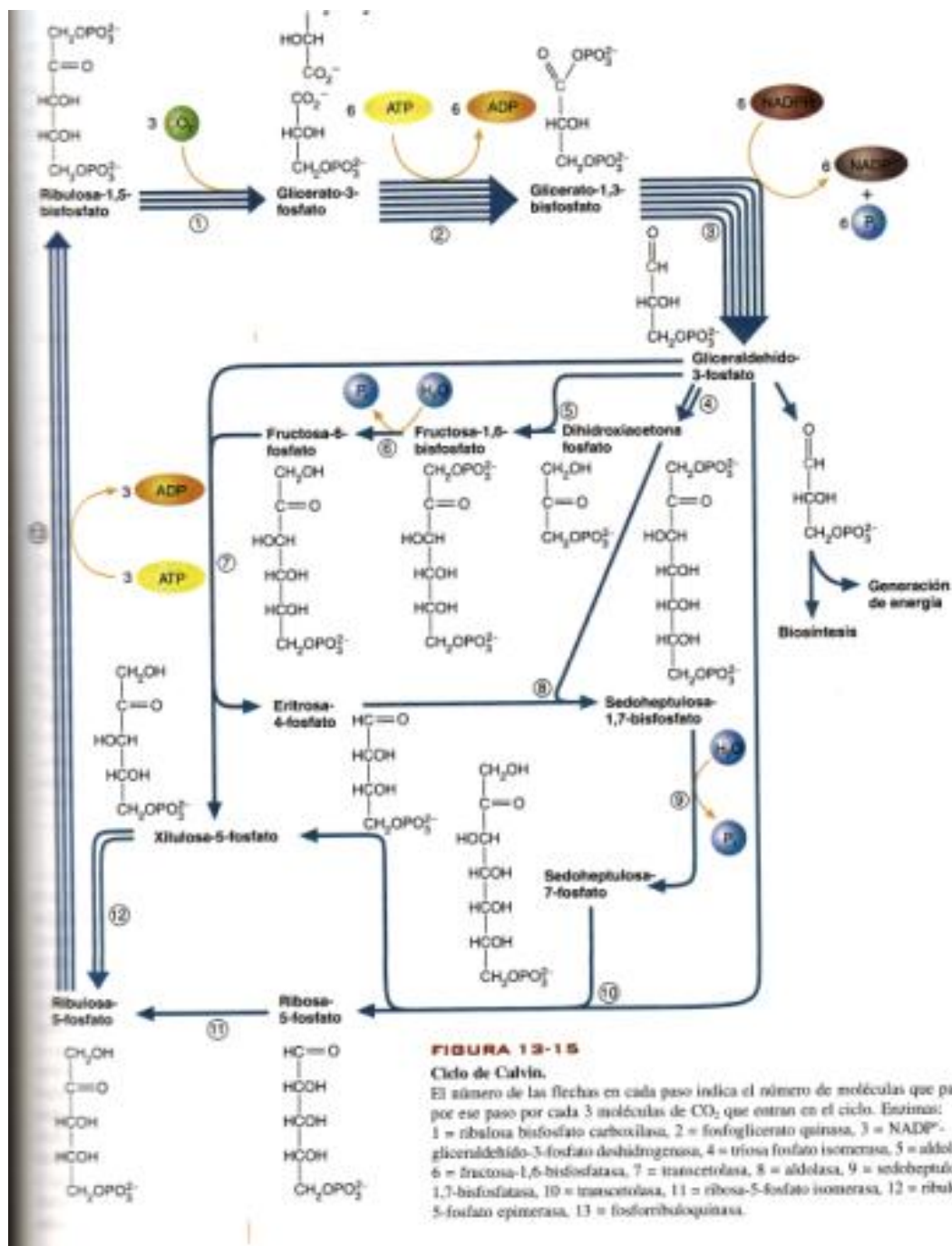
Los cloroplastos tienen membranas interna y externa. Una tercera membrana se forma dentro del estroma acuoso con abundantes enzimas en sacos aplanados denominados tilacoides. Se llama *granum* a un apilamiento de tilacoides, y estroma de las lamelas a la membrana tilacoide sin apilar que los conecta. (a) Micrografía electrónica de un cloroplasto. (b) Proyección esquemática de un cloroplasto. (c) Corte de un *granum*.

► Ciclo de Calvin

La ecuación neta del ciclo de Calvin es:



Por cada tres moléculas de CO_2 que se incorporan en moléculas de hidrato de carbono, existe una ganancia neta de una molécula de gliceraldehído-3-fosfato. La fijación de seis CO_2 en una molécula de hexosa tiene lugar a expensas de 12 NADPH y 18 ATP. Las reacciones del ciclo pueden dividirse en tres fases: Fijación del carbono, Reducción y Regeneración.



Ciclo de Calvin.

El número de las flechas en cada paso indica el número de moléculas que pasan por ese paso por cada 3 moléculas de CO₂ que entran en el ciclo. Enzimas:

1 = ribulosa bisfosfato carboxilasa, 2 = fosfoglicerato quinasa, 3 = NADP⁺-gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa, 4 = triosa fosfato isomerasa, 5 = aldolasa, 6 = fructosa-1,6-bisfosfatasa, 7 = transcetolasa, 8 = aldolasa, 9 = sedoheptulosa-1,7-bisfosfatasa, 10 = transcetolasa, 11 = ribosa-5-fosfato isomerasa, 12 = ribulosa-5-fosfato epimerasa, 13 = fosforribuloquinasa.

„ 11

Ejercicio

Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)

El hígado es el único centro donde se realizan la síntesis de la urea

El combustible que usa el cerebro es la fructosa

El Kwashiorkor es una enfermedad en niños por deficiencias de proteínas

Los parásitos metabólicos son las células llamadas cancerosas por el alto consumo de energía

La clorofila actúa como pigmento recolector de luz

¹¹ McKee Trudy y McKee James R. Bioquímica, la base molecular de la vida, tercera edición. Editorial McGraw Hill. España. 2003 p 417-419,434-435

Prueba final

1. Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)
 - ▶ En el equilibrio una enzima cataliza las reacciones directa e inversa con diferente velocidad
 - ▶ La cantidad de enzima se puede controlar regulando la velocidad de su síntesis
 - ▶ Las enzimas reguladoras se vuelven catalizadores más activos cuando disminuye la concentración de los sustratos o cuando aumenta la concentración de los productos.
 - ▶ La presencia de actividad múltiple en una sola cadena de polipéptido suele ser el sustrato de un evento de fusión de genes.
 - ▶ La carencia de tiamina genera escorbuto.
 - ▶ Las plantas son las principales sintetizadoras de cobalamina.
 - ▶ La vitamina D3, es un aditivo en leches fluidizadas.
 - ▶ La deficiencia de vitamina D produce raquitismo en los niños.
 - ▶ Los carotenoides actúan como pigmentos recolectores de luz.
 - ▶ Los estomas son más grandes que las mitocondrias.

Actividad

Realizar un resumen con los tipos de vitaminas, las fuentes de alimentos de la que se puede sacar para aportar a los humanos y animales los requerimientos mínimos, y las cantidades máximas permitidas, en especial en concentrados para animales. Y las posibles enfermedades que la carencia de estas generan en aves, equinos, porcinos, y bovinos.

6. BIOQUÍMICA AGROINDUSTRIAL ANIMAL Y VEGETAL

OBJETIVO GENERAL

Asociar los conceptos aprendidos en las unidades anteriores con los procesos de algunas industrias agroalimentarias.

OBJETIVO ESPECÍFICO

Identificar algunas aplicaciones de la bioquímica en temas de la agroindustria alimentaria.

Prueba Inicial

Consultar los métodos de extracción de proteínas animales y vegetales y dar dos ejemplos de cada uno de ellos (diferentes a los vistos en éste módulo).

Consultar el significado de los siguientes términos:

- ▶ Termodesnaturalización
- ▶ Extracción solido- líquido
- ▶ Precipitación isoelectrica
- ▶ Precipitación enzimática
- ▶ Termocuagulación
- ▶ Sustancias bociógenas
- ▶ Turboseparación

6.1. Bioquímica en productos de origen animal

OBJETIVO ESPECÍFICO

Conocer los usos de la bioquímica en temas como ovoproductos, sector lácteo, proteínas vegetales, animales y glicanos.

6.1.1. Proteínas

Extracción y purificación

Fines y objetivos perseguidos con la extracción de las proteínas:

Hasta estos últimos años, resultaba excepcional la extracción de proteínas con uso alimentario, únicamente las moléculas dotadas de propiedades farmacológicas o de actividades enzimáticas u hormonales sufrían tratamientos de extracción y de purificación.

Mientras que ciertos constituyentes alimentarios glucídicos o lipídicos obtenidos en estado puro para el uso corriente (sacarosa, aceite, margarina, etc.) son utilizados desde hace mucho tiempo por los consumidores, existe todavía en éstos una reticencia a consumir concentrados proteicos. Parece, sin embargo, que con los progresos recientes realizados en el fraccionamiento de las proteínas, la elaboración de extractos proteicos de excelente calidad no se choca ya con los obstáculos técnicos ligados a la complejidad y a la fragilidad de estas moléculas; además el control de las propiedades funcionales de éstas hace su utilización cada vez más frecuente en el curso de la formulación de numerosos alimentos nuevos.

Los fines perseguidos cuando se extraen las proteínas pueden ser de índole nutricional, funcional, organoléptica o económica.

La mejora del valor nutricional puede obtenerse mediante la eliminación de sustancias tóxicas o demasiado fuertemente asociadas a las proteínas por la extracción de proteínas vegetales demasiado fuertemente ligadas a sustancias poco digestibles (celulosa, polifenoles, etc) para los monogástricos, por la eliminación de sustancias anti nutricionales (inhibidor de tripsina de la soja, sustancias bociógenas e las tortas de colza, gosipol de la torta de algodón.

La mejora de las características organolépticas resulta de la eliminación durante la extracción de pigmentos (decoloración del sedimento de la sangre, de las proteínas vegetales con clorofilas) y de

aromas (desodorización, eliminación de amargor, etc.). La mejora de las propiedades funcionales proviene frecuentemente del enriquecimiento proteico propiamente dicho y de los cambios de las condiciones del medio por eliminación de ciertos constituyentes indeseables (sales, lípidos, etc.). Este fin es tanto más importante en tanto que recientemente han aparecido nuevas necesidades en productos alimentarios intermediarios con funcionalidad bien definida: análogos de carne elaborados a partir de proteínas vegetales, productos de imitación, etc.

La valorización de producciones alimentarias tradicionales convertidas en poco rentables, debido a que son demasiado consumidas por los animales y no bastante por el hombre, se ha convertido en una necesidad; es indispensable utilizar mejor ciertos pescados y las proteínas vegetales de forma que se limite el consumo de las proteínas animales provenientes de ciclos de producción largos y con elevados costos de cría.

La valorización de los subproductos de la industria (láctea, mataderos, almidonerías, feculerías, cerveceras, azucareras, destilerías) responde a la vez a la preocupación de recuperar proteínas nobles (lacto suero, por ejemplo) y de limitar los riesgos de polución del entorno.

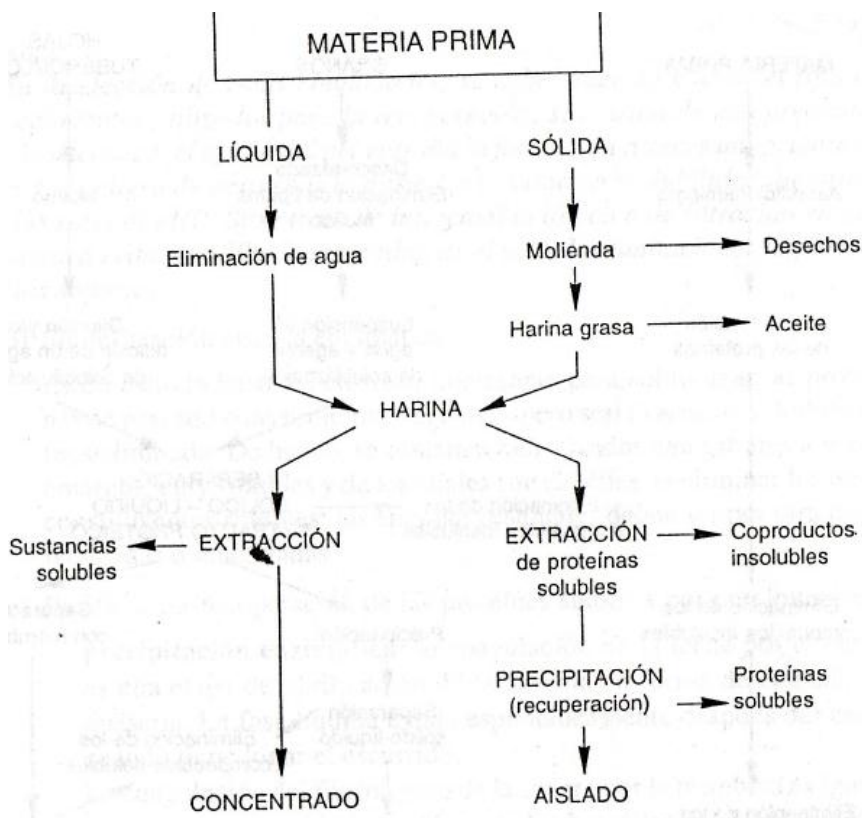
► **Naturaleza y forma de los extractos obtenidos**

Según el uso que se quiera hacer de ellos o los métodos utilizados, la concentración en proteínas de los productos finales puede variar del 15 al 20 por ciento (carnes separadas mecánicamente) hasta el 90 por ciento (aislados de soja, caceinatos).

Según niveles de pureza crecientes, se distinguen harinas < 70%, concentrados 70-85% y aislados > 85%.

Esta distinción según el contenido en proteínas enmascara diferencias de orden tecnológico: Los aislados provienen de un aislamiento específico; las harinas y concentrados resultan de un simple enriquecimiento por eliminación de sustancias indeseables (almidón, lípidos, agua, etc.); en el caso de los concentrados se eliminan además glúcidos, sales minerales o nitrógeno no proteico.

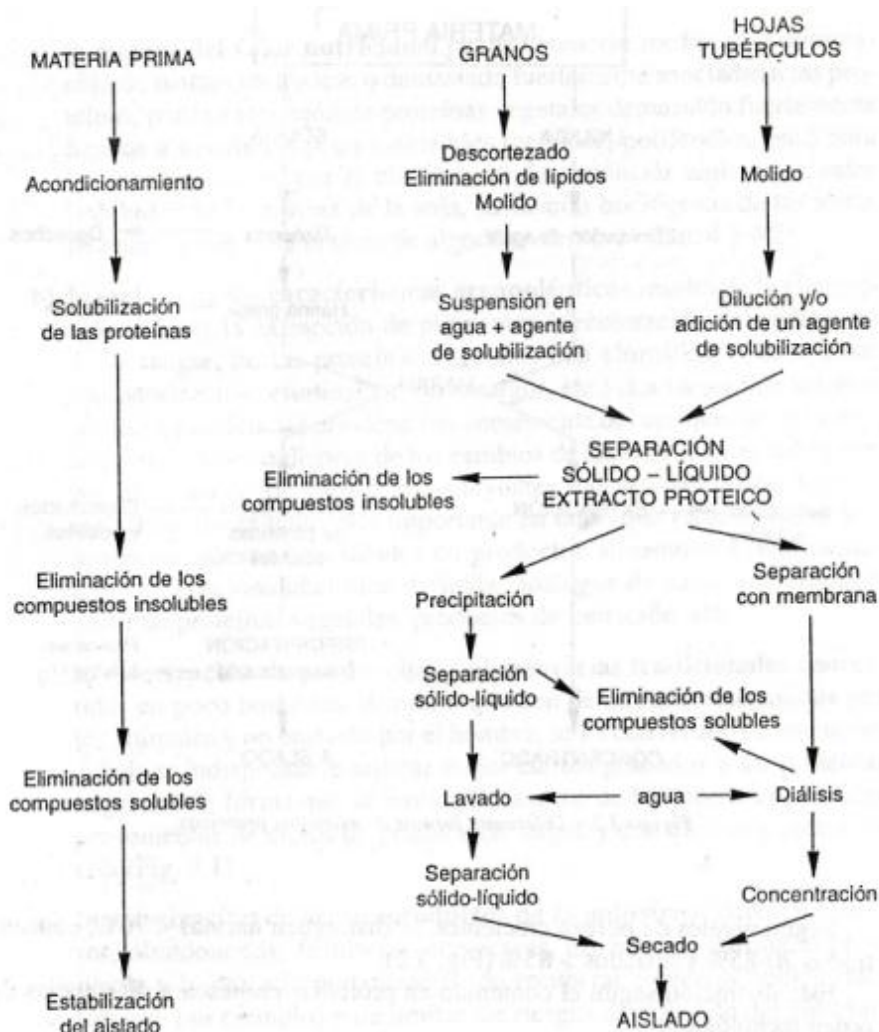
► **Diferentes formas extractos proteicos**



Métodos de extracción propiamente dichos

Se distinguen los métodos de enriquecimiento proteico (negativos) de los métodos de aislamiento (positivos).

Ejemplos de fraccionamiento de proteínas vegetales



► Métodos de enriquecimiento negativos

Se adoptan habitualmente cuatro etapas:

- dispersión de los diferentes elementos, para facilitar las operaciones de fraccionamiento, por tratamientos mecánicos: triturado, agitación, picado, pulverización, molienda. Se desea provocar un aumento de la relación superficie/volumen.
- tratamiento térmico (de 50 a 140°C con duraciones variables). Esta operación prepara y facilita la separación por:
 - Fluidificación de una fase (fusión de las grasas, etc.);
 - Solidificación de una fase (coagulación de las proteínas por termo desnaturalización, etc.);

Deshidratación: eliminación del agua (concentración) facilitando la eliminación de los lípidos por extracción.

Esta operación permite, por otro lado, una esterilización.

Extracción propiamente dicha de la fase sólida que contiene las proteínas y eliminación de la fase líquida, que contiene agua y lípidos fundidos por prensado o centrifugación.

Secado para eliminar la humedad residual y extracción de los lípidos residuales por extracción sólido-líquido.

Nota:

La separación puede hacerse directamente sobre la fase pulverulenta por el procedimiento de Turboseparación (aire clasificación):

Es utilizada en el enriquecimiento proteico de las harinas de habas; los concentrados en relación con las harinas exigen una eliminación total de los lípidos pues los lípidos residuales oxidados son responsables de las interacciones proteínas-lípidos oxidados (insolubles) que se encuentran sobre todo en las harinas de pescado. Se utilizan varios sistemas de extracción:

- ▶ Hexano + acetato de etilo + isopropanol (procedimiento marroquí)
- ▶ Etanol al 95% (procedimiento chileno)
- ▶ Hexano sólo para los lípidos (peruano) o con etanol (extracción de los olores)
- ▶ Para el pescado, se elige frecuentemente el isopropanol debido a su débil acción desnaturalizante y a su costo moderado

Métodos de aislamiento positivos

El aislamiento de las proteínas del lacto suero de sangre, de leguminosas y en particular de soja se realiza ya a escala industrial. Entre las proteínas animales, solamente las de lit leche o del suero lácteo sufren ya un «cracking» para la confección de proteínas ya sea muy puras (caseinatos, β -lactoglobulina), ya sea asociadas a sales o a lactosa residual.

Las proteínas de pescado son extraídas a veces en aislados (surimi), mientras que las de la carne raramente son purificadas. El aislamiento consiste, después de puesta en solución, en una extracción de la proteína, ya sea por precipitación y extracción sólido-líquido; ya sea por filtración en función del tamaño molecular; ya sea por fijación en un soporte «activo» y después elución.

Estos métodos son más selectivos (mejor rendimiento) y menos desnaturalizantes; sin embargo generan una cantidad más importante de subproductos etc., que deben entonces ser valorizados. Deben tornarse en consideración tres parámetros: El rendimiento, la selectividad, y el costo de la extracción.

6.2. Proteínas animales

Proteínas mi fibrilares

La extracción se realiza en las carnes salvo en el caso de los subproductos; además es difícil conseguir concentrados de calidad por el hecho de la gran oxidabilidad de la mioglobina y de su gran sensibilidad al empardeamiento.

En lo que concierne a los pescados, las harinas son frecuentemente muy insolubles si no ha sido efectuada una eliminación eficaz de los lípidos, una buena valorización de los pescados poco consumidos, en estado fresco, pasa por la confección de concentrados tales como el surimi; se trata de una pasta insípida, inodora, muy viscosa y elástica pero inestable a la congelación en ausencia de crioprotectores tales como el sorbitol o la glucosa. Mediante una texturización tal como el hilado, es posible obtener análogos a la carne de crustáceos.

► Sangre

La sangre puede ser valorizada tras centrifugación en forma de plasma utilizado en alimentación animal o en forma de sedimento; en este caso, es necesaria una decoloración de modo que se produzca una globina blanca dotada de propiedades emulsificantes y espumantes utilizable tanto en alimentación animal como humana.

6.2.1.1 Proteínas de la leche

Caseínas y caseinatos

Sus excelentes propiedades emulsificantes y ligantes son explotadas para utilizaciones alimentarias (charcutería, platos cocinados, etc.) y no alimentarias (pegamentos, ligas, etc.). Su aislamiento puede efectuarse por acidificación, hasta pH 4,6 con un ácido mineral (HCl, H₂SO₄, etc.) u orgánico (fermentación láctica) o por coagulación por el cuajo (caseinato cálcico). Si la leche ha sido previamente calentada, una parte del precipitado proviene de proteínas desnaturalizadas del lacto suero.

Proteínas de lacto suero de quesería o de caseinería

Las proteínas pueden ser recuperadas por varias técnicas (ultrafiltración, cambio iónico, termocoagulación, entre otros). Según el método llevado a cabo y el pretratamiento aplicado (calentamiento, desmineralización por electrodiálisis, ultrafiltración asociada al calentamiento, etc.), se obtiene toda una gama de concentrados proteicos con propiedades funcionales muy variadas. Éstos pueden también aumentar los rendimientos queseros (Procedimiento Cantriwhey) o enriquecer preparaciones a base de cereales deficientes en ciertos aminoácidos esenciales (tortilla a base de maíz).

6.2.1.2 Proteínas vegetales

- ▶ Proteínas de los granos (cereales, leguminosas)
- ▶ Proteínas de leguminosas
- ▶ Soja y granos oleaginosos

Mediante extracción del aceite (prensado o por hexano), se obtienen tortas desaceitadas que se transforman en harina. La obtención de aislado o de concentrado se lleva a cabo por una sucesión de: precipitaciones a pH 4,5 y solubilizaciones a pH neutro o alcalino; precipitaciones con alcohol; Precipitaciones por el calor.

Se está abocado con frecuencia a extraer constituyentes hidrosolubles o alcohol solubles o a utilizar otros agentes de precipitación. Las utilizaciones son muy variables: sucedáneo de carne tras texturización, introducción en productos cárnicos. El interés de estos aislados reside en sus buenas propiedades de viscosidad, Gelificantes y ligantes.

A veces ciertas tortas tales como las de colza y girasol, de algodón y de cacahuete contienen sustancias antinutritivas (sustancias bociógenas, polifenoles, etc.) que conviene eliminar. Para completar la purificación de los aislados son cada vez más utilizadas las técnicas de ultrafiltración y de intercambio iónico.

Haba panosa y otras proteaginosas no oleaginosas. Se aplican las técnicas de precipitación pero los rendimientos son con frecuencia bajos. Frecuentemente se prefiere utilizarla Turboseparación para obtener concentrados proteicos con el 65%. Los coproductos son muy ricos en almidón y poco valorizables (alimentación animal).

Sin embargo, el problema de la persistencia de sustancias antinutritivas (glúcidos fermentables, α -galactósidos) no ha sido resuelto. Los concentrados están dotados de excelentes propiedades funcionales, pero persisten sabores amargos

6.2.1.3 Proteínas de cereales

El principal ejemplo de extracción de proteínas de cereales realizado industrialmente concierne a la extracción del gluten a partir de la harina de trigo. Esta operación tiene como fin ya sea aprovechar la harina del gluten para un uso dietético, ya sea extraer el gluten destinado a mejorar el valor panadero de ciertas harinas de trigo tierno (harinas débiles).

La extracción consiste esencialmente en formar una pasta (de 0,6 1 litro de agua/Kg de harina) y más tarde lavarla con agua dura para eliminar el almidón que se debe después valorizar.

En el caso del maíz, el gluten extraído es un coproducto de la preparación del almidón. Después el tratamiento húmedo aplicado directamente a los granos puestos a hinchar, se muele y se extraen las proteínas por centrifugación.

6.2.1.4 Proteínas de las hojas

Las alfalfas antes del secado se prensan; el jugo así obtenido contiene proteínas que se pueden y deben valorizar pues su desecho es muy polucionante. Para su purificación se recurre a técnicas de precipitación por solventes y pH ácido en caliente. Durante el prensado (prensa de tornillo), es necesario añadir sulfitos para evitar la oxidación. El jugo contiene el 10 % de Ms, del cual el 30 - 40% son proteínas (de 3 a 4 g/l). Tras termocuagulación 80°C y centrifugación, se obtiene aislados con el 85 % de proteínas.

6.2.2. Proteínas de los microorganismos

Su extracción es difícil debido a la resistencia de las paredes (levaduras en particular; deben ser utilizados molinos de martillos o de bolas asociados con tratamientos de plasmólisis (térmicos, químicos o enzimáticos) y los rendimientos de extracción son mediocres.

► Glicanos

Los glicanos al tener una diversidad de grupos funcionales mucho menos grande que las proteínas, se comprende que las técnicas de extracción y de purificación sean menos numerosas y basadas únicamente en reacciones de precipitación que implican modificaciones de polaridad del medio o de las moléculas mismas.

Además, no habiendo ningún polisacárido con una masa molecular bien definida, las técnicas de filtración molecular o de filtración a través de poros calibrados están poco adaptadas.

Por último, al formar la mayor parte de los glicanos soluciones muy viscosas a baja concentración, surgen frecuentemente problemas de colmatado si se utilizan procedimientos de membrana.

Esquema general de preparación de los concentrados glicánicos



A partir de las materias primas, se pueden presentar dos casos:

El polisacárido es insoluble y ningún método, además de la disociación de la microestructura, permite obtenerlo en forma de dispersión más o menos soluble y estable. Es el caso del almidón y la celulosa. Tras molienda muy fina de la materia prima, se lleva a cabo un fraccionamiento centrífugo por vía seca o húmeda.

El polisacárido es solubilizable en agua caliente o por incremento del pH. Tras solubilización, se puede precipitar el polisacárido disminuyendo la polaridad o el pH. Se opera así para extraer los hidrocoloides Gelificantes (carragenato, xantano por agua caliente), la pectina y el alginato (extracción por medio alcalino)

6.2.3. Extracción de los polisacáridos insolubles

Extracción del almidón

Las principales fuentes de almidón son el maíz, la patata, el trigo, la mandioca y el arroz. El maíz proviene sobre todo de los países con clima bastante caliente mientras que la patata proviene sobre todo del cultivo de clima fresco y húmedo (Europa y Rusia) el trigo de los países con clima templado el 90 % de la producción de arroz proviene de ASIA.

Preparación de la celulosa

En general la celulosa no tiene necesidad de ser extraída, ya que el algodón producido naturalmente es celulosa pura. Sin embargo habida cuenta de las cantidades considerables de las cantidades de celulosa consumidas por la industria de la pasta de papel, se deben utilizar bien fibras textiles o bien madera. Tras la molienda, la madera se somete a soluciones calientes de sulfato de calcio con el fin de eliminar la lignina que resulta así solubilizada, la purificación de la celulosa necesita a continuación etapas de decoloración.

6.2.4. Extractos de polisacáridos solubilizables

Extracción de los carragenatos

La materia prima proviene de algunas especies de algas rojas y/o de liquen las mezclas recolectadas en las costas francesas está constituida por *Chondrus crispus* y *Gigartina stella*.

Tras lavado las algas son maceradas en agua caliente tras molienda y digestión por un agente alcalino. Las impurezas solubles, proteínas, celulosa, son eliminadas por filtración en caliente bajo presión, por un filtro prensa de tela en presencia de tierra filtrante. El filtrado límpido esta tratado con etanol puro que coagula el polisacárido en forma de fibras. El coágulo es lavado con alcohol y después secado por evaporación. El alcohol es regenerado por destilación.

Extracción de los xantanos

El xantano es un metabolito secundario excretado durante la fermentación aeróbica de glúcidos simples por la bacteria *Xanthomonas campestris*.

A partir del medio de cultivo, se precipita directamente el xantano por alcohol isopropílico. El coágulo obtenido es separado, lavado, prensado, secado y molido.

Extracción de las pectinas

Las pectinas son extraídas principalmente de la corteza de agrios, del orujo de manzana y de la remolacha.

La hidrólisis en agua caliente a pH ácido de la protopectina, libera la pectina sustancias solubles neutras indeseables (proteínas, gomas, otros glúcidos, etc.), Las materias insolubles son eliminadas por prensado y después filtración a presión en presencia de un adyuvante de filtración. El filtrado límpido es tratado por el alcohol que precipita un coágulo fibroso. La pectina fibrosa se lava y después se prensa y se seca a vacío. Se obtienen en general una pectina altamente metilada: una desmetilación por vía ácida o alcalina produce pectinas débilmente metiladas.

Extracción de las gomas de guar y algarroba

A partir de los granos de guar y algarroba, se pueden obtener: Ya sean harinas: tras descortezado, se separan los gérmenes por molienda para aislar los «splits» (albumen) que son el origen de la harina.

Ya sean extractos: el grano es solubilizado en agua caliente, siendo las materias insolubles eliminadas por filtración; el glicano es a continuación precipitado por alcohol isopropílico y a continuación lavado, prensado y secado a vacío.

Extracción de los alginatos

Los alginatos se extraen de algas pardas presentes en la mayor parte de las costas rocosas. Se trata sobre todo de las especies siguientes: Laminaria digitata, Fucus serratus, etc.

La primera operación de extracción consiste en macerar las algas en presencia de un ácido mineral diluido de forma que se convierte el alginato cálcico contenido en el alga en ácido algínico. Las algas des mineralizadas son a continuación molidas en presencia de una base o de una sal alcalina para neutralizar el ácido algínico y solubilizarlo en forma ionizada.

Los compuestos insolubles (celulosa, proteínas, etc.) son eliminados por filtración, flotación o decantación. Se precipita el ácido algínico por adición de ácido mineral; el precipitado es a continuación lavado y secado.

6.2.5. Aceites y grasas vegetales

Composición

Muy empleados en la alimentación, los aceites pueden clasificarse según su composición en: Aceites ricos en ácidos grasos saturados y en ácido oleico: cacahuete, oliva; aceites ricos en ácidos poliinsaturados: cártamo, girasol, soja, maíz; aceites intermedios: colza.

Valores medios (en %) de los principales ácidos grasos contenidos en los cuerpos grasos vegetales.

	PROPORCIÓN DE ÁCIDO GRASO (%)							Temperatura de solidificación (°C)
	Láurico	Mirístico	Palmitico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolénico	
	C12:0	C14:0	C16:0	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	
Manteca de cacao			24	35	39	2		22
Aceite de copra	44	18	10	4	6	2		14 a 22
Aceite de palmito	50	15	8	3	15	3		20 a 25
Aceite de palma		1-10	45	4	40	10		35 a 42
Aceite de oliva			10-17		50-80	10		-6
Aceite de colza			3		15	15	9	-10
Aceite de canbra*					60	25	9	
Aceite de cacahuete			10	3	60	22		3
Aceite de soja			11	3	25	55	6-9	-10 a -16
Aceite de girasol			8	5	20	65	1	-17
Aceite de algodón		1	25	2	18	53		+12 a -13
Aceite de maíz			13	2	30	55	1,5	-10 a -20

* Modificación genética de colza.

Esta composición tiene importancia tanto en el terreno nutricional como en el tecnofuncional.

Antes de cualquier desarrollo, recordemos la reglamentación concerniente a la utilización en caliente de los cuerpos grasos: Los aceites con más del 2% de ácido linoleico no podrán llevar en la etiqueta la mención «Aceite para fritura y aliño». Esta legislación es válida para Francia.

«Las grasas y aceites cuyo contenido en compuestos polares es superior al 25% son impropios para consumo humano». Este texto se aplica en numerosos países europeos.

Principios generales de la trituración

El tratamiento de los granos ricos en lípidos comprenderá las siguientes fases: limpieza, descortezado, molienda, laminado, cocción, prensado, extracción; el de los granos pobres en lípidos, como la soja, estará constituido por las operaciones siguientes: limpieza, secado, maduración, descortezado, aplastado, eventualmente pelletización, secado.

En aceitería, de un modo general, se obtienen a la salida de la instalación dos productos; por una parte el aceite noble y por otra la parte sólida, que se llama «torta». La torta contiene siempre una cierta cantidad de aceite que a veces es voluntariamente aumentado para valorizar estos subproductos. Contiene además una cierta cantidad de agua que está fijada, por la ley Avelille, en el 12%. El valor de una torta viene dado por su contenido en proteínas que se busca que sea el mayor posible y por su contenido en celulosa que se busca que sea lo más bajo posible.

6.2.6. Sector lácteo

Datos generales

Durante muchísimo tiempo, la industria láctea recibía leche y la transformaba en productos tradicionales (leche de consumo, queso, mantequilla, etc.). Los coproductos eran desechados o utilizados directamente en alimentación animal.

Desde hace algunos años, los progresos científicos y tecnológicos y la búsqueda de salidas más rentables han incitado a los industriales del sector lácteo a interesarse por una valorización más diversificada del gran potencial de los constituyentes bioquímicos de la leche. La industria láctea ha servido de banco de pruebas a los otros sectores de las IAA tanto a nivel de los medios tecnológicos muy diversos utilizados como del examen de las posibilidades ofertadas por parte de las industrias de primera y segunda transformación. Trataremos únicamente la leche de vaca que es desde hace mucho tiempo objeto de un desarrollo industrial importante.

Características de la materia prima

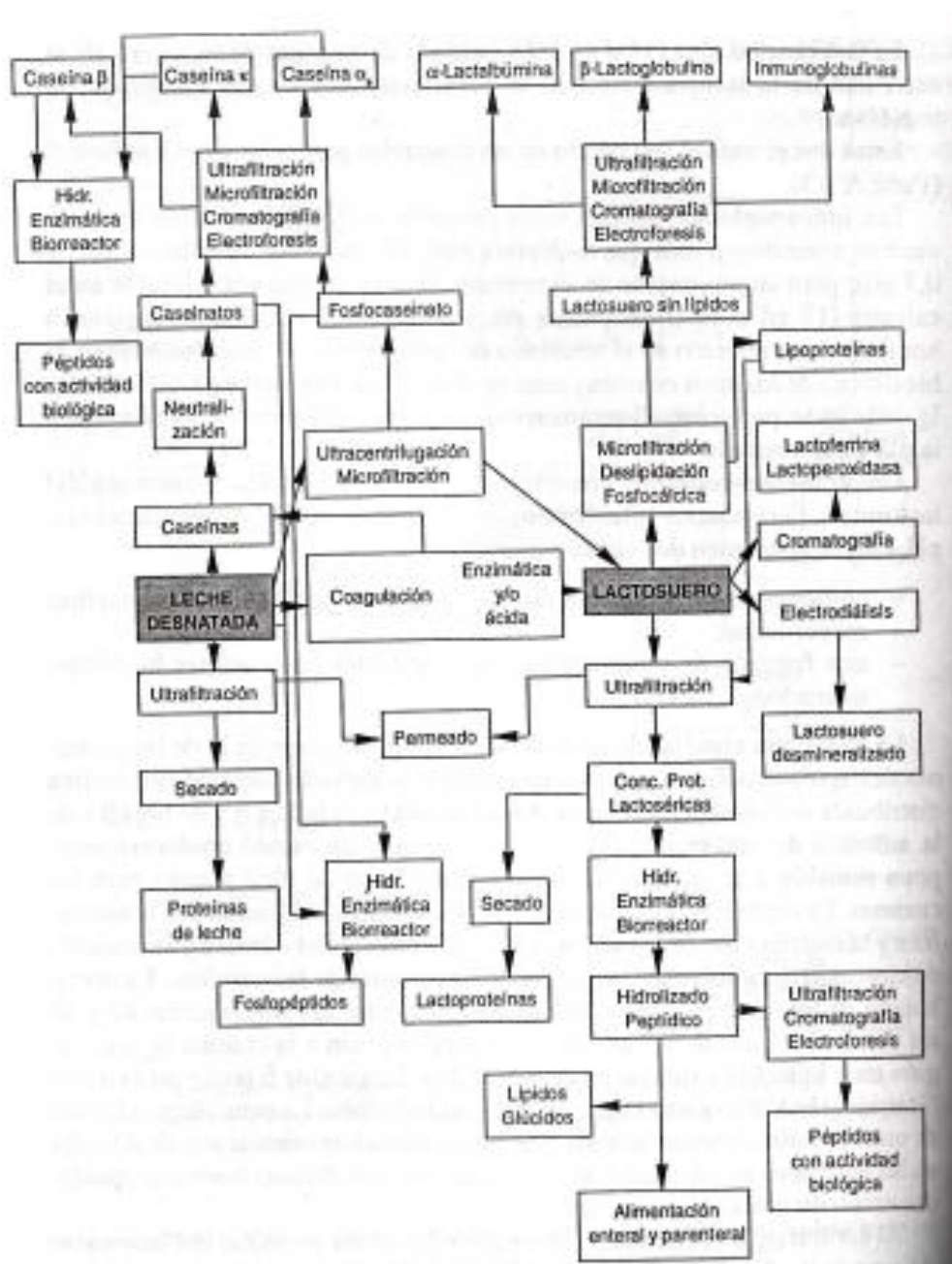
Como se tratar de obtener PAI constantes muy bien definidos, es bueno recordar una evidencia: la industria láctea no posee un yacimiento de materia prima almacenable, identificable y utilizable en el momento en que lo decide. Ella recibe su materia prima y debe tratarla lo más rápidamente posible no controlando todos los problemas de composición y de calidad. En efecto, la leche es una materia prima compleja, heterogénea, viva y de conservación difícil.

En la leche están presentes tres fases: una fase acuosa, el lacto suero, cuyos componentes predominantes son la lactosa (50 g/l) y un conjunto de proteínas globulares (7g/l) y dos fases particulares, compuestas respectivamente por los glóbulos grasos (98% de triacilglicerol) y por las micelas de caseína (de las cuales el 92% de la materia seca está constituida de proteínas y el resto de minerales principalmente). Las concentraciones de la fracción caseínica y lipídica son respectivamente de 24-28 g/l y de 35-45 g/l.

En la leche fresca, estas fases están por supuesto individualizadas pero la mayor parte de los tratamientos tecnológicos modifican esta distribución que, esquemáticamente pueden resumirse así:

La conservación al frío provoca el paso de una parte de las caseínas y de los minerales hacia el lacto suero; los tratamientos térmicos tienen un efecto casi inverso según las condiciones de calentamiento, interacciones entre la lactosa y la fracción proteica; la homogeneización dispersa los glóbulos grasos que se rodean de proteínas.

Separación y valorización de la fracción proteica de la leche



6.2.7. Ovoproductos

El huevo desde hace muchísimo tiempo goza de reputación como un alimento de alta calidad para el hombre. La exposición de los conocimientos adquiridos sobre el huevo desde el punto de vista nutricional nos lleva a escoger en el contexto occidental como modelo casi exclusivo el huevo de gallina Gallus.

La denominación ovoproductos reagrupa las presentaciones de los huevos distintas a los huevos con cáscara.

6.2.7.1 Estructura y composición del huevo

Huevo entero

Las principales partes del huevo son desde el interior hacia el exterior: la yema o vitelo, la clara o albumen, las membranas testáceas (interna y externa) y la cáscara. Las proporciones relativas de cada uno de estos constituyentes pueden variar en proporciones importantes. Los valores medios aplicables a un huevo de gallina son: cáscara 9,5%, clara 61,5% y yema 29,0%.

El huevo entero contiene alrededor del 66% de agua, 11% de minerales y 23% de sustancias orgánicas (12% de proteínas; 11% de lípidos).

Composición de la clara

La clara está compuesta en casi su totalidad de agua y de proteínas, con algunos minerales, lo que representa una gran originalidad para un producto de origen animal (el 90% de la materia seca son proteínas). Contiene igualmente glucosa libre (dos veces más concentrada que en el plasma sanguíneo) que constituye la primera fuente de energía utilizable por el embrión.

Cada proteína es conocida por tener propiedades específicas, funcionales o nutricionales así:

la ovoalbúmina, la proteína más abundante del albumen, es una fosfoglicoproteína. Contiene 3,5% de lípidos y el número de moles de fosfato ligados a los residuos de serina varía de 2 a 10. La molécula contiene 4 grupos SH libres y 2 puentes disulfuro pero el número de estos últimos aumenta en el curso del almacenamiento y se forma una «Sovoalbúmina» más termoestable que la proteína nativa. La proporción de Sovoalbúmina que es del 5% en el momento de la puesta, puede alcanzar el 80% tras un almacenamiento de 6 meses al frío.

La conalbúmina (u ovotransferrina) es una glicoproteína constituida por dos subunidades. Tiene la capacidad de formar complejos con los cationes metálicos bi- y trivalentes. Al pH_i, una molécula puede fijar 2 cationes y toma una coloración roja (Fe³⁺) o amarilla (Cu²⁺). Estos complejos metálicos son más termoestables que la proteína nativa.

El ovomucoide es una glicoproteína que está constituida por tres subunidades. Es termo resistente salvo en medio alcalino y posee actividad antitriptica.

La **lisozima** es una holoproteína con pHi muy elevado. Posee actividad enzimática β -glucosaminidasa que le permite lisar la pared celular de ciertas bacterias Gram positivas.

La **ovomucina** es una glicoproteína cuyo contenido en glúcidos está próximo al 30%. La estructura estirada de la molécula se explica por las repulsiones electrostáticas debidas a las cargas negativas de los residuos de ácido siálico responsables de la viscosidad de la capa gelificada del albumen, esta proteína es insoluble en agua y soluble en las soluciones salinas de pH superior o igual a 7.

► Composición de la yema

La yema es una dispersión de gránulos en una fase acuosa continua o plasma. Tanto desde el punto de vista químico como funcional, las proteínas y los lípidos de la yema deben ser considerados conjuntamente. La yema es, en efecto, una fuente de lípidos fácilmente dispersables en el agua y que permite la emulsión de otras sustancias. Estas propiedades son debidas al elevado contenido en fosfolípidos y al hecho de que todos los lípidos (incluidos los triglicéridos), están asociados al menos a dos proteínas, vitelina y vitelenina.

Los constituyentes de la yema pueden ser separados por centrifugación en tres fracciones. **Una fracción lipoproteicos de baja densidad** (lipoviteleninas) que contiene el 90% de lípidos, de los cuales la casi totalidad son triglicéridos. Esta fracción representa alrededor de las dos terceras partes de la materia seca de, la yema; **una fracción de densidad más alta** que sedimenta en forma de gránulos. Representa el 23% de la materia seca total, contiene la fosfovítina así como las lipoviteleninas (lipoproteínas). Éstas contienen un 18% de lípidos repartidos poco más o menos en cantidades iguales entre triglicéridos y fosfolípidos; **una fracción de proteínas solubles** que contiene las livetinas y trazas de otras proteínas séricas.

► Valor nutritivo del huevo

El huevo es una fuente bastante poco energética de proteínas perfectamente equilibradas y de lípidos fácilmente digestibles. Constituye, además, una fuente importante de fósforo, de hierro y de vitaminas. Por contra, es un alimento deficiente en glúcidos, calcio y vitamina C.

► Valor biológico de las proteínas

Las proteínas del huevo son conocidas por su valor biológico muy elevado, que proviene de la complementariedad existente entre las proteínas de la yema y las de la clara y del equilibrio entre aminoácidos de estas proteínas. La utilización proteica neta (coeficiente de utilización digestiva x valor biológico) de las proteínas de huevo entero cocido alcanza el 94%, lo que muestra su excelente eficacia.

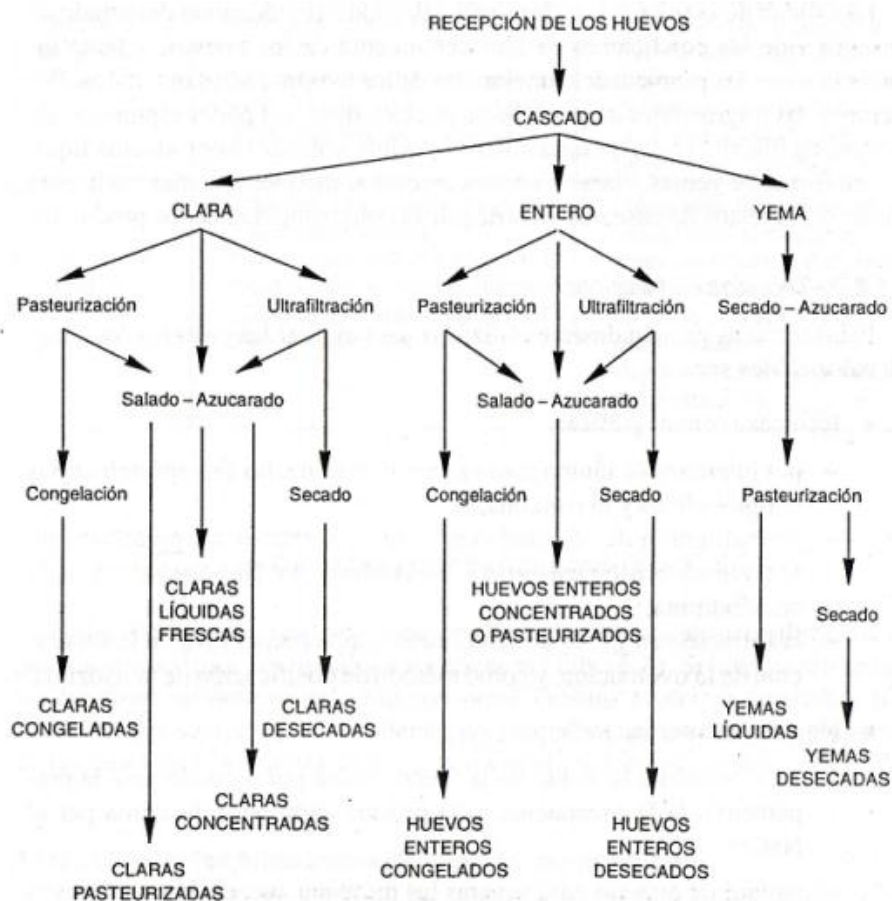
En estado crudo, las proteínas de la clara ingeridas solas no son digestibles más que en alrededor de un 50% debido a la presencia de factores antitripsina (ovoniticoide) y sobre todo porque la clara de huevo cruda estimula poco las secreciones de jugos gástricos y pancreáticos. La cocción, al coagular las proteínas, facilita el trabajo de las enzimas digestivas y permite alcanzar una utilización digestiva del 92%, sobre todo si el huevo es acompañado de otros alimentos. Además, la cocción destruye el enlace biotina-avidina.

Por el contrario, la yema de huevo es muy bien digerida en estado crudo y toda cocción excesiva tiende a reducir su utilización digestiva. En la práctica este efecto es relativamente débil y se puede mantener que todas las preparaciones culinarias usuales mejoran la digestibilidad de la clara sin dañar a la de la yema.

Además, las proteínas del albumen poseen propiedades biológicas antibacterianas directas o indirectas (actividades antiproteásicas, formación de complejos con vitaminas o metales) que contribuyen a la buena conservación de los huevos. A propósito de esto, es necesario subrayar que el lavado de los huevos favorece la penetración de las bacterias ya que se corre el peligro de eliminar la cutícula proteica protectora. La penetración de agua puede provocar entonces el paso de las bacterias. Por esto, cuando se efectúa un lavado es necesario secar rápidamente los huevos. Las propiedades funcionales de los huevos y ovoproductos y su utilización en la industria alimentaria.

<i>Poderes</i>	<i>Agentes responsables</i>	<i>Factores de variaciones</i>	<i>Productos de sustitución</i>	<i>Aplicaciones industriales</i>
Aromático (entero)	Numerosos compuestos volátiles	- Alimentación de la gallina - Condiciones de almacenamiento - Tratamientos tecnológicos		Todas las industrias alimentarias
Colorante (yema)	Xantofilas, Carotenoides	- Alimentación de la gallina - Luz - Presencia de sal - Secado	Colorantes	- Galletería - Pastelería - Dulces de cocina - Pastas alimentarias
Coagulante (entero)	Proteínas coagulables	- Binomio tiempo/ temperatura - pH, fuerza iónica - Presencia de azúcares - Dilución - Tratamientos tecnológicos	Carragenatos Alginatos Almidones modificados	- Galletería - Pastelería - Charcutería
Ligante (entero)	Proteínas	- Aditivos que aumentan la viscosidad - Tratamientos tecnológicos	Polisacáridos Pectinas Gelatinas Gomas Proteínas	- Helados - Pastas alimentarias - Charcutería
Anti-cristalizante (clara)	Proteínas	- Presencia de yema - Presencia de cationes - Tratamientos tecnológicos	Polisacáridos	Confitería
Espumante (clara)	Globulinas Lisozima Ovomucina Ovalbúmina	- Edad del huevo - Homogeneización - Condiciones de batido - pH - Dilución - Presencia de sal o de azúcares - Presencia de yema - Tratamientos tecnológicos	Caseínas y caseinatos Proteínas de lactosuero	- Galletería - Pastelería - Confitería - Platos cocinados
Emulsificante (yema)	Lecitinas Lipoproteínas Colesterol	- Condiciones de batido - pH - Dilución - Presencia de sal o de azúcares - Presencia de clara - Tratamientos tecnológicos	Lecitinas de soja Proteínas lácteas	- Galletería - Pastelería - Charcutería (croquetas) - Salsas emulsificadas

Principales vías de la tecnología de los ovoproductos



„12

Ejercicio

Elabore un cuadro resumen donde detalle las fuentes naturales de extracción de proteínas, lípidos, carbohidratos, enzimas, para cada uno de los casos de aplicación en esta unidad, enumere cada uno de ellos en cada una de las biomoléculas, por ejemplo el mayor número de proteínas para el ítem proteínas, y así para cada uno, métodos de extracción y usos industriales para cada uno.

¹² LINDER, Guy y LORIENT, Denis. Bioquímica Agroindustrial. Editorial ACRIBIA, S.A Zaragoza (España) .1996 p. 43,47-48,55-63,107-108,119,125,143-145,148,150,155,159

Prueba Final

1. Señale si es verdadera o falsa cada una de las siguientes afirmaciones. (V ó F)
 - ▶ Son métodos de aislamiento de proteínas positivo, precipitación y extracción sólido-líquido.
 - ▶ Son Crioprotectores del surimi, la glucosa y el sorbitol.
 - ▶ Estos elementos son usados como aislamiento para obtener caceinas y caceinatos HCl, fermento láctico y cuajo.
 - ▶ La persistencia de sabores amargos en los extraídos de los productos vegetales, se debe a la presencia de los glúcidos.
 - ▶ Son fuente de glicanos: la celulosa y el almidón.
 - ▶ La fuente de extracción más usada para pectinas es: la manzana y la remolacha.
 - ▶ El ovomucoide es termorresistente y posee actividad anti trípica
 - ▶ La ovomucina – glicoproteína, del huevo es insoluble en agua e insoluble en las soluciones salinas de pH mayor o igual a 7.
 - ▶ Los lípidos contenidos en la yema el huevo son fácilmente dispersables en agua.
 - ▶ El huevo es un alimento rico en calcio.

Actividad

Busque en la literatura una aplicación para la desnaturalización de proteínas, y tráigala a la clase para presentar a sus compañeros, el proceso y las reacciones que en el experimento ocurren.

Preguntas Adicionales

- ▶ ¿Qué le mejorarían a este módulo o le cambiarían?
- ▶ ¿Qué metodología propondría para mejorar el curso y el modulo?
- ▶ Diga los dos conceptos o ideas más importantes que aprendió o que más le gustaron.

6.3. Bibliografía

HORTON, H, Robert y otros. Principios de Bioquímica. Cuarta edición. Editorial Pearson. México. 2008

JUSTOS LIEBIG Nuevas cartas sobre la química Ed. Víctor Masson, 1852

LEHNINGER, Michael, M y Nelson, David L. Cox, Principios de Bioquímica .Ediciones Omega. Ed. #3. España 2001

LINDER, Guy y LORIENT, Denis. Bioquímica Agroindustrial. Editorial ACRIBIA, S.A Zaragoza (España) .1996

McKee Trudy y McKee James R. Bioquímica, la base molecular de la vida, tercera edición. Editorial Mc Graw Hill. España. 2003

Otros

<http://www.um.es/bbmbi/AyudasDocentes/MarcoDcha.htm>